



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Instituto de Física “Gleb Wataghin” (IFGW) – Programa de Pós-graduação
Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM)

RENATO PACHECO VILLAR

OS ITENS DE FÍSICA DO ENEM CLASSIFICADOS POR ANÁLISE FATORIAL
EXPLORATÓRIA

ENEM PHYSICS ITEMS CLASSIFIED BY EXPLORATORY FACTOR ANALYSIS

CAMPINAS

2021

RENATO PACHECO VILLAR

OS ITENS DE FÍSICA DO ENEM CLASSIFICADOS POR ANÁLISE FATORIAL
EXPLORATÓRIA

ENEM PHYSICS ITEMS CLASSIFIED BY EXPLORATORY FACTOR ANALYSIS

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática no Instituto de Física *Gleb Wataghin* (IFGW) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) para a obtenção do título Doutor em Ensino de Ciências e Matemática, na área de Ensino de Ciências e Matemática.

ORIENTADOR: PROF. DR. MAURÍCIO URBAN KLEINKE

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELO ALUNO RENATO PACHECO VILLAR, ORIENTADA PEL PROF. DR. MAURÍCIO URBAN KLEINKE

CAMPINAS

2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Física Gleb Wataghin
Lucimeire de Oliveira Silva da Rocha - CRB 8/9174

V712i Villar, Renato Pacheco, 1987-
Os itens de Física do ENEM classificados por análise fatorial exploratória / Renato Pacheco Villar. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Maurício Urban Kleinke.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin.

1. Bourdieu, Pierre, 1930-2002. 2. Exame Nacional do Ensino Médio (Brasil). 3. Análise fatorial exploratória. 4. Capital cultural. I. Kleinke, Maurício Urban, 1958-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Física Gleb Wataghin. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: ENEM Physics items classified by exploratory factor analysis

Palavras-chave em inglês:

Bourdieu, Pierre, 1930-2002

National Secondary Education Examination (Brazil)

Exploratory factor analysis

Cultural capital

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Titulação: Doutor em Ensino de Ciências e Matemática

Banca examinadora:

Maurício Urban Kleinke [Orientador]

Cristiano Rodrigues de Mattos

Emiliano Augusto Chagas

Gildo Girotto Júnior

Samuel Rocha de Oliveira

Data de defesa: 18-06-2021

Programa de Pós-Graduação: Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0003-4809-1813>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/2047376654632436>

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Maurício Urban Kleinke
Presidente da comissão examinadora (UNICAMP)

Prof. Dr. Cristiano Rodrigues de Mattos
Membro titular externo (USP)

Prof. Dr. Emiliano Augusto Chagas
Membro titular externo (IF-SP)

Prof. Dr. Gildo Girotto Júnior
Membro titular interno (UNICAMP)

Prof. Dr. Samuel Rocha de Oliveira
Membro titular interno (UNICAMP)

A Ata da Defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível sem o apoio e a colaboração direta e indireta de inúmeras pessoas. Agradeço a todos que estiveram comigo ao longo deste processo.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Maurício Urban Kleinke por todo o ensinamento, paciência, trocas de ideias, risadas, broncas, parcerias, incentivos, dicas, confiança e muito mais! Foi um grande privilégio ter a oportunidade de conviver e aprender com você nos últimos anos. Sem você este trabalho não seria possível! Meu muitíssimo obrigado!

Aos colegas que me antecederam no grupo de pesquisa Ensino e Avaliação, os quais abriram o caminho para este trabalho, em especial a Tayna Nakamura e ao Guilherme Marcom pelas inúmeras discussões, dicas e trocas que tivemos e ao longo desta jornada. Vocês tornaram o caminho menos tortuoso!

Aos colegas discentes do Programa de Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM), em especial ao amigo João Henrique Moura que desde a graduação, em 2005, compartilhamos experiências, alegrias e dores; e a Ivy Judensnaider pela leitura e revisão minuciosa de parte do texto com sugestões precisas!

À secretaria do PECIM, em especial ao Fabrício que sempre, de forma solícita, me ajudou com todos os trâmites burocráticos, principalmente nesta reta final! Aos docentes do PECIM por toda sabedoria e conhecimento que compartilharam ao longo destes quatro anos de doutorado. Vocês são referências!

Aos professores Gildo Giroto, Emiliano Chagas e Cristiano Mattos pela leitura, sugestões, críticas e comentários na banca de qualificação. Com certeza vocês iluminaram o caminho desta jornada!

Aos diretores do Colégio Bandeirantes Mauro Aguiar, Helena Aguiar, Eduardo Tambor, Estela e Emerson pelo incentivo e suporte ao longo de todo deste processo.

A Mayra Ivanoff pelo incentivo e, principalmente, pelas discussões sobre estatística e análise fatorial que mudaram o rumo desta tese.

Aos colegas de profissão e amigos do Colégio Bandeirantes com os quais eu aprendo diariamente, em especial as equipes STEAM, STEM, Ciências, Física e Coding.

À amiga Mariana Lorenzin pela parceria, confiança e compreensão. Você fez o possível e o impossível na reta final para que eu conseguisse me dedicar na escrita final deste trabalho!

Ao amigo Mário Abondatti pela dicas e colaboração com o *software Geogebra®*.

A todos meus amigos, em especial a Vinícius Antunes, Cristiane Batistela, José Almeida, Franco Ramunno, Alexandre Magno, Rodolfo e Thaisa pelas conversas, risadas, histórias, incentivo, empurrões, além do abrigo em Campinas sempre que precisei! Todos vocês, de uma certa forma, me deram um empurrãozinho que eu conseguisse terminar este trabalho!

Aos meus alunos, ex-alunos e futuros alunos. Vocês são o combustível e o motivo pela minha busca diária e inesgotável pelo conhecimento.

A toda minha família, em especial aos meus pais Carlos Alberto e Ana Lúcia que sempre incentivaram a seguir meus sonhos, por mais estranhos que eles parecessem e aos meus irmãos Daniel e Beatriz por toda a parceria e carinho. Vocês são muito importantes para mim!

Por fim, a Marília que, mesmo sabendo de toda a dificuldade que seria passar por este período de doutorado, sempre me incentivou para que este sonho se tornasse realidade!

Obrigado!

RESUMO

O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) é um dos maiores exames de larga escala do mundo e tem como objetivos principais a autoavaliação no término da escolaridade básica e o acesso ao Ensino Superior. A maioria dos concluintes do Ensino Médio realizam este exame para buscar uma vaga no Ensino Superior. Diferentes estudos a partir dos microdados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas em Ensino Anísio Teixeira (INEP) apontam que o desempenho dos candidatos está correlacionado à escolaridade familiar, como sugere a sociologia de Bourdieu. Os microdados permitem observar com qual frequência que cada alternativa é escolhida, o que permite supor sobre os principais erros cometidos. Geralmente esses erros podem ser associados ao contexto; à taxionomia; às concepções alternativas, etc. Além disso, observamos que o uso da combinação de indicadores quantitativos próximos da Teoria Clássica dos Testes como índice de facilidade (IFI), índice de discriminação (IDI) e índice de concentração (ICI) podem fornecer informações importantes como a presença de distratores importantes entre as alternativas. Compreender o construto da prova de Física do ENEM exige ferramentas estatísticas de análise multivariada, e na presente tese optamos por aplicar análise fatorial exploratória (AFE). Neste sentido, o objetivo deste trabalho é identificar as características dos agrupamentos gerados por AFE dos itens de Física, buscando compreender os construtos da prova e as principais dificuldades apresentadas pelos candidatos concluintes do Ensino Médio. Identificamos como principal construto um conjunto de itens associados a “Física escolar” e outros fatores mais próximos da “Física de especialista”. Os itens que compõe o fator “Física escolar” apresentam características que julgamos adequadas para avaliar e selecionar os candidatos simultaneamente. Já o fator associado a “Física de especialista”, muitas vezes, não classifica nem seleciona. Famílias com ensino superior apresentam maior afinidade com o construto solicitado que as famílias com menor grau de escolaridade. Caso a prova fosse formada apenas por itens com características de “Física escolar” o resultado na classificação seria mais inclusivo, com maior equidade no acesso ao ensino superior.

Palavras-chave: ENEM; Análise Fatorial Exploratória; Capital Cultural; Bourdieu

ABSTRACT

The ENEM is one of the biggest and most important large-scale exams in the world. This exam has two main objectives: self-evaluation at the end of high school and an assessment in universities. Most high school graduates do the exam in order to apply to university. Previous research shows that the performance of candidates is related to a family's education level, as Bourdieu's sociology suggests. The data demonstrates how often each alternative is chosen, which allows us to understand the main mistakes made by candidates. These mistakes are frequently associated with the context; taxonomy; alternative conceptions, etc. In addition, we can observe that the combination of indexes, just like score, discrimination and concentration which compose the Classical Theory of Tests can help us identify the distractors in a question. The understanding of the construct of ENEMs Physics test demand a multivariate analysis, and in this research, we have opted to use the exploratory factor analysis. The objective of this work is to identify the characteristics of the factors generated by exploratory factor analysis of the Physics items, seeking to understand the test constructs and the main difficulties presented by high school graduates. We find as the main construct of the exam a "School Physics" and the other factor associated with a "Specialist Physics". The items that make up the "School Physics" factor have characteristics that we consider adequate to evaluate and select candidates simultaneously. The factor associated with "Specialist Physics", on the other hand, often does not classify or select. Families with higher education have a greater affinity with the requested construct than families with less education. If the test was formed only by items with characteristics of "School Physics", the result in the classification would be more inclusive, with greater equity in access to higher education.

Key Words: ENEM; Exploratory Factorial Analysis; Cultural Capital; Bourdieu

Lista de Figuras

Figura 1: Matriz de referência de competências e habilidade do ENEM de 1998 a 2008.	36
Figura 2: Partes constitutivas do item.....	57
Figura 3: Exemplo de apresentação e interpretação do gráfico de teia com as características dos itens de estatística.	109
Figura 4: Processos cognitivos x conhecimento: níveis de aprendizagem de acordo com a taxonomia de Bloom revisada (TBR).....	120
Figura 5: Gráficos dos índices de facilidade médios dos itens segundo a Dimensão do conhecimento e as Dimensões dos processos cognitivos.....	123
Figura 6: Taxonomia de Smith Estrutura explicativa do nível primário e secundário.	125
Figura 7: Variáveis que interferem no desempenho de um candidato em um item.	129
Figura 8: Tela do aplicativo desenvolvido para cálculo de IFI e ICI e categorização dos itens de acordo com Bao e Redish (2001).	143
Figura 9: Análise do item 48 da prova azul de 2013 exemplificando como foi realizada a análise dos itens neste trabalho. As letras A a E ilustram as regiões onde aparecem a A – Resolução comentada, B- Gráficos de frequências nos grupos analisados, C – Análise distratores, D – Comentário final com revisão bibliográfica e E – Referenciais teóricos.	145
Figura 10: Regiões e sub-regiões de Bao e Redish (2001).....	155
Figura 11: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região B-B.	156
Figura 12: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região M-B.	156
Figura 13: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região B-M com dois modelos errados prevalecendo.....	157
Figura 14: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região B-M com modelo errado e certo prevalecendo.	158
Figura 15: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região M-M.....	158
Figura 16: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região A-A.	159

Figura 17: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região B-A.	160
Figura 18: Gráficos de ICI em função de IFI para os grupos EF (esquerda), EM (centro) e ES (direita).	165
Figura 19: Q47-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	166
Figura 20: Q50-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	168
Figura 21: Q71-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	169
Figura 22: Q72-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	171
Figura 23: Q52-2013 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	172
Figura 24: Q86 - 2015 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	173
Figura 25: IFI x ICI x IDI para os concluintes do ensino médio (esquerda) e IFI x ICI para os grupos EF, EM e ES (direita) com destaque para os itens pertencentes a região Modelo único certo e dois modelos-certo.	178
Figura 26: Q54-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	180
Figura 27: Q61-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	182
Figura 28: Q64-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	183
Figura 29: Q55-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	187
Figura 30: Distribuição dos itens no gráfico de IFI x ICI para os concluintes do ensino médio (esquerda) e para os grupos EF, EM e ES (direita).	190
Figura 31: Q99-2017 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	192
Figura 32: Q93-2017 - Item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	193
Figura 33: Q123-2017 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos	

candidatos.	194
Figura 34: Q103-2017 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	195
Figura 35: Itens e distribuições das alternativas assinaladas pelos candidatos dos itens do fator 2 da prova de 2017	198
Figura 36: Itens e distribuições das alternativas assinaladas pelos candidatos dos itens do fator 3 da prova de 2017	201
Figura 37: Itens e distribuições das alternativas assinaladas pelos candidatos dos itens do fator 4 da prova de 2017	203
Figura 38: Q125-2017 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.	205
Figura 39: Gráficos de dispersão, dos itens de Física do ENEM 2012, de ICI x IFI x IDI para os concluintes do Ensino Médio (esquerda) e gráfico de dispersão de ICI x IFI para os grupos EF, EM e ES com delimitação das regiões de Bao e Redish (2001)	248
Figura 40: Gráficos de dispersão, dos itens de Física do ENEM 2013, de ICI x IFI x IDI para os concluintes do Ensino Médio (esquerda) e gráfico de dispersão de ICI x IFI para os grupos EF, EM e ES com delimitação das regiões de Bao e Redish (2001)	248
Figura 41: Gráficos de dispersão, dos itens de Física do ENEM 2014, de ICI x IFI x IDI para os concluintes do Ensino Médio (esquerda) e gráfico de dispersão de ICI x IFI para os grupos EF, EM e ES com delimitação das regiões de Bao e Redish (2001)	249
Figura 42: Gráficos de dispersão, dos itens de Física do ENEM 2015, de ICI x IFI x IDI para os concluintes do Ensino Médio (esquerda) e gráfico de dispersão de ICI x IFI para os grupos EF, EM e ES com delimitação das regiões de Bao e Redish (2001)	249
Figura 43: Gráficos de dispersão, dos itens de Física do ENEM 2016, de ICI x IFI x IDI para os concluintes do Ensino Médio (esquerda) e gráfico de dispersão de ICI x IFI para os grupos EF, EM e ES com delimitação das regiões de Bao e Redish (2001)	250
Figura 44: Gráficos de dispersão, dos itens de Física do ENEM 2017, de ICI x IFI x IDI para os concluintes do Ensino Médio (esquerda) e gráfico de dispersão de ICI x IFI para os grupos EF, EM e ES com delimitação das regiões de Bao e Redish (2001)	

.....	250
Figura 45: Decomposição das forças na dobradiça da porta. Fonte: Elaborado pelo autor.	273
Figura 46: Formação de imagem do peixe por refração	282
Figura 47: Modelos de visão – concepções alternativas em ótica	283
Figura 48: Imagem auxiliar para resolução do item.	365
Figura 49: Funcionamento de usina nuclear.	374
Figura 50: Percentuais de escolha de cada uma das alternativas em função da nota do aluno.	377
Figura 51: Ângulos de incidência e de refração de um raio de luz que muda de meio de propagação.....	380
Figura 52: Gráficos e esquemas presentes no texto-base do item com destaque para a região que pode ter induzido os alunos ao erro.	401
Figura 53: Imagens do fenômeno Fata Morgana. Fonte: Blog para Curioso	423
Figura 54: Imagem e esquema para representar o fenômeno da Fata Morgana. ...	424
Figura 55: Ilustração de duas situações possíveis que podem ter gerado a miragem. Uma por reflexão e outra por refração.....	425
Figura 56: Esquema com a resolução do item.....	429
Figura 57: Esquema da formação de imagem em um olho.	431
Figura 58: Localização fornecida por uma antena (esquerda), duas antenas (centro) e três antenas.	434
Figura 59: Distância entre o ponto P1 e a torre considerando apenas 1 dimensão e um sentido.	435
Figura 60: Esquema de localização em 1D.....	436
Figura 61: Esquema representando um possível raciocínio errado dos alunos para escolherem a alternativa A.....	441
Figura 62: Circuito elétrico para determinação da resistência equivalente entre os pontos AB.	450
Figura 63: Circuito elétrico para determinação da resistência equivalente entre os pontos BC.	450
Figura 64: Circuito com a representação da corrente elétrica em cada ponto (A) e circuito elétrico dado no texto-base (B).	460
Figura 65: Onda estacionária com representação dos nós.	468
Figura 66: Gráfico da variação da temperatura da água em função da vazão de água	

para diferentes funções da ducha, com a região onde encontram-se os valores que
podem ter atraído o candidato para a alternativa A. 498

Lista de Quadros

Quadro 1: Características do ENEM e Novo ENEM	42
Quadro 2: Relação do número de inscritos x universidades que aderem ao ENEM em seu processo seletivo.....	47
Quadro 3: Perguntas presentes no questionário socioeconômico do ENEM sobre a escolaridade dos pais do candidato.	79
Quadro 4: Classificação dos itens de acordo com o IDI da TCT	85
Quadro 5: Exemplos de distribuições das alternativas em um item de cinco alternativas e seus respectivos valores de ICI.	88
Quadro 6: Implicação da combinação do IFI com o ICI.	92
Quadro 7: Algumas das principais formas simbólicas divididas em grupos, sua nomenclatura e sua simbologia.	97
Quadro 8: Critério (d), (e), (f) e (g) de categorização dos itens de estatística do ENEM proposto por Giordano (2017).....	109
Quadro 9: Dimensões do conhecimento na Taxonomia de Bloom Revisada (TBR)	119
Quadro 10: Itens de física do ENEM 2012 e 2013 (prova azul) classificadas na TBR.	121
Quadro 11: Itens de Física das provas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ENEM aplicadas entre 2012 e 2017.....	138
Quadro 12: Análise do item Q48-2013 como exemplo da análise realizada nos 92 itens de física do ENEM presente no Apêndice E.	147
Quadro 13: Frequência dos itens em função do Status Socioeconômico do ENEM para os itens do fator 1.	185
Quadro 14: Frequência dos itens em função do Status Socioeconômico do ENEM para os fatores 2 e 3.....	185
Quadro 15: resolução do item Q111-2017 com distratores nos passos intermediários.	199
Quadro 16: Resolução e distratores do item Q125-2017 com indicação de possíveis distratores presentes nos passos intermediários da resolução do item.....	206
Quadro 17: Agrupamentos dos itens de física do ENEM de 2012 por análise fatorial com determinação das características em comum e o traço latente (nome do fator)	209

Quadro 18: Agrupamentos dos itens de física do ENEM de 2013 por análise fatorial com determinação das características em comum e o traço latente (nome do fator)	210
Quadro 19: Agrupamentos dos itens de física do ENEM de 2014 por análise fatorial com determinação das características em comum e o traço latente (nome do fator)	212
Quadro 20: Agrupamentos dos itens de física do ENEM de 2015 por análise fatorial com determinação das características em comum e o traço latente (nome do fator)	213
Quadro 21: Agrupamentos dos itens de física do ENEM de 2016 por análise fatorial com determinação das características em comum e o traço latente (nome do fator)	214
Quadro 22: Agrupamentos dos itens de física do ENEM de 2017 por análise fatorial com determinação das características em comum e o traço latente (nome do fator)	215
Quadro 23: Critérios para classificação dos itens de acordo com IFI e ICI com legenda de cores	244
Quadro 24: Critério para classificação dos itens de acordo com IDI com legenda de cores.	244
Quadro 25: Classificação dos itens de Física do ENEM de 2009 a 2017 de acordo com a Taxonomia de Smith.	251
Quadro 26: Redução da carga cognitiva estranha para o item Q59-2016.	452

Lista de Tabelas

Tabela 1: Distribuição dos itens de Física nos objetos do conhecimento nas provas de 2009 a 2012.....	62
Tabela 2: Categorias de IFI e ICI.....	91
Tabela 3: Contexto e desempenho no ENEM 2010.....	106
Tabela 4: Índice de Facilidade (IFI) dos itens de física do ENEM de 2012 e 2013.	122
Tabela 5: Número de itens de Física presentes no Domínio Algoritmo e Conceitual na série temporal do ENEM.	126
Tabela 6: Quantidade N de indivíduos considerados na análise nos grupos considerados.	140
Tabela 7: Itens dos itens de física classificados como fáceis, médios e difíceis para os concluintes do ensino médio.....	153
Tabela 8: Itens de física classificados como deficientes, marginais, bons (ajustes) e bons de acordo com o IDI dos grupos analisados.	153
Tabela 9: Contagem de itens dos itens de física classificados como fáceis, médios e difíceis para todos os grupos analisados.	161
Tabela 10: Contagem de itens dos itens de física classificados como baixa concentração, média concentração e alta concentração dos grupos analisados....	161
Tabela 11: Classificação dos itens de física de 2012 a 2017 de acordo com as regiões de Bao e Redish (2001)	163
Tabela 12: Fatores gerados por análise fatorial exploratória para concluintes do ensino médio da prova de física de 2012 com as respectivas cargas fatoriais de cada item.	176
Tabela 13: Variância explicada por cada fator para os itens de física do ENEM de 2012.	176
Tabela 14: Agrupamentos dos itens de física por análise fatorial e taxa de acerto para prova de 2012.....	178
Tabela 15: Contagem dos itens de acordo com classificação de Bao e Redish (2001) para itens de 2012.....	179
Tabela 16: Fatores gerados por análise fatorial exploratória para concluintes do ensino médio da prova de física de 2017 com as respectivas cargas fatoriais de cada item.	188
Tabela 17: Variância explicada por cada fator para os itens de física do ENEM de 2017	

.....	189
Tabela 18: Agrupamentos dos itens de física por análise fatorial e taxa de acerto para prova de 2017.....	189
Tabela 19: Contagem dos itens em cada região proposta por Bao e Redish (2001) da prova de 2017.....	191
Tabela 20: IFI, ICI e IDI médio para os agrupamentos (fatores) obtidos para a os itens de Física do ENEM de 2012	209
Tabela 21: IFI, ICI e IDI médio para os agrupamentos (fatores) obtidos para a os itens de Física do ENEM de 2013.	211
Tabela 22: IFI, ICI e IDI médio para os agrupamentos (fatores) obtidos para a os itens de Física do ENEM de 2014.	212
Tabela 23: IFI, ICI e IDI médio para os agrupamentos (fatores) obtidos para a os itens de Física do ENEM de 2015.	213
Tabela 24: IFI, ICI e IDI médio para os agrupamentos (fatores) obtidos para a os itens de Física do ENEM de 2016.	214
Tabela 25: IFI, ICI e IDI médio para os agrupamentos (fatores) obtidos para a os itens de Física do ENEM de 2017.	216
Tabela 26: Fatores gerados por análise fatorial exploratória para os grupos EF (esquerda), EM (centro) e ES (direita) da prova de física de 2017 com as respectivas cargas fatoriais de cada item.	218
Tabela 27: Agrupamentos dos itens de física por análise fatorial e taxa de acerto dos grupos EF, EM e ES, respectivamente.....	219

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Alunos inscritos no ENEM, desde a primeira edição em 1998 até o ano de 2017, com destaque em laranja para os anos analisados neste trabalho.	46
Gráfico 2: Alunos que compareceram nos dois dias do ENEM nos anos de 2012 a 2017, eram concluintes do ensino médio e não tiveram sua redação e prova objetivas zeradas.	50
Gráfico 3: Série histórica das publicações na área de Ensino que citam o ENEM ao longo do texto.	53
Gráfico 4: Notas médias de Ciências da natureza no ENEM 2010 - nacional e por região.	54
Gráfico 5: Limite inferior para o gráfico de IFI x ICI.	89
Gráfico 6: Limite superior para o gráfico de IFI x ICI.	91
Gráfico 7: Combinação do IFI com ICI com as regiões: um modelo, dois modelos ou múltiplos modelos.	93
Gráfico 8: Gráfico de desempenho em função do contexto e da rede escolar	104
Gráfico 9: Dissertações e teses da área de Ensino de Ciências sobre concepções alternativas localizadas no Centro de Documentação em Ensino de Ciências (CEDOC).	114
Gráfico 10: Artigos e livros que abordam concepções alternativas no ensino de ciências publicados entre 1995 e 2019, localizados no Portal de Periódicos da Capes	115
Gráfico 11: Gráfico do índice de facilidade (IFI) dos itens de física do ENEM 2012 e 2013 classificados segundo a TBR.	122
Gráfico 12: Distribuição das questões conceituais e algoritmo com seus respectivos índices de acertos.	127
Gráfico 13: Quantidade de alunos concluintes do Ensino médio que prestaram o ENEM e tem ambos os pais com ensino fundamental completo (EF), ensino médio completo (EM) e ensino superior completo (ES) nos anos de 2012 a 2017.	141
Gráfico 14: IFI x ICI x IDI (área da bolha) para os concluintes do ensino médio dos anos de 2012 a 2017.	162
Gráfico 15: Força em função do deslocamento.	350

Lista de Abreviaturas e Siglas

AFE	Análise Fatorial Exploratória
CA	Concepções alternativas
CEDOC	Centro de Documentação em Ensino de Ciências
EF	Candidatos Concluintes do Ensino Médio cujos pais têm Ensino Fundamental Completo
EJA	Educação de Jovens e Adultos
EM	Candidatos Concluintes do Ensino Médio cujos pais têm Ensino Médio Completo
ENADE	Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes
ES	Candidatos Concluintes do Ensino Médio cujos pais têm Ensino Superior Completo
FIES	Fundo de Financiamento de Estudantil
ICI	Índice de Concentração do item
IDI	Índice de Dificuldade do item
IES	Instituições de Ensino Superior
IFES	Instituições Federais de Ensino Superior
IFGW	Instituto de Física “Gleb Wataghin”
IFI	Índice de Facilidade do Item
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MEC	Ministério da Educação
PECNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
PDE	Plano de Desenvolvimento da Educação
PROUNI	Programa Universidade para todos
REUNI	Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais
SAEB	Sistema de Avaliação da Educação Básica
SISU	Sistema de Seleção Unificada
SNAE	Sistema Nacional de Avaliação Educacional
STEAM	<i>Science, Technology, Engineering, Arts & Mathematics</i>
STEM	<i>Science, Technology, Engineering & Mathematics</i>
TBR	Taxonomia de Bloom Revisada
TCT	Teoria Clássica dos Testes
TRI	Teoria da Resposta aos Item
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNIFAL-MG	Universidade Federal de Alfenas
USP	Universidade de São Paulo

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	23
2. REVISÃO DA LITERATURA E REFERENCIAL TEÓRICO	32
2.1 O ENEM	32
2.1.1 Origens e Objetivos do ENEM	34
2.1.2 Um breve histórico do ENEM	45
2.1.3 O ENEM como um exame diagnóstico	51
2.1.4 A Física no ENEM	60
2.2 Capital Cultural	67
2.2.1 Escolaridade dos pais como <i>proxy</i> para capital e capital cultural.....	75
2.3 Aspectos quantitativos da análise dos itens	80
2.3.1 Índice de facilidade do Item (<i>IFI</i>)	82
2.3.2 Índice de Discriminação do Item (<i>IDI</i>)	83
2.3.3 Índice de Concentração do Item (<i>ICI</i>).....	86
2.3.4 Relações entre os índices (<i>ICI</i> e <i>IFI</i>)	89
2.4 Aspectos qualitativos da análise dos itens.....	94
2.4.1 Especialista x Aprendiz	95
2.4.2 Formato do item e contextualização	101
2.4.3 Concepções alternativas	110
2.4.4 Taxonomia de Bloom Revisada e outras taxonomias	116
2.5 A Análise Fatorial Exploratória.....	128
2.5.1. Uma visão quantitativa da AFE	132
2.5.2. Uma visão qualitativa da AFE	135
3. METODOLOGIA	137
3.1 Itens de Física do ENEM: Escopo do trabalho	138
3.2 Público analisado	139
3.3 Classificação dos itens de acordo com os índices	141
3.4 Análise dos itens e determinação dos distratores.....	144
3.5 Análise fatorial exploratória e determinação dos construtos das provas	149
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	151
4.1 Classificação dos itens de Física de acordo com <i>IFI</i> e <i>IDI</i>	152

4.2 Classificação dos itens de acordo com <i>IFI</i> e <i>ICI</i>.	154
4.2.1 Aplicação da matriz <i>ICIXIFI</i> utilizando o <i>Geogebra</i> ®	154
4.2.2 Classificação dos itens do ENEM na matriz <i>ICIXIFI</i>	160
4.3 Identificação dos agrupamentos dos itens de física por AFE	174
4.3.1 Provas de 2012 e 2017 como exemplo da análise.	175
4.3.2 Agrupamentos dos itens de física por AFE para os concluintes do Ensino Médio	208
4.3.3 Influência da escolaridade dos pais nos agrupamentos dos itens de física por AFE	218
5. CONCLUSÕES	222
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	229
7. REFERÊNCIAS	231
APÊNDICE A – Índices de Facilidade (<i>IFI</i>), Concentração (<i>ICI</i>) e Discriminação (<i>IDI</i>) dos itens de física do ENEM de 2012 a 2017	244
APÊNDICE B – Gráficos com os itens de física com a classificação de Bao e Redish (2001)	248
APÊNDICE C – Classificação dos itens de 2009 a 2017 pela taxonomia de Smith	251
APÊNDICE D – Agrupamentos dos itens de Física do ENEM de 2012 as 2017 por Análise Fatorial nos grupos separados	252
APÊNDICE E – Análise dos itens 2012 a 2017	265

1. INTRODUÇÃO

Bacharel (2010) e licenciado em Física (2011) pelo Instituto de Física “*Gleb Wataghin*” (IFGW) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), atuo na área de ensino desde 2010. Iniciei minha carreira profissional, como estagiário e, depois, posteriormente, passei a atuar como professor (2012) de Física, de laboratório de Física, de ciências do ensino fundamental e de projetos integradores como STEM e STEAM (acrônimos para *Science, Technology, Engineering & Mathematics* e *Science, Technology, Engineering, Arts & Mathematics*, respectivamente).

Sempre tive interesse pela área da pesquisa, principalmente na interface entre a Física e a Matemática. Realizei meu mestrado (2014) na Universidade Federal de Alfenas, campus de Poços de Caldas (UNIFAL-MG), no programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia Ambiental na área de modelagem matemática de sistemas biológicos. No trabalho, cujo título é “Estudo analítico da equação de Fisher linearizada: determinação de tamanhos mínimos de fragmentos”, estudei a interface entre a Física-Matemática aplicada à Biologia.

Durante todo este período, atuei como professor e permaneci na sala de aula, sempre buscando aprimorar minha formação por meio da participação em cursos, simpósios, seminários, oficinas, etc. Em uma destas formações, na “XXXVI Oficina de Física Cesar Lattes” oferecida pelo IFGW, tive contato com os trabalhos realizados pelo grupo de pesquisa “Ensino e Aprendizagem” no seminário “Experimentos de Física na prova do ENEM”, ministrado pelo Prof. Dr. Maurício Urban Kleinke. O processo de avaliação na educação e a possibilidade de utilizar estes dados para melhorar a minha prática docente e o processo de ensino aprendizagem sempre foram temas que me moveram. A avaliação e a oportunidade a partir da mineração de dados como formas de buscar melhorias para o ensino de Física foram os temas que me conduziram para este trabalho.

A avaliação está presente no dia a dia de um professor e é peça fundamental no processo de ensino aprendizagem, pois nela temos a oportunidade de “medir” de forma quali-quantitativa a aprendizagem, corrigir rotas, tomada de decisões, aprovar ou reprovar, etc. Uma avaliação pode ser, simplificada, de três tipos: diagnóstica, quando é realizada para determinar rotas de ensino a partir do conhecimento prévio do aluno; somativa, quando é realizada no final de um processo

para medir quanto o aluno aprendeu naquele período, ou formativa, quando é feita ao longo do processo para corrigir rotas na medida que o processo ocorre e de forma a garantir o aprendizado. Além disso, uma avaliação pode ser interna ou externa, em alguns casos, de larga escala.

As avaliações em larga escala distinguem-se das avaliações internas, na medida em que estas são feitas pelo professor ou pela própria instituição de ensino para fazer julgamentos de valor e propor alternativas no âmbito da sala de aula ou da instituição, enquanto as avaliações em larga escala são elaboradas por um órgão externo às escolas, com a finalidade de fazer juízos de valor e propor alternativas em âmbito mais amplo que o da instituição de ensino. (INEP, 2010, p. 5)

Uma prova como o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) pode ser classificada como uma avaliação somativa de larga escala, já que ele se propõe a medir o conhecimento dos alunos. Sugerimos que é possível este exame apresentar características de uma avaliação formativa ou diagnóstica se os resultados gerados por ele realimentarem o sistema educacional, gerando devolutivas para as escolas e para os candidatos que o prestam, ou até a reflexão na elaboração das provas. Analisar os itens associados a características socioeconômicas dos candidatos a partir dos microdados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) pode permitir identificar as principais dificuldades dos alunos dos diferentes grupos socioeconômicos, desigualdades sociais, entre outras possibilidades.

A apropriação e a utilização dos resultados de avaliações externas como o ENEM são de extrema importância para adoção de políticas públicas de formação de professores, mudanças curriculares, entre outros. Porém, a divulgação destes dados nem sempre é utilizada para este fim.

A consolidação das avaliações externas se desdobra em diversos mecanismos de política educacional, desde a estratégia da ampla divulgação de resultados aferidos ao conjunto da sociedade – notadamente através das coberturas jornalísticas em tom alarmante – até a premiação de agentes escolares em função dos resultados obtidos pelos alunos, dentre outros critérios. (SILVA; CARVALHO, 2014, p. 12)

Apesar dos dados referentes aos itens e às escolhas das alternativas para os milhões de candidatos estarem disponíveis no site do INEP para qualquer pessoa interessada, eles são difíceis de serem decifrados e trabalhados e dificilmente

poderiam vir a ser utilizados pela maioria dos professores e escolas no Brasil. Neste sentido, pela dificuldade de acesso, estes dados ainda são restritos a poucos grupos de pesquisa e empresas interessadas em vender cursos preparatórios para o ENEM, que muitas vezes buscam encontrar responsáveis pelo fracasso escolar brasileiro.

A utilização destes resultados, quando envolve políticas de responsabilização, parte da hipótese que os professores são capazes de compreender e utilizar os dados gerados pela avaliação externa e tomar decisões relativas à sua prática docente. (BARROSO *et. al.*, 2018, p. 2)

Em outras palavras, os professores precisam estar capacitados a refletir sobre as informações disponibilizadas pelas pesquisas educacionais em avaliações de larga escala, o que ainda é pouco comum no país, ou seja, o que vemos é que estes resultados não estão chegando de forma efetiva nas escolas (KLEINKE; GEBARA, 2009).

Não acreditamos em responsabilização dos professores, já que temos diversos atores neste cenário: os elaboradores, os estatísticos, os gestores, os alunos, os professores que utilizam e analisam as questões com seus alunos, e uma pequena parcela de pesquisadores que transita nestas áreas buscando formas de facilitar a apropriação destes dados para qualquer interessado.

Destaca-se assim a relevância dessa agenda de pesquisa que focaliza a influência e a apropriação dos resultados desse tipo de avaliação em escolas e sistemas de ensino público brasileiros como um objeto de pesquisa que merece atenção de pesquisadores e profissionais da área com diferentes abordagens de investigação e possibilidades de aportar conhecimento sobre o tema (SILVA; CARVALHO, 2014, p.12)

Entendemos que a compreensão e o uso dos dados de avaliações externas (como o ENEM) pelos agentes escolares, possibilitam mais protagonismo no processo, a partir do momento que eles passam a usar efetivamente os dados de forma estratégica para tomada de decisões. Na nossa visão estes dados deveriam ser acessíveis para que qualquer interessado pudesse analisá-los e trabalhar da forma que desejarem. Porém da forma como eles estão disponibilizados isso não é trivial e neste sentido estes dados devem, portanto, ser decifrados por pesquisadores da área de ensino e devolvidos para a comunidade em um formato mais transparente e mais acessível, trazendo subsídios para o aprimoramento no processo de ensino aprendizagem. Entendemos que, a partir das respostas dos alunos, conseguimos

identificar lacunas de aprendizagem na educação brasileira. Neste sentido, diversos foram os trabalhos de mestrado e doutorado que foram realizados pelo grupo Ensino e Avaliação ao longo dos últimos anos que buscaram formas de decifrar estes dados e transformar o ENEM em uma avaliação com características diagnósticas e mais próxima dos professores e escolas, apresentando ferramentas, formas de análise das respostas erradas e características do exame a fim de facilitar a interação do ensino básico com este exame e visando a melhoria do ensino (OLIVEIRA, 2014; MARCOM, 2015; GIORDANO, 2017; MARCOM, 2019; CHAGAS, 2019; SPAZIANNI, 2019; NAKAMURA, 2020).

Este trabalho busca contribuir para esta aproximação e, neste sentido, tem como objetivo identificar as características dos agrupamentos gerados por análise fatorial exploratória dos itens de Física, buscando compreender os construtos¹ da prova e as principais dificuldades apresentadas pelos candidatos concluintes do Ensino Médio. Além disso, temos como objetivo identificar, nos itens de Física das provas do ENEM, as principais dificuldades apresentadas pelos diferentes níveis socioeconômicos a partir da escolaridade dos pais dos candidatos. Com isso, este trabalho busca trazer respostas para as seguintes perguntas de pesquisa:

O que os traços latentes dos agrupamentos dos itens de física por análise fatorial exploratória podem nos revelar sobre os construtos da prova de física do ponto de vista dos concluintes do ensino médio?

Para responder esta e outras perguntas secundárias de pesquisa, o presente trabalho está dividido em mais quatro capítulos, além desta introdução: Capítulo 2 - Revisão da literatura; Capítulo 3 – Metodologia; Capítulo 4 - Resultados e Discussões; e Capítulo 5 – Conclusões.

O Capítulo 2 contém a revisão de literatura com o arcabouço teórico que utilizamos para sustentar toda a análise realizada. Por sua vez, este capítulo está dividido em cinco subcapítulos. O subcapítulo 2.1 apresenta as características, um histórico e a importância do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) no cenário nacional, e até internacional, fato que justifica o seu uso como objeto de estudo desta

¹ Segundo Vianna (1983) “Construtos são traços, aptidões ou características supostamente existentes e abstraídos de uma variedade de comportamentos que tenham significado educacional (ou psicológico).” (p. 1)

tese. Neste subcapítulo, apresentamos as origens e os objetivos do exame a partir de seus documentos oficiais; um breve histórico por meio do qual mostramos como o exame ganhou espaço no cenário nacional desde sua origem até os dias de hoje; alguns trabalhos presentes na literatura que já utilizaram o ENEM nas mais diversas abordagens; e, por fim, as características da prova de Física do ENEM e alguns trabalhos que analisam especificamente os itens desta disciplina, de forma que possamos destacar e diferenciar a nossa contribuição.

Definido o objeto de estudo, passamos para a definição do recorte de público. Neste trabalho, analisamos as respostas dos itens de Física do ENEM dos concluintes do Ensino Médio a fim de compreender a percepção média de Física de um indivíduo ao final da escolaridade básica. Além de todos os concluintes do Ensino Médio, separamos os candidatos deste grupo em três subgrupos cujos pais (pai e mãe) têm: apenas Ensino Fundamental completo (EF); Ensino Médio completo (EM); e Ensino Superior (ES). Esta escolha de recorte é feita com base na sociologia de Bourdieu que, em seus trabalhos, reflete sobre a relação entre o sucesso escolar e formas de capital como Capital Cultural, Capital Econômico e Capital Social. Desta forma, na seção 2.2 apresentamos os argumentos que nos levaram a utilizar a escolaridade dos pais como *proxy* para Capital Cultural institucionalizado. Além disso, apresentamos outros trabalhos que utilizam recortes semelhantes e corroboram com esta escolha.

Definidos objeto de estudos e recorte do público analisados, os próximos dois subcapítulos (2.3 e 2.4) apresentam os aspectos quali-quantitativos que utilizamos na análise dos itens de Física. Como indicadores qualitativos de análise, utilizamos os índices de Facilidade do Item (IFI) e o Índice de Discriminação do Item (IDI) associados à Teoria Clássica dos Testes (TCT), além de um índice que expressa a dispersão das respostas dos candidatos em um determinado item, denominado Índice de Concentração do Item (ICI) e proposto originalmente por Bao e Redish (2001). Além disso, a combinação dos índices em uma matriz $ICI \times IFI$ e a classificação dos itens dentro desta matriz são propostas como formas de identificar os itens com distratores fortes.

Como aspectos qualitativos para classificação dos itens, apresentamos em 2.4 algumas sugestões de critérios utilizados em trabalhos que analisaram os itens do ENEM e buscaram estabelecer a relação entre o critério e o desempenho dos estudantes. Primeiro, em 2.4.1, evidenciamos como especialistas e aprendizes se

comportam de maneiras distintas quando são confrontados com itens de Física. Em seguida, apresentamos trabalhos que discutem como o formato e a contextualização que o item é apresentado podem interferir no desempenho dos candidatos. Nessa seção são explicitados aspectos como tipo de leitura (texto, figura, gráfico, tabela, esquema, figura, etc.), carga cognitiva estranha, contextualização (cotidiano, experimental, técnico, etc.).

Ainda em 2.4, na seção 2.4.3, buscamos elucidar como a presença de concepções alternativas (CA) entre as alternativas de um item podem influenciar as respostas ao mesmo. São destacados trabalhos que mostram a presença de diferentes concepções alternativas em diferentes grupos socioeconômicos e outros que discutem que a presença de concepções alternativas em um item pode torná-lo mais difícil do que um item *multistep* com passos algébricos, por exemplo.

Por fim, em 2.4.4 destacamos trabalhos que utilizam a taxonomia de Bloom revisada (TBR) e a taxonomia de Smith na classificação dos itens de Física e sua relação com o desempenho dos candidatos nos itens. Buscamos responder nesta seção se o nível taxonômico pode trazer pistas de como será o desempenho dos candidatos no item.

Identificamos que todos estes critérios apresentados no subcapítulo 2.4 são condições necessárias, mas não suficientes, para prever o desempenho de um candidato em um determinado item. Supomos a partir daí que o desempenho está associado a uma combinação de todos estes critérios (e outros critérios) simultaneamente e que compreender qual deles é mais significativo no momento da realização do item é um dos objetivos que buscamos aqui.

Mais do que classificar o item a partir de critérios qualitativos ou por características quantitativas, entendemos que os erros e acertos, ou seja, o padrão de resposta a um item por parte dos candidatos, está associado a uma combinação de diversas variáveis relacionadas ao item: nível taxonômico, objeto de conhecimento (conteúdo), tipo de leitura, contextualização, quantidade de passos para resolver o exercício, manipulações matemáticas, entre outros.

Analisar todas essas variáveis simultaneamente e encontrar qual delas apresenta maior peso no desempenho de cada um dos itens pode ser uma tarefa interminável se realizada de forma independente. Neste sentido, no subcapítulo 2.5, apresentamos a ferramenta estatística utilizada neste trabalho para olhar de forma

multivariada para as respostas dos alunos: a Análise Fatorial Exploratória (AFE). Esta ferramenta estatística de análise multivariada permite agrupar a *posteriori* itens de um questionário por padrão de respostas. Neste sentido, podemos compreender como que um conjunto de itens respondido por um universo de alunos caminham juntos e, então, determinar quais são as características (traços latentes ou construtos) destes itens que fazem com que eles se agrupem. Para isso, utilizamos aspectos qualitativos que apresentamos apresentados nas seções anteriores.

A partir da revisão da literatura, passamos para a descrição da metodologia do trabalho (Capítulo 3). Nesta etapa, detalhamos o objeto de estudos (por 92 itens de Física das aplicações do ENEM de 2012 a 2017, apresentados na seção 3.1), e o público considerado na análise. Este foi constituído pelos candidatos que prestaram o ENEM naqueles anos e que eram concluintes do ensino médio, que compareceram nos dois dias de exame e não tiveram a nota de nenhuma das provas zerada. Além destes, subdividimos este grupo a partir da escolarização dos pais (pai e mãe) dos candidatos. Apresentamos, ainda, como foi feita a classificação dos itens de acordo com os índices quantitativos, a ferramenta desenvolvida no software *Geogebra*® para classificar os itens na matriz $ICI \times IFI$ e um exemplo de como foi feita a análise qualitativa dos itens e determinação de seus distratores. Encerramos este capítulo descrevendo as etapas da aplicação da Análise Fatorial Exploratória (AFE) e os critérios utilizados na determinação dos fatores.

O capítulo seguinte (Capítulo 4) é o de Resultados e Discussões, que está dividido em três subcapítulos. O primeiro apresenta a classificação dos 92 itens de Física do ENEM a partir dos índices associados a Teoria Clássica dos Testes, IFI e IDI, de acordo com os critérios de Rabelo (2013) e Pasquali (2011). Além disso, discutimos, com base nos objetivos do ENEM, se o conjunto de itens de Física são pertinentes ou não do ponto de vista global das provas. A segunda seção deste capítulo mostra como utilizar a matriz de Bao e Redish (2001) a partir do uso do aplicativo desenvolvido no software *Geogebra*®, para então, na seção 5.3, apresentarmos a classificação dos 92 itens de Física nesta matriz. Identificamos aqui que quase 90% dos itens de física analisados são respondidos de forma aleatória pelos concluintes do Ensino Médio e que apenas no grupo de candidatos cujos pais têm Ensino Superior completo encontramos seis itens (quatro na prova de 2012; um na prova de 2013; e um na prova de 2016) que são respondidos de acordo com a

resposta esperada sem apresentar nenhum distrator relevante. No caso destes seis itens, realizamos uma análise detalhada com o objetivo de entender e identificar suas características em comum.

Com os itens caracterizados, passamos para a etapa de aplicar a análise fatorial exploratória em cada um dos anos para agrupar os itens por padrão de respostas. Desta forma, foi possível identificar o traço latente ²existentes dos grupos analisados que explicassem o agrupamento dos itens. Para ilustrar o procedimento de determinação dos traços latentes, apresentamos em 4.2.1 o passo a passo da caracterização realizada para os anos de 2012 e 2017 (primeiro e último ano analisados). Em seguida, apresentamos os agrupamentos gerados por AFE dos demais anos, e buscamos identificar características em comum entre os agrupamentos de todos os anos. Neste sentido, buscamos responder às perguntas secundárias de pesquisa:

- Há relação entre os índices quantitativos e os agrupamentos gerados pela AFE?
- O fator de maior covariância gerado por análise fatorial exploratória nos itens de Física do ENEM agrupa os itens que avaliam e selecionam ao mesmo tempo?

Por fim, realizamos a AFE para os grupos separados (EF, EM e ES) para identificar as semelhanças e diferenças entre os fatores gerados em cada um dos grupos para a mesma prova. Desta forma, buscamos responder à pergunta secundária de pesquisa:

- A escolaridade dos pais dos candidatos como *proxy* para Capital Cultural tem influência nos agrupamentos gerados por análise fatorial exploratória nos itens de Física do ENEM?

O texto segue com as principais conclusões e contribuições para o campo da pesquisa em ensino de Física, mais especificamente na área de avaliações de larga escala e sugestões para que o ENEM cumpra os objetivos propostos em seus editais.

Além dos capítulos principais, o trabalho conta com cinco apêndices. O leitor

² Variável hipotética não mensurável de forma direta que expressa um construto, uma característica, um conteúdo, uma habilidade ou um processo mental.

encontrará no Apêndice A todos os índices qualitativos dos 92 itens para cada um dos grupos analisados; no apêndice B, os gráficos *ICIfxIFI* para todos os anos e todos os grupos analisados; no Apêndice C, a classificação a partir da taxonomia de Smith realizada por Marcom (2019) e organizada aqui para os itens de física das provas de 2009 a 2017; no Apêndice D, todos os agrupamentos gerados por análise fatorial com suas cargas fatoriais; e, no Apêndice E, a análise detalhada de todos os 92 itens com a resolução, identificação dos distratores e as principais características de cada um dos itens.

2. REVISÃO DA LITERATURA E REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresentaremos o arcabouço teórico que embasa o trabalho, bem como outros trabalhos já realizados sobre cada um dos tópicos investigados. Na primeira seção (2.1), justificamos a escolha do ENEM como objeto de estudo, dada sua importância e abrangência no território nacional, bem como a possibilidade de gerar análises sobre ensino criando assim, *feedbacks* para a sociedade, escolas, professores e alunos. Na segunda seção (2.2), apresentamos a escolaridade dos pais dos candidatos como *proxy* para capital cultural, justificando o recorte de candidatos que realizam o ENEM considerados na análise deste trabalho. Em seguida, apresentamos a importância da análise multivariada, mais especificamente a análise fatorial exploratória (AFE), como instrumento para determinar o construto da prova de Física do ponto de vista dos grupos analisados. Nas seções 2.3 e 2.4, apresentamos o arcabouço teórico da análise quali-quantitativa utilizadas na análise dos itens e seus distratores, buscando embasar a interpretação dos fatores por meio de características comuns dos itens que se agrupam na AFE, criando uma ferramenta prática para que o professor e a escola possam compreender o que induz aos erros mais comuns nos itens de Física das provas do ENEM de 2012 a 2017. Por fim, a seção 2.5 visa introduzir a análise fatorial com suas aplicações e limitações, tanto do ponto de vista quantitativo quanto qualitativo.

2.1 O ENEM

Em 1998, quando da sua origem, o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) tinha como principal característica constituir-se como um instrumento para avaliar os estudantes ao término da educação básica. Aos poucos, ele foi incorporando outros usos, tal como a associação dos seus resultados em sistemas de ingresso ao Ensino Superior. O ENEM faz parte do Sistema Nacional de Avaliação Educacional (SNAE) composto, também, pelo SAEB (Sistema de Avaliação da Educação Básica) e pelo ENADE (Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes). Hoje, é considerado o maior exame de seleção do país, sendo utilizado como critério parcial ou total na seleção de alunos para vagas nas instituições de ensino superior (IES).

O ENEM se apresenta como diferente dos vestibulares tradicionais das universidades, já que é pautado em uma matriz de referência de competências e habilidades (INEP, 2009). O exame tem abrangência nacional e é considerado o segundo maior exame de larga escala do mundo, menor apenas que o GaoKao, o exame chinês que é realizado por aqueles que desejam uma vaga em uma universidade do país (RUBINI, 2019; TRAVITKSI, 2013).

Silveira *et al.* (2015) fazem uma ressalva: embora seja recente, quando comparado com outros exames de larga escala como o GaoKao (1952) ou o SAT (1926), o ENEM (1998) já está consolidado como avaliação de larga escala no Brasil, sendo a principal porta de acesso para o Ensino Superior. Porém, não é unânime entre os pesquisadores que o ENEM possa ser considerado uma avaliação do Ensino Médio e que seus resultados possam ser utilizados como indicadores de qualidade da educação brasileira (BAUER *et al.*, 2015).

Nesta seção, apresentaremos a importância e a abrangência do ENEM no cenário nacional – e até internacional - que fazem com que ele seja alvo dos mais diversos interesses, envolvendo pesquisas na área de ensino, currículos escolares e estratégias de *marketing* para captação de novos alunos em escolas particulares e cursinhos preparatórios, entre outros (SOUSA, 2003; VIGGIANO; MATTOS, 2013; TRAVITSKI, 2013; BARROS, 2014; GOLÇALVES JR; BARROSO, 2014; MARCOM; KLEINKE, 2016; KLEINKE, 2017; SOUZA; ROSA, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2018; BARROSO *et al.*, 2018; RUBINI, 2019; SPAZZIANI, 2019; CHAGAS, 2019; MARCOM, 2019).

Esta seção está dividida essencialmente em quatro partes. Na primeira, discutimos a origem e os objetivos do ENEM, bem como a estrutura do exame. Na segunda, apresentaremos a abrangência e o alcance do exame a partir de um breve histórico do ENEM. Na perspectiva da evolução do número de inscritos ao longo dos anos, na terceira parte discutimos a potencialidade do uso deste exame como diagnóstico, tanto na sala de aula quanto na identificação de problemas da educação básica brasileira. Por fim, apresentamos uma breve revisão bibliográfica sobre as diversas abordagens que relacionam os resultados do ENEM ao Ensino de Física.

2.1.1 Origens e Objetivos do ENEM

O ENEM é resultado de uma das políticas públicas prevista nas diretrizes estabelecidas na lei 9394/96 - Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) de 1996, que incumbia a União, em seu art. 9º, inciso IV:

VI - Assegurar processo nacional de avaliação do rendimento escolar no ensino fundamental, médio e superior, em colaboração com os sistemas de ensino, objetivando a definição de prioridades e a melhoria da qualidade do ensino; (BRASIL, 1996. p. 4).

Implementado como parte do Sistema Nacional de Avaliação Educacional (SNAE) no que tange a avaliação do Ensino Médio, em sua criação, o ENEM apresentava como objetivo geral “avaliar o desempenho do aluno ao término da escolaridade básica, para aferir o desenvolvimento de competências fundamentais ao exercício pleno da cidadania” (INEP, 2002, p. 7). Além disso, constava em seus documentos oficiais os seguintes objetivos específicos:

- I. Oferecer uma referência para que cada cidadão possa proceder a sua autoavaliação com vista às suas escolhas futuras, tanto em relação ao mercado de trabalho quanto em relação à continuidade de estudos;
- II. Estruturar uma avaliação da educação básica que sirva como modalidade alternativa ou complementar aos processos de seleção nos diferentes setores do mundo do trabalho;
- III. Estruturar uma avaliação ao final da educação básica **que sirva como modalidade alternativa ou complementar aos exames de acesso aos cursos profissionalizantes, pós-médios e à Educação Superior**; (INEP, 2002, p. 7, grifo do autor).

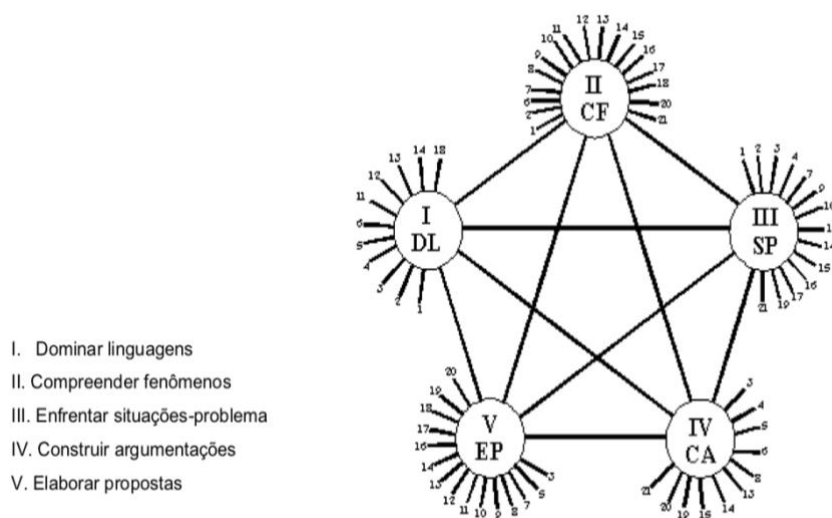
Podemos notar que, entre os objetivos gerais e específicos do primeiro ENEM, não havia quaisquer referências explícitas à avaliação do Ensino Médio brasileiro ou das escolas, mas apenas a autoavaliação dos candidatos. Além disso, diferentemente dos outros dois exames do SNAE (SAEB e ENADE), no ENEM a participação dos candidatos tem sido voluntária, o que torna o exame não censitário e não amostral. Santos (2011) ressalta que, nos primeiros anos de aplicação, a quantidade de candidatos inscritos era aquém do idealizado, já que além de não haver nenhum dispositivo que obrigasse os candidatos a realizarem o ENEM, não existia nenhum outro benefício que pudesse atrair candidatos para a realização do exame. Em seu primeiro ano, menos de 10% dos concluintes do Ensino Médio inscreveram-se para o exame, o que inviabilizou o uso de seus dados para aferir qualquer informação do ponto de vista de políticas públicas nacionais. Por outro lado, Gonçalves Jr. e Barroso

(2014) destacam que, apesar de não ser um exame obrigatório e não contar com mecanismos de amostragem, os resultados do ENEM, eventualmente, podem fornecer indicadores para as escolas que possuam mais de 90% dos seus concluintes participando do exame. Como veremos na próxima seção, o exame passou por diversas mudanças ao longo dos anos, ganhando escala e neste sentido, Rubini (2019) destaca que, a partir de 2009, o ENEM tem sido considerado uma avaliação de larga escala por sua abrangência nacional, ordem de grandeza e representatividade.

Outro ponto que queremos destacar é que, contrariamente ao que muitos pensam, o ENEM, desde sua origem, tem como objetivo específico o uso de seus resultados como “modalidade complementar ou parcial aos exames de acesso” (INEP, 2002, p. 7). Neste sentido, não foi apenas a partir de 2009 que o ENEM começou a ser utilizado de forma parcial ou total como forma de ingresso no Ensino Superior. Este objetivo mostrou-se secundário por um período, porém sempre foi um grande atrator para a inscrição de candidatos no exame (SANTOS, 2011). É possível afirmar que este cenário corresponde à “primeira fase do ENEM”, que durou de 1998 a 2008, quando a prova ainda não tinha um caráter conteudista e se diferenciava dos vestibulares tradicionais. Moura *et al.* (2017) ressaltam que, durante esta “primeira fase do ENEM”, a prova diferenciava-se dos vestibulares tradicionais, já que cada uma das questões não se relacionava única e exclusivamente a determinadas disciplinas.

Do período da sua criação, em 1998, até o ano de 2008, a avaliação era realizada em um único dia e envolvia 63 questões de múltipla escolha (itens), além de uma redação. Os itens eram construídos a partir de uma matriz de referência composta por 5 competências e 21 habilidades (Figura 1), sendo que não havia conteúdos específicos definidos na matriz. A prova era construída de forma que cada uma das 21 habilidades seria avaliada por 3 itens (INEP, 2002). O desempenho dos candidatos era aferido a partir da contagem de acertos na prova, fundamentada na Teoria Clássica dos Testes (TCT), além da nota na redação (PASQUALI, 2009). A TCT compreende um conjunto de conceitos e técnicas muito utilizadas como base para o desenvolvimento de instrumentos de medidas e é uma importante referência em abordagens de medidas psicométricas, já que tem como parâmetro fundamental determinar o total de respostas corretas obtido por um indivíduo em um teste (SARTES; SOUZA-FORMIGONI, 2013).

Figura 1: Matriz de referência de competências e habilidade do ENEM de 1998 a 2008.



Fonte: INEP (2002).

Em 2009, o ENEM passou por uma grande reestruturação, segundo o INEP, com o objetivo de democratizar as oportunidades de concorrência às vagas oferecidas nos cursos de graduação em instituições federais de ensino superior (IFES), assumindo as características de um “Novo ENEM”. Neste ano, uma das principais mudanças foi a criação do Sistema de Seleção Unificada (SISU), em que o candidato podia, a partir da nota no ENEM, candidatar-se a vagas em IFES e outros IES.

Neste ano, além dos três objetivos em comum com os do ano de sua criação, o ENEM incluiu:

- IV - possibilitar a participação e criar condições de acesso a programas governamentais;
- V - promover a certificação de jovens e adultos no nível de conclusão do ensino médio nos termos do artigo 38, §§ 1º e 2º da Lei nº 9.394/96 - Lei das Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB);
- VI - promover avaliação do desempenho acadêmico das escolas de ensino médio, de forma que cada unidade escolar receba o resultado global;
- VII - promover avaliação do desempenho acadêmico dos estudantes ingressantes nas Instituições de Educação Superior; (BRASIL, 2009. p.56)

Nesta reestruturação, o ENEM passou a servir como certificação de conclusão do Ensino Médio para maiores de 18 anos e como instrumento de avaliação do desempenho acadêmico das escolas. Neste momento também é possível notar um maior interesse das escolas, principalmente particulares, no ENEM o que leva a mudanças significativas no currículo da Educação Básica. Segundo Souza e Rosa

(2017) o ranking das escolas promovido pelo INEP tem provocado deste então alterações curriculares nas escolas voltadas para atender as exigências do ENEM. Segundo os autores,

(...) a partir do momento que os docentes são submetidos ao resultado da classificação da escola com a divulgação do ranqueamento, acabam elaborando uma metodologia para treinar seus alunos para levá-los a obterem bons resultados em detrimento de se preocuparem em seguir os parâmetros curriculares do ensino médio (...) (SOUZA; ROSA, 2017, p. 8)

Assim, a intenção de “estruturar uma avaliação ao final da educação básica **que sirva como modalidade alternativa ou complementar aos exames de acesso aos cursos profissionalizantes, pós-médios e à Educação Superior**” (INEP, 2002, p. 7, grifo do autor) já estava presente nos objetivos do exame desde sua origem, não sendo esta uma prerrogativa do Novo ENEM. Entretanto, o que se percebe a partir deste ano é que o exame passou por mudanças significativas. Neste momento, a matriz de referência foi dividida em 4 áreas de conhecimento (Ciências Humanas e suas tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Linguagens Códigos e suas Tecnologias e Matemática e suas Tecnologias), 5 eixos cognitivos e 30 competências relacionadas com 120 habilidades. Além disso, os objetos de conhecimento (conteúdos) passaram a fazer parte do documento (INEP, 2009).

Ao se tornar a principal porta de entrada para a universidade do país, o formato da prova (e seus itens) sofreu alterações significativas, assemelhando-se aos vestibulares tradicionais que tinham o objetivo de selecionar candidatos ao invés de avaliá-lo ao final do Ensino Médio, fenômeno que podemos chamar de “vestibularização” do ENEM (VIGIANNI; MATTOS, 2010; SILVEIRA *et al.*, 2015; KLEINKE, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2018; MOURA *et al.*, 2017).

O exame foi dividido nas quatro áreas de conhecimento em quatro provas, com 45 itens cada, e passou a ser realizado em dois dias: Ciências Humanas, Linguagens e redação no primeiro dia, e Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias no segundo. Nesse novo formato, o exame passou a apresentar 180 itens e, apesar de ainda trabalhar com as grandes áreas do conhecimento, a orientação para disciplinas específicas ficou evidente de forma bastante explícita. Por exemplo, na prova de Ciências da Natureza, os 45 testes são divididos, em média, por 15 para a disciplina de Química, 15 para de Biologia e 15 para Física, com pequenas variações

nas quantidades de um ano para o outro. Segundo Viggiano e Mattos (2010) e Moura *et al.* (2017), após estas mudanças, percebe-se um deslocamento da intenção de medir competências e habilidades para avaliar mais intensamente os conteúdos específicos das disciplinas escolares. Segundo Andrade (2012), esta mudança foi necessária já que o modelo anterior era genérico e impossibilitava que as universidades públicas, principalmente nos cursos muito disputados, pudessem selecionar candidatos com habilidades necessárias para cursar no ensino superior. No modelo anterior o empate entre candidatos não permitiria selecionar os candidatos, principalmente nos cursos mais concorridos, uma vez que grande parte dos candidatos acertava todos os testes.

Outra evidência que corrobora com a “vestibularização” do ENEM está na forma como o MEC divulgou as mudanças do ENEM em seu portal na internet³. O Ministério da Educação apresentou a proposta de reestruturação do ENEM com a clara intenção de transformar o exame em um vestibular unificado:

O Ministério da Educação apresentou uma proposta de reformulação do Exame Nacional do Ensino Médio (Enem) e **sua utilização como forma de seleção unificada nos processos seletivos das universidades públicas federais.**

A proposta tem como principais objetivos democratizar as oportunidades de acesso às vagas federais de ensino superior, possibilitar a mobilidade acadêmica e induzir a reestruturação dos currículos do ensino médio.

As universidades possuem autonomia e poderão optar entre quatro possibilidades de utilização do novo exame como processo seletivo:

- Como fase única, com o sistema de seleção unificada, informatizado e online;
- Como primeira fase;
- Combinado com o vestibular da instituição;
- Como fase única para as vagas remanescentes do vestibular.

(MEC, 2020)

Segundo Travitski (2013), neste ano de implementação das mudanças foi visível que o objetivo de selecionar candidatos para as vagas nas IFES era prioritário em relação aos demais objetivos do ENEM, pelo menos do ponto de vista dos candidatos que se inscreveram para o exame. Em seu trabalho, ele faz um levantamento das respostas ao questionário socioeconômico sobre a motivação principal dos alunos

³ Fonte: <http://portal.mec.gov.br/busca-geral/179-estudantes-108009469/vestibulares-1723538374/13318-novo-enem>, acesso em 10/07/2020.

para fazerem o exame. Os microdados do questionário socioeconômico mostram que, aproximadamente, 80% dos participantes fizeram o exame com o objetivo de entrar no ensino superior, enquanto apenas 12% desejavam fazer uma autoavaliação. Segundo o Ministério da Educação, a motivação de utilizar o exame para entrar na faculdade já era a mais assinalada desde a criação do Prouni em 2004 (MEC, 2009).

O crescimento pelo interesse no ENEM, além de revelar cada vez mais a qualidade do ensino médio brasileiro, influencia diretamente nos currículos das escolas. O potencial do ENEM de influenciar no currículo das escolas de educação básica nunca foi negado, porém acreditar que esta influência ocorre sempre de forma positiva é questionável (SANTOS, 2011). No ano das mudanças, o MEC encaminhou para a Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais um documento apresentando a proposta que dizia que, qualquer vestibular tradicional, ainda que de forma involuntária, acabava por orientar o currículo do ensino médio das escolas. Segundo Perrenoud (2007, p. 22), “mesmo quando o avaliador não é o professor, a avaliação que se alinha no horizonte exerce fortes pressões sobre os procedimentos didáticos”; quando se trata de um vestibular nacional unificado, o potencial para isso é maior ainda (MEC, 2009).

Um exame nacional unificado, desenvolvido com base numa concepção de prova focada em habilidades e conteúdos mais relevantes, passaria a ser importante instrumento de política educacional, na medida em que **sinalizaria concretamente para o ensino médio orientações curriculares expressas de modo claro, intencional e articulado** para cada área de conhecimento. (MEC, 2009. p. 4, grifo do autor).

Podemos ver, portanto, a intencionalidade do MEC em, a partir do ENEM, sinalizar para os gestores regionais um currículo mínimo pelo qual um aluno deveria passar ao longo da educação básica, apesar de este objetivo não constar do edital do exame (INEP, 2002).

Esta padronização pode associar-se a aspectos positivos e negativos. Sousa (2003) ressalta que as avaliações padronizadas e de larga escala têm um papel central nas políticas educacionais do país. Segundo a autora, estas avaliações, associadas a outras políticas públicas, deveriam ter a incumbência de, a partir de seus resultados, propiciar a melhoria da eficiência e da qualidade da educação. Por outro lado, Bauer *et al.* (2015) apontam que esta padronização pode gerar um empobrecimento dos currículos escolares, já que esse movimento pode impulsionar

um direcionamento de esforços, por parte das escolas e professores, no sentido de garantir o ensino do que é cobrado nas avaliações, deixando de lado outros conteúdos e habilidades fundamentais para a educação básica.

Por fim, outra mudança significativa que ocorreu no ano de 2009 foi na forma como o INEP passou a corrigir as questões de múltipla escolha e a divulgar a nota e a classificação dos candidatos. A pontuação deixou de se pautar pela Teoria Clássica dos Testes (TCT) e passou a ser calculada a partir da Teoria da Resposta ao Item (TRI). Segundo o INEP (2011), A decisão de implementar a TRI no ENEM teve como finalidade permitir a comparabilidade dos resultados entre os anos e permitir a aplicação do Exame várias vezes ao ano.

A comparação dos resultados entre avaliações é possível na medida em que, com a TRI, uma escala métrica é estabelecida. Assim como existem escalas padrões para mensurar comprimento (metro) e temperatura (Celsius), com a TRI desenvolve-se uma escala padrão de conhecimento. As provas, nas avaliações educacionais, são instrumentos de medida do conhecimento, comumente denominado de traço latente. Por sua natureza, os conhecimentos adquiridos pelos estudantes não podem ser mensurados diretamente, mas é possível utilizar instrumentos de medida que buscam mensurá-los indiretamente. (INEP, 2011, p. 1)

Esta mudança também foi justificada pela necessidade de classificar os alunos, ao invés de avaliar o seu desempenho. Isso ocorreu devido ao afunilamento que existe na passagem do Ensino Médio para o Ensino Superior, em que a diferença entre a quantidade de pessoas que realizavam o exame e a quantidade de vagas disponíveis era, enorme, principalmente para os cursos de alta concorrência. Nestes casos o uso da contagem simples de acertos ainda poderia gerar uma grande quantidade de empates, dificultando o processo de seleção. Além disso, segundo os responsáveis, o uso da TRI tornou os resultados de exames de anos diferentes comparáveis entre si (BARROS, 2014).

A grande diferença entre os modelos é que a TRI não considera apenas o acerto dos itens, mas também a proficiência do candidato, a coerência nas respostas e a dificuldade de cada item para o conjunto de respostas. Este conjunto de informações consegue mapear o traço latente deixado por cada candidato ao longo do exame. A TRI adota dois axiomas principais:

1. O desempenho do sujeito em uma tarefa (item do teste) se explica em função de um conjunto de fatores ou traços latentes (aptidões, habilidades, etc.). O desempenho é o efeito e os traços latentes são a causa;
2. A relação entre o desempenho na tarefa e o conjunto de traços latentes pode ser descrita por uma equação monotônica crescente chamada Função Característica do Item ou Curva característica do Item (...) (PASQUALI, 2009, p. 994)

Isto quer dizer que a TRI busca considerar a probabilidade de um indivíduo dar uma certa resposta a um item como função dos parâmetros do item e da habilidade do respondente. Essa relação é expressa de tal forma que, quanto maior a habilidade do sujeito, maior a probabilidade de acerto no item – com exceção de itens mal formulados em que a chance de indivíduos com menor habilidade acertar for maior (RUBINI, 2019). O modelo proposto baseia-se no fato de que indivíduos com maior habilidade possuem maior probabilidade de acertar itens mais difíceis e, portanto, a pontuação atribuída ao acerto do item está associada à esta probabilidade (PASQUALI, 2011; FLETCHER, 2010).

O uso da TRI não é unanimidade entre os pesquisadores. Barros (2014) citando Nilson Machado (Faculdade de Educação - USP), um dos idealizadores do ENEM original, acredita que a utilização da TRI na correção das provas é o mais grave de todos os desvios que o exame sofreu em 2009. Segundo o autor, limitações na qualidade e na quantidade dos itens dos bancos de questões, problemas logísticos como roubos de provas ou quebras de sigilo e inadequações na pré-testagem dos itens, afetaram e ainda afetam significativamente a integridade e a credibilidade da prova. Além disso a compreensão e reprodutibilidade das notas ficou comprometida, uma vez que o INEP não divulga os parâmetros utilizados na calibração do modelo.

Consideramos que a mudança da nota baseada em TCT para TRI é significativa já que, a partir do momento em que ocorreu esta mudança, não foi mais possível que o aluno soubesse o seu desempenho apenas com a contagem do número de acertos. Para ter informações de seu desempenho, tornou-se necessário esperar os resultados divulgados pelo INEP, uma vez que eles dependerão do desempenho e das respostas de todos os candidatos que prestaram o exame.

O modelo logístico da TRI é mais preciso que a TCT, mas é de difícil análise e interpretação do ponto de vista estatístico, dificultando a compreensão de informações relevantes para profissionais não especializados em psicometria, como é o caso da maioria dos professores e gestores do Ensino Médio.

Buscamos neste trabalho analisar os testes de forma acessível para os professores e, portanto, apesar de o ENEM utilizar a TRI para caracterizar os itens e calcular o escore final, optamos por utilizar índices associados a TCT para caracterizar os itens. Discutiremos com maior detalhe os índices utilizados para caracterizar os itens na seção 2.3 deste trabalho.

Para resumir as mudanças sofridas pelo ENEM em 2009, apresentaremos um quadro comparativo proposto por Travitski (2013). Nele, o autor apresenta as principais características que diferenciam o ENEM (1998 até 2009) do Novo ENEM (a partir de 2009):

Quadro 1: Características do ENEM e Novo ENEM

Característica	De 1998 a 2008	De 2009 em diante
Objetivo principal	Avaliar a preparação para a cidadania	Avaliar a preparação para o Ensino Superior *
Objetivos específicos	3 objetivos (em 1998)	7 objetivos
Matriz de referência	5 competências organicamente relacionadas a 21 habilidades	4 áreas de conhecimento, 5 eixos cognitivos, 30 competências hierarquicamente relacionadas a 120 habilidades, conteúdos (objetos e conhecimento)
Dimensões supostamente avaliadas (número de notas disponíveis nos microdados)	5 notas de prova e 5 de redação (relativas às competências)	4 notas de prova (relativas às áreas do conhecimento) e 5 de redação (competências)
Formato da prova	1 prova de 63 itens e 1 redação	4 provas de 45 itens e 1 redação
Duração da prova	1 dia (5 horas)	2 dias (4,5 horas e 5,5 horas)
Análise dos resultados	Teoria Clássica dos Testes	Teoria da Resposta ao Item
Itens	Fornecem informações necessárias para resolução	Algumas delas pressupõem domínio prévio de informação

Fonte: TRAVITSKI, 2013

* Este não é o objetivo principal do Novo ENEM, porém o autor argumenta que com as mudanças realizadas o objetivo de selecionar se sobressaiu em relação ao objetivo de avaliar a aprendizagem.

Além da grande mudança estrutural passada pelo ENEM em 2009, os objetivos explicitados no edital do ENEM sofreram mais modificações ao longo dos anos, sendo que, no ano de 2017, último ano considerado neste trabalho, a portaria que estabeleceu a realização do exame presente no Diário Oficial da União incluiu o seguinte artigo:

Art. 2º Constitui objetivo primordial do ENEM aferir se aqueles que dele participam demonstram, ao final do ensino médio, individualmente, domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna e se detêm conhecimento das formas contemporâneas de linguagem.

Art. 3º Os resultados do ENEM deverão possibilitar:

I - a constituição de parâmetros para a autoavaliação do participante, com vistas à continuidade de sua formação e a sua inserção no mercado de trabalho;

II - a criação de referência nacional para o aperfeiçoamento dos currículos do ensino médio;

III - a utilização do Exame como mecanismo único, alternativo ou complementar para acesso à educação superior, especialmente a ofertada pelas instituições federais de educação superior;

IV - o acesso a programas governamentais de financiamento ou apoio ao estudante da educação superior;

V - a sua utilização como instrumento de seleção para ingresso nos diferentes setores do mundo do trabalho; e

VI - o desenvolvimento de estudos e indicadores sobre a educação brasileira. (BRASIL, 2017. p.40, grifo do autor)

Embora alguns objetivos tenham sido apenas reescritos, é notável que, em algum momento, deixaram de ser propósitos do ENEM a certificação do Ensino Médio e a promoção da avaliação do desempenho acadêmico das escolas de Ensino Médio. Esta avaliação, que era divulgada sob a forma de *ranking* das escolas, nunca foi unanimidade entre os pesquisadores, porém é de grande valia para as instituições bem classificadas, que se utilizam deste resultado na captação de novos alunos (ANDRADE; SOLDA, 2015). Andrade e Solda (2015) questionam a qualidade do *ranking* das escolas do ensino médio com base nos resultados do ENEM. Segundo os autores, fatores como tamanho da escola e aderência de seus alunos nem sempre foram consideradas no *ranking*, o que gera grandes distorções e variações na classificação de um ano para o outro. Além disso, segundo os autores, algumas instituições se utilizam de má fé, criando novos CNPJs para matricular seus melhores alunos para aparecer no ranking entre as “melhores escolas”. Este *ranking* reforça ainda mais a padronização do currículo, uma vez que as escolas passam a preparar seus alunos para o ENEM, gerando um empobrecimento do currículo (SANTOS, 2011; ANDRADE; SOLDA, 2015). Por outro lado, a não divulgação do ranking oficial pelo INEP fomenta o surgimento de rankings elaborados por empresas e grupos escolares com base em critérios próprios, muitas vezes distorcidos, favorecendo determinadas instituições.

Destacamos, por fim, os incisos II e VI, que explicitaram a intenção de promover pesquisas na área de Ensino que possibilitem identificar dificuldades, problemas e

gerar indicadores sobre a educação básica brasileira, respectivamente. Este último objetivo, que abre espaço para a pesquisa em ensino, busca disponibilizar os dados do ENEM para o diagnóstico de problemas e virtudes da educação básica brasileira, bem como caminhos para melhorar a qualidade, tanto do ensino como do próprio exame. Este trabalho faz parte desta busca.

Em suma, dentre os diversos objetivos do ENEM, há dois principais que predominam um em relação ao outro, e em diferentes momentos na história do exame. O primeiro diz respeito à avaliação do desempenho escolar dos estudantes ao final da Educação Básica. O segundo diz respeito à seleção dos indivíduos a terem acesso às instituições de Ensino Superior (INEP, 2002; BRASIL, 2009).

Enquanto o objetivo de avaliar os estudantes norteava o ENEM em suas primeiras edições (até 2008), o de selecionar indivíduos foi ganhando notoriedade com o passar dos anos, conforme políticas de acesso ao ensino superior privado e instituições públicas de ensino superior passavam a adotar cada vez mais a nota do exame como mecanismo de seleção dos candidatos. Desde então, selecionar indivíduos para acesso ao ensino superior vem se mostrando o principal objetivo do exame (TRAVITSKI, 2013), enquanto a avaliação dos estudantes ao final da educação básica vem recebendo menos atenção (MARCOM, 2019).

Fato é que avaliação da aprendizagem e seleção de alunos são lógicas opostas, segundo Perrenoud (1999). Avaliar a aprendizagem visa compreender as habilidades e deficiências dos alunos para regulação contínua das intervenções e das situações didáticas – que, no caso do ENEM, se daria pela utilização dos resultados do exame na orientação de políticas públicas e informando professores a respeito das principais dificuldades dos alunos sobre diferentes assuntos (MARCOM, 2019). Já a seleção de alunos visa discriminar os sujeitos, criando-se hierarquias de excelência e classificando-os em virtude de um ideal. Se na lógica da avaliação da aprendizagem um erro ao responder uma questão é visto como informação importante para retroalimentar o ensino, na lógica da seleção ele é uma oportunidade de excluir indivíduos (PERRENOUD, 1999).

Estamos de acordo com Perrenoud (2009) e, para nós, avaliar o candidato ao término da escolarização básica e selecionar candidatos para vagas do ensino superior são objetivos contraditórios. Neste sentido, o Novo ENEM vem priorizando a seleção de alunos, o que gerou a “vestibularização” do ENEM. Esta mudança trouxe

diversos aspectos positivos associados a políticas públicas, mas também diversos questionamentos. Mudanças como provas disciplinares mais longas, mais conteudistas, cujos itens demandam treino e não habilidades ou conhecimentos gerais, foram necessárias para que o ENEM passasse a ser utilizado como exame único de seleção nas instituições federais de ensino superior; porém, essas mudanças tornaram o exame menos preciso em termos de diagnóstico.

Há quem argumente que os resultados das provas não têm tido o impacto esperado na melhoria da qualidade do sistema educacional, porque as avaliações configuram-se em modelos cuja prioridade é medir o rendimento dos alunos e não avaliar o sistema como um todo. (BAUER *et al.*, 2015, p. 1347)

Contudo, continuamos acreditando no potencial do ENEM e buscamos extrair do exame o máximo de informações relevantes para atender a políticas de melhoria da qualidade de ensino, bem com sinalizar possíveis problemas de aprendizagens mais comuns dos alunos a partir de seus erros frequentes no exame. O ENEM mostra-se como um poderoso e infundável banco de dados que propicia informação, diagnóstico, regulação, monitoramento e controle de ações, bem como a legitimação de inúmeras políticas públicas. É um objetivo deste trabalho que os resultados obtidos a partir desta avaliação de larga escala sejam de alguma forma apropriados pelos professores que estão na sala de aula da educação básica.

Além disso, apesar de não ser amostral ou censitário, no seu atual formato e considerando a quantidade de candidatos que realizam o exame de forma voluntária, o ENEM é uma excelente fonte de informações sobre a Educação Básica, principalmente quando analisamos a frequência de escolha das alternativas erradas por parte dos candidatos (GONÇALVES JR; BARROSO, 2014; MARCOM; KLEINKE, 2015; KLEINKE, 2017; VILLAR; KLEINKE, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2018; RUBINI, 2019; MARCOM, 2019, SPAZIANI, 2019).

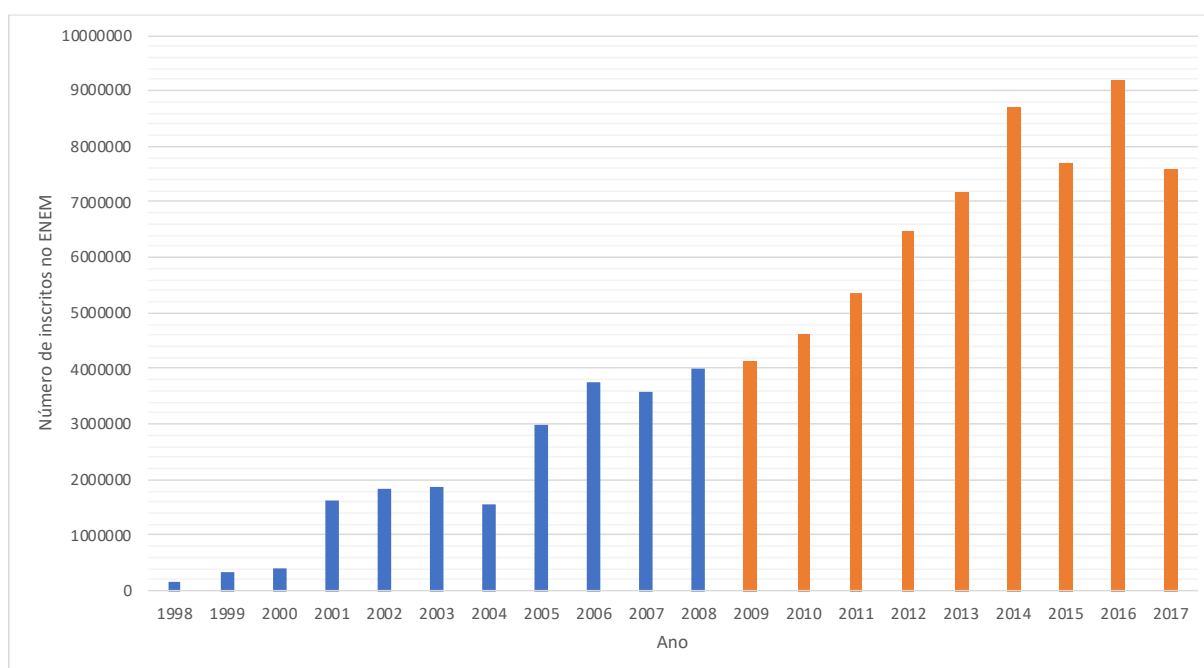
2.1.2 Um breve histórico do ENEM

Discutiremos a seguir como se deu a evolução do número de inscritos no ENEM, desde sua criação até o ano de 2017, apresentando algumas mudanças que ocorreram no exame, assim como identificaremos políticas públicas tomadas no

período que podem ter influenciado direta ou indiretamente a quantidade de inscritos no exame.

Desde que surgiu em 1998, o ENEM vem ganhando espaço no cenário nacional. De acordo com os microdados disponibilizados no portal do INEP⁴ e tratados neste trabalho, no ano de 2017, por exemplo, mais de 6 milhões de candidatos se inscreveram para a prova, dos quais mais de 1,1 milhões eram concluintes do Ensino Médio e compareceram nos dois dias de prova. Para ilustrar este crescimento, apresentamos no Gráfico 1 o número total de inscritos em cada edição do ENEM desde sua criação, com destaque (laranja) para os anos que serão analisados neste trabalho.

Gráfico 1: Alunos inscritos no ENEM, desde a primeira edição em 1998 até o ano de 2017, com destaque em laranja para os anos analisados neste trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos microdados do ENEM.

Como primeira análise, cabe notar uma tendência geral de crescimento na participação de candidatos do ENEM desde sua criação, em 1998, até os dias de hoje. Segundo Santos (2011), o salto no número de inscritos nos primeiros anos de aplicação do ENEM está fortemente atrelado ao número de universidades –

⁴ Microdados do ENEM. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/microdados>>, acessado em março de 2019.

preferencialmente públicas – que passaram a utilizar os resultados do ENEM como critério parcial ou total na seleção para ingresso em seus cursos superiores. A utilização dos resultados do ENEM nos processos de seleção das instituições de ensino superior foi, desde sua implantação, o mais forte atrativo aos que a ele se submetem, conforme podemos ver no Quadro 2.

Quadro 2: Relação do número de inscritos x universidades que aderem ao ENEM em seu processo seletivo.

ANO	INSCRITOS	Nº DE UNIVERSIDADES
1998	157.221	02
1999	347.135	93
2000	390.574	137
2001	1.624.131	211
2002	1.818.665	327
2003	1.876.387	409
2004	1.547.094	436

Fonte: Santos, 2011.

No primeiro ano, apenas duas universidades utilizaram os resultados do ENEM em seu processo seletivo, porém a aderência das universidades aos resultados do exame cresceu nos anos subsequentes, aumentando também o número de candidatos inscritos no exame.

Identificamos um aumento significativo o número de universidades que utilizam os resultados do ENEM em seus processos seletivos e, com isso, identificamos um grande aumento de candidatos (quadruplicou) no ano de 2001. Dentre as universidades que passaram a considerar o ENEM em seu processo seletivo, está a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) que passaram a aceitar a nota do candidato na prova de conhecimentos gerais do ENEM como bonificação em seu processo seletivo (USP, 2000; COMVEST, 1999). Além disso, segundo o INEP (2019), no ano de 2001, as inscrições para o ENEM passaram a ser realizadas pela internet e os concluintes do ensino médio via EJA (Educação de Jovens e Adultos) passaram a ter direito à inscrição gratuita no ENEM. Além disso, ficaram isentos da taxa de inscrição os concluintes e egressos do Ensino Médio que se declararam impossibilitados de pagar a taxa de inscrição. Ao todo, 82% dos 1.624.131 inscritos foram beneficiados, o que corresponde, aproximadamente, ao aumento de inscritos em relação ao ano anterior, portanto este

fato pode explicar o crescimento do número de inscritos deste ano.

Percebe-se uma estabilização no número de inscritos nos anos de 2002 a 2004, com uma pequena queda no número de inscritos em 2004. Diversos podem ser os motivos para esta estabilização, mas encontramos na literatura uma hipótese levantada por Santos (2011) que atribui esta estabilização à frustração que a grande maioria dos inscritos teve ao perceber que a propaganda de que o ENEM seria uma porta de entrada para o Ensino Superior era falsa. Segundo o autor, a falsa promessa de democratização de acesso ao Ensino Superior via ENEM fez com que a grande massa dos candidatos fosse ludibriada.

Logo em seguida, é notável outro aumento significativo no número de inscritos do ano de 2004 para 2005. Este aumento pode estar associado a duas mudanças significativas do ENEM em 2004:

a) O MEC passou a divulgar as médias das escolas no ENEM, o que gerou os *rankings* escolares e pode ter feito com que as escolas, principalmente particulares, incentivassem seus alunos (principalmente os de alto desempenho) a prestarem o exame (ANDRADE; SOLDA, 2015);

b) Foi criado o Programa Universidade para Todos (Prouni) em que o governo, a partir do critério de desempenho no exame, passou a conceder bolsas de estudos integrais ou parciais em instituições particulares de ensino superior para estudantes de baixa renda que cursaram o Ensino Médio na rede pública (TRAVITSKI, 2013).

Isto fez com que o ENEM passasse a ser atraente para estudantes de baixa renda, que vislumbraram a possibilidade de fazer ensino superior. Corti (2013) destaca que, neste período, ocorreu uma heterogeneização do público que se inscrevia para a prova, uma vez que a disputa de bolsas em instituições de ensino superior privadas provocou o aumento de candidatos mais velhos, interessados nessa oportunidade.

Além do programa Prouni implementado em 2004, em 2007 o Governo Federal implementou o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni) como uma das ações do Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE) que foi lançado com o objetivo de organizar a reestruturar as Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) ampliando o número de vagas na direção da democratização do acesso ao Ensino Superior.

A partir de 2009, com a implementação do Novo ENEM, verificamos um

aumento consecutivo significativo no número de inscritos nos anos subsequentes a estas mudanças, até o ano de 2014.

Conforme discutimos anteriormente, neste momento, o ENEM deixou de servir principalmente como referência para a autoavaliação dos candidatos e passou a priorizar a seleção para ingresso nos IES (públicas ou particulares). No ano seguinte, em 2010, passou a ser utilizado como certificação do ensino médio, o que fez com que o número de candidatos prestando o exame crescesse ainda mais.

O uso do ENEM como certificação do Ensino médio durou de 2010 a 2016. Neste período, pessoas com mais de 18 anos podiam realizar o ENEM para obter certificação de conclusão de ensino médio, desde que indicassem na inscrição do ENEM que desejavam o certificado de conclusão do ensino médio e obtivessem, no mínimo, 450 pontos em cada uma das quatro provas objetivas do ENEM, e 500 na redação (DAEB, 2015).

A partir do ano de 2011, percebe-se uma alta mais acentuada no número de participantes, processo esse que se manteve durante quatro anos. Neste ano, o ENEM passa a ser obrigatório para o aluno que desejava concorrer ao FIES (Fundo de Financiamento de Estudantil), programa de financiamento estudantil que possibilitava financiamento estudantil com juros zero aos alunos de mais baixa renda e uma escala de financiamentos que variava conforme a renda familiar do candidato. Apesar de este programa existir desde 2001, apenas em 2011 os resultados do ENEM foram vinculados neste processo.

Nota-se uma quebra na sequência de crescimento no número de inscritos para o ENEM no ano de 2015. Esta queda no número de inscritos coincide com um aumento do valor da inscrição de R\$35,00 para R\$63,00. Apesar de negado pelos organizadores do exame, já que a grande maioria dos candidatos era elegível para isenção da taxa, este fato pode explicar parte da queda no número de inscritos.

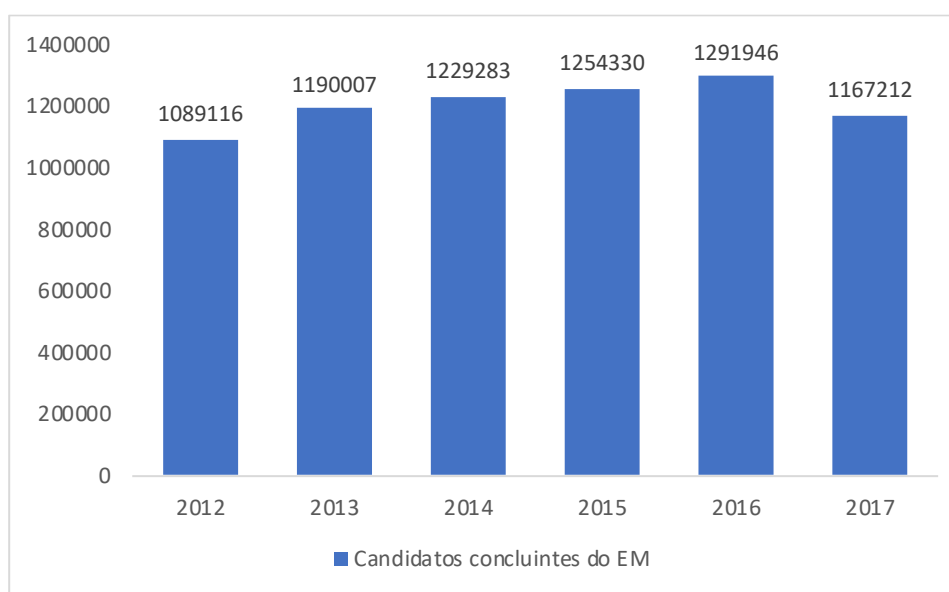
Verifica-se um ápice de inscritos no ano de 2016. Este foi o último ano em que o ENEM pôde ser utilizado para emissão de certificado de ensino médio (INEP, 2019).

Em seu trabalho, Travitski (2013) aponta outras possíveis causas do crescimento pelo interesse no ENEM:

Uma delas diz respeito à sua aceitação pelos educadores que, embora muitas vezes não estejam familiarizados com a linguagem das competências, por assim dizer, buscam alguma alternativa aos vestibulares tradicionais que, pelo caráter mais “conteudista”, acabavam dificultando o trabalho do professor, que se via obrigado a ensinar muita coisa em pouco tempo. Outra hipótese é que as transformações pelas quais passou ao longo dos anos foram bem planejadas e articuladas a outras políticas, de forma que o exame tenha encontrado um lugar bem definido dentro do sistema educacional. (p. 185)

Além do total de candidatos que se inscreveram para o ENEM, é de nosso interesse destacar quantos eram os concluintes do Ensino Médio que realizaram a prova nos anos analisados neste trabalho (Gráfico 2).

Gráfico 2: Alunos que compareceram nos dois dias do ENEM nos anos de 2012 a 2017, eram concluintes do ensino médio e não tiveram sua redação e prova objetivas zeradas.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos microdados do ENEM.

Podemos observar que o número total de candidatos concluintes do Ensino Médio que prestam o ENEM é praticamente constante nos anos analisados. Além disso, vale destacar que os concluintes que realizaram o exame correspondem a um percentual entre 14% e 17% do total de candidatos inscritos no ENEM, o que reforça o caráter de processo seletivo e classificatório para acesso ao ensino superior assumido pelo ENEM.

Apresentamos até aqui os objetivos do ENEM, bem como sua abrangência no território nacional. Mesmo não sendo obrigatório, este exame apresenta mais de um

milhão de concluintes do ensino médio realizando o exame nos anos considerados neste trabalho, todos eles com motivações das mais diversas. Tal fenômeno faz com que o resultado no exame retrate a aprendizagem dos alunos nos temas abordados. Conhecer as respostas de mais de um milhão de concluintes do Ensino Médio e identificar seus principais erros nos itens pode revelar informações relevantes sobre a qualidade do ensino médio brasileiro.

2.1.3 O ENEM como um exame diagnóstico

Apresentamos e discutimos até aqui as mudanças sofridas pelo ENEM ao longo dos anos que fizeram com que ele se tornasse o maior exame de seleção do Brasil e a segunda maior avaliação de larga escala do mundo. Devido ao seu alcance e importância no cenário da educação nacional, ele vem sendo utilizado em diversas pesquisas na área de ensino, inclusive de Física, revelando informações importantes sobre a educação básica brasileira. É de extrema relevância o uso das avaliações de larga escalas já consolidadas e de seus dados disponíveis para que elas, cada vez mais, sejam apropriadas pelos professores (KLEINKE, 2017; RUBINI, 2019; MARCOM, 2019). Além disso, Chen *et al.* (2020) apontam que provas com itens de múltipla escolha, como é o caso do ENEM, podem fornecer informações importantes sobre o conhecimento dos respondentes. Nesta seção, faremos uma breve revisão bibliográfica sobre a potencialidade do ENEM em revelar informações relevantes sobre a educação básica brasileira. Segundo Rubini (2019):

é necessário que se amplie o horizonte deste mero ranqueamento e procure-se entender as propostas destas avaliações e o que elas podem revelar sobre o ensino e a aprendizagem dos estudantes. Somente assim é possível estabelecer qualquer tipo de diagnóstico educacional consequente. (p. 23)

Para isso, é fundamental compreender a forma e as características da avaliação. Comparar o que dizem os documentos oficiais, como o guia do elaborador (INEP, 2010), com o item propriamente dito pode trazer pistas de problemas relacionados ao processo de ensino, mas também revelar problemas na elaboração e escolha dos itens que compõem o exame. Estariam os itens alinhados aos objetivos do exame?

Neste sentido, apresentamos um conjunto de trabalhos que enxergam a

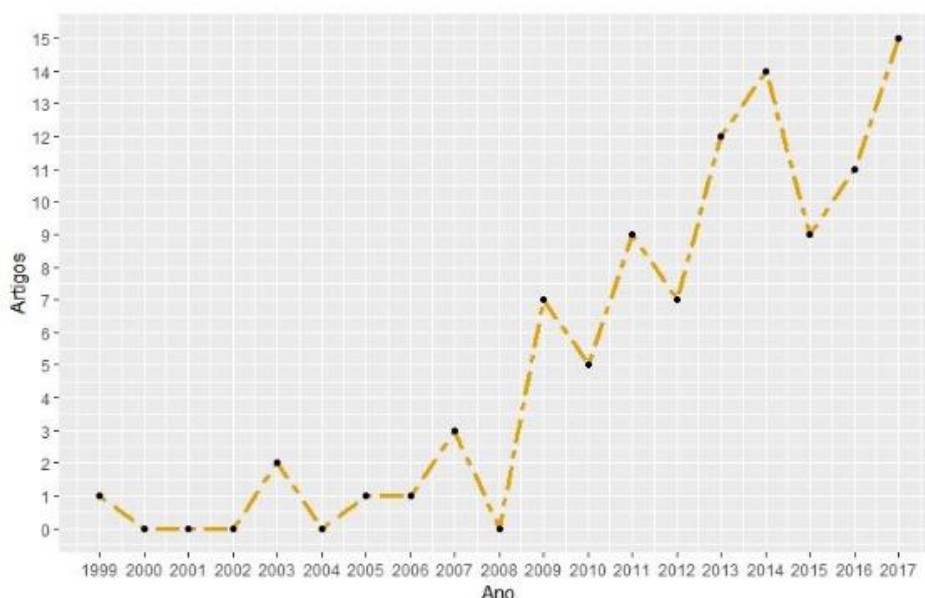
potencialidade do ENEM como avaliação diagnóstica de problemas relacionados ao ensino, bem como sugerem possíveis usos de seus itens para que o professor identifique na sala de aula lacunas de aprendizagem e concepções erradas de seus alunos.

Diversos estudos utilizam o ENEM para diagnosticar problemas na educação básica. Análise e categorização dos itens (OLIVEIRA, 2014; MARCOM, 2015; SILVA; MARTINS, 2014; CHAGAS, 2019; SPAZZIANI, 2019; NAKAMURA, 2020), análise dos microdados e questionário socioeconômico (NASCIMENTO, 2019; VIGGIANO; MATTOS, 2013; FIGUEIREDO *et al.*, 2014), currículo (SANTOS, 2011; MOURA, 2014; BARROS, 2014; MARCELINO; RECENA, 2012), qualidade do ensino básico (TRAVITSKI, 2013; ANDRADE; SOLDA, 2015; RUBINI, 2019) são algumas áreas abordadas pelos pesquisadores que utilizam os dados do ENEM em seus trabalhos.

Em sua tese de doutorado, Nascimento (2019) fez um levantamento sobre o número de trabalhos publicados em revistas que faziam parte dos estratos A1, A2 e B1 na área de concentração “Ensino” na CAPES, e que continham os termos “ENEM” ou “Exame Nacional do Ensino Médio” de 1998 a 2017, tendo sido encontrados mais de 100 trabalhos. Neste levantamento, retornaram 30 trabalhos que discorriam sobre a qualidade das questões do ENEM, 23 sobre políticas públicas subjacentes ao exame, 15 trabalhos que investigavam a relação do ENEM com os currículos escolares, 17 sobre a utilização do ENEM como sistema de avaliação e 12 trabalhos que analisavam o desempenho dos estudantes no exame.

É perceptível o crescente interesse no ENEM para pesquisa na área de ensino a partir do aumento da quantidade de publicações em revistas indexadas sobre o ENEM desde a implementação do Novo ENEM, em 2009. Como já destacamos anteriormente, é de interesse público e consta nos objetivos do ENEM dos últimos anos a implementação de pesquisas que possam aprimorar a educação básica brasileira e, para isso, o MEC tem interesse em viabilizar o desenvolvimento de estudos e indicadores sobre a educação brasileira com os dados gerados na aplicação do Novo ENEM.

Gráfico 3: Série histórica das publicações na área de Ensino que citam o ENEM ao longo do texto.



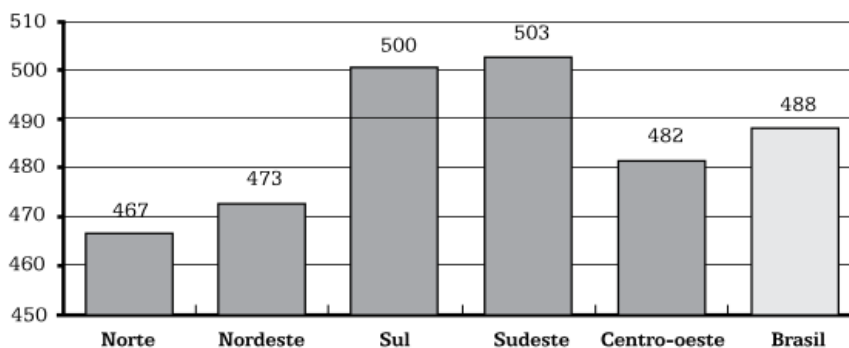
Fonte: Nascimento (2019)

Sobre a potencialidade do ENEM na investigação das desigualdades regionais brasileiras, bem como para criticar a adoção de um exame de âmbito nacional em um país continental com tantas realidades distintas como o Brasil, Viggiano e Mattos (2010) estudaram a relação entre desempenho e regiões do Brasil de estudantes no ENEM de 2010; os autores verificaram que, nacionalmente, o pior desempenho na prova do ENEM ocorreu na área de Ciências da Natureza, seguida pela área de Matemática e suas Tecnologias. Além disso, destacam que, no ENEM 2010, o desempenho do aluno estava associado à região do Brasil na qual o candidato morava, sendo que os candidatos da região Sudeste eram os que apresentavam o melhor desempenho, seguidos dos candidatos das regiões Sul, Centro-Oeste, Nordeste e Norte, respectivamente. Sobre isso, destacam que

As notas médias de todas as regiões indicam que a educação brasileira ainda tem que avançar muito para chegar a um desempenho mínimo aceitável. Os dados indicam que nenhuma das áreas do conhecimento chegou ao índice de 59% de aproveitamento. A área de Ciências da Natureza teve índices consideravelmente inferiores de desempenho, sendo que apenas Sul e Sudeste chegaram a 50% de aproveitamento. (VIGGIANO; MATTOS, 2010, p. 435).

Os autores concluem, ainda, que o desempenho na área de Ciências da Natureza, além de ser a prova de pior desempenho geral, é um dos mais sofre em função da desigualdade social entre as regiões brasileiras, conforme pode ser visto no Gráfico 4. Os autores destacam que a diferença entre a nota média dos candidatos da Região Sudeste e Região Norte é de 36 pontos, ou seja, a nota relativa da Região Sudeste é, aproximadamente, 8% maior do que a da Região Norte. Resultado semelhante foi encontrado por Figueiredo *et al.* (2014) que, utilizando um modelo integracional bivariado para desigualdade de oportunidade, demonstraram que as menores oportunidades de desempenho educacional estão na região Norte e Nordeste. Segundo os autores, “o conjunto de oportunidades de um nortista/nordestino com baixo *background* social é aproximadamente 167 a 189 vezes menor do que indivíduos com alto *background*” (FIGUEIREDO *et al.*, 2014, p. 384)

Gráfico 4: Notas médias de Ciências da natureza no ENEM 2010 - nacional e por região.



Fonte: Viggiano e Mattos (2010).

Além de fornecer diagnósticos e revelar o desempenho comparativo entre as diversas regiões do Brasil, os dados fornecidos pelo INEP também contribuem em outras áreas de estudo. Santos (2011), buscando compreender como uma avaliação de caráter nacional pode influenciar de forma positiva a sala de aula, critica a intenção do MEC de orientar os currículos. Segundo ele, esta perspectiva do MEC de utilizar o ENEM para orientar os currículos das escolas

aproxima-se, e muito, da visão de transformar a educação em um grande cursinho. A diferença é que o cursinho anterior tinha o vestibular tradicional como alvo principal a atingir. Agora, o novo cursinho – quem quiser pode ler reforma do Ensino Médio – terá como objetivo os padrões do ENEM. (SANTOS, 2011, p. 203).

Santos (2011) pontua, ainda, que é uma ilusão acreditar que uma avaliação que nasce com a função de selecionar – já que não há vagas para todos – pode contribuir com o professor na construção de um novo ensino médio, dado que esta motivação depende da ilusão de acesso ao ensino superior, sentimento que é bastante transitório.

Ainda sobre a influência do ENEM no currículo, Marcelino e Recena (2012) sugerem que o ENEM propõe um currículo centrado na aplicação e entendimento de métodos e procedimentos usados no cotidiano, atribuindo-lhe um caráter mais prático. Os itens enfatizam os processos cognitivos como entender e o lembrar aplicados em situações-problema. Neste sentido, os autores sugerem que os conteúdos curriculares deveriam se pautar na aprendizagem de procedimentos para resolver problemas cotidianos e complexos (muitas vezes interdisciplinares), e não compartimentalizados e descontextualizados.

Os autores apontam, por fim, para uma contradição entre objetivos do exame e os itens apresentados. Segundo eles, processos cognitivos mais profundos não são privilegiados no exame (criar ou avaliar), implicando na valorização de indivíduos conformados com a realidade, contrariando o princípio de formação para cidadania que tanto defende.

Moura (2014) também estudou a relação entre currículo escolar e o ENEM, considerando a percepção dos professores e a interdisciplinaridade. Segundo o autor, o ENEM ecoa nos professores de diferentes maneiras quando se considera a dimensão da integração curricular. Ele sugere que, talvez, a unificação da área de ciências da Natureza em uma única prova seja uma das expressões materiais que aponta para esta integração, e que acaba por constituir um novo currículo. Segundo o autor,

a relevância nacional adquirida pelo Enem poderia enaltecer a proposta da interdisciplinaridade na constituição da prova e (...) que nortearia as práticas curriculares dos docentes. Entretanto, consideramos que uma análise sobre essa premissa deve ser acompanhada de pesquisas que se dediquem a entender as regras e relações entre os conteúdos na prova do Enem. (MOURA, 2014, p. 92)

Silva e Carvalho (2014) concordam com a pesquisa e retificam que a necessidade de apropriação dos resultados dos exames de larga escala pelas escolas é relevante no aprimoramento de práticas educacionais. Segundo eles, os professores deveriam estar capacitados a obter informações a partir dos dados destes exames, para que pudessem avançar em alguns pontos importantes no processo de ensino aprendizagem. No entanto, o que se observa é que esta prática é pouco comum no Brasil.

Existem também os trabalhos que analisam a qualidade dos itens do ENEM. Apesar de os documentos oficiais do INEP apontarem em uma direção, estudos alertam que muitos dos itens presentes nas provas, inclusive de Física, são elaborados de forma diferente. Grande parte dos itens de Física do Novo ENEM assemelham-se aos itens de vestibulares tradicionais (COSTA-BEBER; MALDANER, 2015), valorizando mais os conteúdos do que as competências e habilidades propostas nos documentos. Além disso, são apontados na literatura problemas como contextualização a qualquer custo (SILVEIRA *et al.*, 2014), enunciado com formulação ambígua e informações irrelevantes (BASSALO, 2011), enunciados com erros conceituais de Física na situação-problema (RODRIGUES, 2014; SILVEIRA, 2018), contextualização muito distante da realidade dos candidatos (KLEINKE, 2017; VILLAR; KLEINKE, 2018), entre outros.

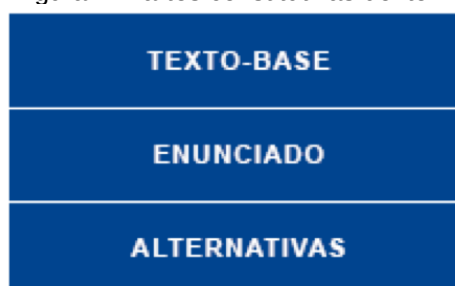
Olhar para os erros mais frequentes dos candidatos é outra linha de pesquisa a partir dos microdados do ENEM. Na análise dos distratores mais assinalados dos itens de Física dos anos de 2009 a 2012, Marcom e Kleinke (2016) revelam que os concluintes do ensino médio das escolas públicas apresentam um grande conjunto de erros associados ao conhecimento escolar, tais como a não utilização correta de unidades, dificuldades com a presença de formas simbólicas, raciocínios intuitivos a partir de conceitos não científicos e análise incorreta de imagens e gráficos. Nakamura (2020), no estudo de concepções alternativas em circuitos elétricos, revela que a presença de concepções alternativas comuns entre as alternativas de um item atrai grande parte dos candidatos. Nakamura *et al.* (2021) demonstram que quando há concepções alternativas entre as alternativas de um item conceitual, este pode ser mais difícil do que itens quantitativos com múltiplos passos. Além disso, as concepções alternativas podem ser diferentes em diferentes grupos socioeconômicos, revelando um abismo social e uma diferença na qualidade do ensino experimentado

por estes diferentes grupos.

O presente trabalho alinha-se a estas duas últimas abordagens e busca, na análise dos itens e das respostas (erradas) dos alunos, evidências sobre a qualidade do ensino básico. Nosso maior interesse é compreender como que os concluintes do ensino médio enxergam os itens de Física e o que as respostas, principalmente erradas, podem revelar sobre a aprendizagem. No estudo das frequências de erros e acertos dos candidatos e, principalmente, dos construtos que caracterizam a prova de Física do ENEM, é importante compreender a estrutura com que os itens são elaborados.

Os itens do ENEM devem ser elaborados de acordo com o guia do elaborador de itens do ENEM (INEP, 2010), sendo que cada item é composto por três blocos (Figura 2): um texto-base, um enunciado e cinco alternativas, com as possibilidades de respostas a serem apresentadas.

Figura 2: Partes constitutivas do item.



Fonte: INEP, 2010.

Segundo o guia de elaboração o texto-base:

Motiva ou compõe a situação-problema a ser formulada no item a partir da utilização de um ou mais textos-base (textos verbais e não verbais, como imagens, figuras, tabelas, gráficos ou infográficos, esquemas, quadros, experimentos, entre outros)

(...) Esta parte inicial do item deve apresentar as informações necessárias para a resolução da situação-problema proposta, suprimindo-se elementos de caráter meramente acessório, que possam conferir ambiguidade à interpretação da tarefa a ser realizada ou que demandem dispendioso tempo de leitura. Deve-se evitar a exigência de informações simplesmente decoradas, como fórmulas, datas, termos, nomes, enfim, detalhes que não avaliam a habilidade, mas privilegiam a memorização. (INEP, 2010, p. 10)

O texto-base é onde a situação-problema é apresentada pelo elaborador e deve conter todas as informações necessárias para a sua solução, tomando o cuidado de não ser apenas um pré-texto, sem qualquer função real na realização do item.

Já o enunciado:

constitui-se de uma ou mais orações e não deve apresentar informações adicionais ou complementares ao texto-base; ao contrário, deverá considerar exatamente a totalidade das informações previamente oferecidas. No enunciado, inclui-se uma instrução clara e objetiva da tarefa a ser realizada pelo participante do teste. Essa instrução poderá ser expressa como pergunta ou frase a ser completada pela alternativa correta. (INEP, 2010, p.10)

Esta parte do item deve apenas conter o comando com a instrução da tarefa que o candidato realiza para resolver o item, não contendo nenhuma informação nova sobre a situação-problema.

Sobre as alternativas, “(...) são possibilidades de respostas para a situação-problema apresentada, dividindo-se em gabarito e distratores.” (INEP, 2010, p.11) sendo o gabarito a única alternativa correta que responde à situação-problema proposta. O guia ainda sugere que o elaborador incorpore nas alternativas incorretas o que chamam de distratores, buscando incluir os possíveis raciocínios incorretos, concepções alternativas e dificuldades dos candidatos (INEP, 2010):

Os distratores indicam as alternativas incorretas à resolução da situação-problema proposta. Além disso, essas respostas devem ser plausíveis, isto é, devem parecer corretas para aqueles participantes do teste que não desenvolveram a habilidade em questão. Isso significa que o distrator plausível deve retratar hipóteses de raciocínio utilizadas na busca da solução da situação-problema apresentada. Como consequência, se esse distrator retrata uma dificuldade real do participante com relação à habilidade, não devem ser criadas situações capazes de induzi-lo ao erro. (p. 11)

A função do distrator vai além da simples composição das alternativas incorretas em um item. Ele deve ser uma alternativa que configura uma possibilidade associada a algum raciocínio errôneo que o candidato possa vir a ter na resolução do item, fazendo com que se torne um atrativo para esse participante que apresenta um conhecimento parcial ou não apresentam o conhecimento sobre as ferramentas teóricas e matemáticas para a resolução da situação-problema.

Apesar de controversa, o uso de concepções alternativas é uma exigência na hora de elaborar um item e aparece, inclusive, na matriz de referência do exame, que sugere que o candidato saiba “confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.” (INEP, 2009, p. 8). Brito (2015) condena o uso das concepções alternativas no ENEM,

argumentando que elas induzem, desnecessariamente, o aluno ao erro, atuando como “pegadinhas”. Porém, o distrator pode estar associado a concepções alternativas, ao contexto apresentado, ao tipo de leitura para resolução, entre outros aspectos que não necessariamente aqueles associados às “pegadinhas”.

(...) é necessário estar atento para evitar o que tem se mostrado muito comum em itens utilizados em vestibulares e concursos: a indução ao erro (“pegadinha”). Essa estratégia cria quase sempre situações que exigem do participante atenção a detalhes que o levam a errar o item não porque não domina, necessariamente, a habilidade testada. (INEP, 2010, p.8)

O fato de as alternativas erradas dos itens retratarem possíveis raciocínios plausíveis dos candidatos e, conseqüentemente, atrair os candidatos menos preparados, associado ao número de concluintes do Ensino Médio que realizam a prova todos os anos, reforçam a importância dos resultados do ENEM para revelar dificuldades e lacunas e auxiliar no desenvolvimento de políticas para sanar possíveis problemas na educação, já que, de acordo com diversos autores, entre eles Bani-Salameh (2017), qualquer resposta errada em um item de múltipla escolha pode revelar informações importantes sobre as concepções dos estudantes. Compreender as principais escolhas erradas em uma avaliação com itens de múltipla escolha indica pontos em relações aos quais o professor e a escola devem reservar maior atenção no processo de ensino aprendizagem.

Em suma, o ENEM é reconhecido por sua abrangência e potencial diagnóstico em diversas áreas de pesquisas. Esta seção teve como objetivo elucidar como o ENEM e seus dados divulgados pelo INEP são importantes na investigação dos mais diversos aspectos relacionados com a área de ensino. A forma como os itens são apresentados, o número de respondentes e a motivação para o ENEM podem revelar informações diagnósticas para escolas de educação básica e para órgãos governamentais. Buscar na resposta dos alunos, com foco nos seus erros, as evidências da qualidade do ensino na área de Física é o que buscamos nesse trabalho.

2.1.4 A Física no ENEM

Diversos são os estudos que se utilizam do ENEM para a pesquisa em Ensino de Física. Apresentamos aqui algumas abordagens que aparecem em trabalhos sobre o Ensino de Física com base nos dados ENEM. Os trabalhos sobre Física e ensino de Física tornam-se mais frequentes, principalmente, a partir de 2009, após as mudanças realizadas no ENEM, uma vez que antes disso a disciplina não aparecia de forma explícita nos itens do ENEM. Moura *et al.* (2017) sinalizam que, entre os anos de 1998 e 2008, antes da mudança para o Novo ENEM, a Física aparecia apenas de forma utilitarista, muitas vezes como contexto de itens; depois da mudança, é clara a priorização de uma abordagem mais acadêmica e técnica da Física, exigindo mobilização de conhecimentos específicos desta área do conhecimento.

Além disso, antes da reformulação de 2009, os itens de Física do ENEM tendiam a abordar situações cotidianas da realidade do aluno que exigiam a mobilização de informações dadas no enunciado para chegar à resposta correta. Com a chegada do Novo ENEM, os itens passaram a abordar conteúdos bastante específicos do currículo de Física, de maior complexidade e abstração, além de exigir memorização de fórmulas e procedimentos (MOURA *et al.*, 2017; TRAVITZKI, 2013).

Apresentamos diversas abordagens possíveis que utilizam o ENEM e os itens de Física como objeto de estudo, enfatizando os trabalhos que precedem a abordagem utilizada neste trabalho, qual seja, a de análise dos itens e os distratores do ENEM na identificação de problemas relacionados ao Ensino de Física na educação básica bem como a relação entre indicadores qualitativos e o desempenho dos candidatos.

Neste trabalho serão discutidos os itens de Física do ENEM de 2012 a 2017. Os itens de Física do Novo ENEM encontram-se na prova de Ciências da Natureza e, assim como os outros itens da prova, apresentam o formato descrito na seção anterior (INEP, 2010). Esta área do conhecimento é composta por oito competências e trinta habilidades. Destas, destacamos aquelas que julgamos estarem diretamente relacionadas com a disciplina de Física, com destaque para os trechos que explicitam conteúdos trabalhados exclusivamente nesta disciplina.

Competência de área 1 – Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

H1 – Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos.

H2 – Associar a solução de problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro, com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico.

H3 – Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

Competência de área 2 – Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos. (...)

H5 – Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

H6 – Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

Competência de área 3 – Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos. (...)

H8 – Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos. (...)

Competência de área 5 – Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

H18 – Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

H19 – Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental.

Competência de área 6 – Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

H20 – Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

H21 – Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

H22 – Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

H23 – Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas. (INEP, 2009, p. 8-10 – grifo e negrito do autor)

Dentre as trinta habilidades esperadas para a área de Ciências da Natureza, treze delas apresentam conteúdos relacionados à área de Física (aproximadamente 43%) e dez trazem no seu texto conteúdos específicos desta disciplina

(aproximadamente 33%). Vale destacar que, dentre as competências de Ciências da Natureza, uma delas (competência 6) é explicitamente associada à disciplina de Física, assim como todas as suas quatro competências associadas, deixando clara a disciplinaridade presente no exame dentro desta área do conhecimento. Outras competências são mais gerais e podem resultar em itens de qualquer uma das áreas de ciências da natureza, inclusive interdisciplinares.

Além das competências e habilidades, os documentos oficiais trazem, em seu anexo, Objetos do Conhecimento (conteúdos) relacionados à matriz de referência em cada uma das quatro grandes áreas. Os Objetos do Conhecimento da Física são:

1. Conhecimentos básicos e fundamentais;
2. O movimento, o equilíbrio e a descoberta das leis da Física;
3. Energia, trabalho e potência;
4. A mecânica e o funcionamento do universo;
5. Fenômenos elétricos e magnéticos;
6. Oscilações, ondas, ótica e radiação;
7. O calor e fenômenos térmicos. (INEP, 2009, p. 17).

Cada um destes objetos de conhecimentos é detalhado em listas de conteúdos, o que reforça a característica “conteudista” presente no Novo ENEM, aproximando este exame de exames dos vestibulares tradicionais (ANDRADE, 2012; COSTA-BEBER; MALDANER, 2015). Sobre os Objetos de Conhecimento mais cobrados, Marcom (2015) classificou os itens de 2009 a 2012 de acordo com os sete objetos de conhecimento presentes na matriz de referência (INEP, 2009) e obteve as quantidades indicadas na Tabela 1.

Tabela 1: Distribuição dos itens de Física nos objetos do conhecimento nas provas de 2009 a 2012.

Objetos do Conhecimento	Nº de itens
1. Conhecimentos básicos e fundamentais	0
2. O movimento, o equilíbrio e a descoberta das leis da física	13
3. Energia, trabalho e potência	8
4. A mecânica e o funcionamento do universo	4
5. Fenômenos elétricos e magnéticos	12
6. Oscilações, ondas, óptica e radiação	14
7. O calor e fenômenos térmicos	12

Fonte: Marcom, 2015.

Nestes anos, percebe-se um desequilíbrio entre os conteúdos cobrados, sendo menos cobrados os conteúdos “conhecimentos básicos e fundamentais” e “mecânica

e o funcionamento do universo”. O Objeto de Conhecimento “conhecimentos básicos e fundamentais” contempla conteúdos como notação científica, leitura e interpretação de gráficos, grandezas vetoriais e escalares etc. Inferimos com isso que o fato de este Objeto de Conhecimento não aparecer em nenhum item na classificação de Marcom (2015) pode justificar-se em função de que estes conhecimentos básicos e fundamentais estão, na verdade, inseridos, de forma indireta, em praticamente todos os outros itens, o que explica a ausência de itens que envolvam com exclusividade este Objeto de Conhecimento.

O Objeto de Conhecimento “conhecimentos básicos e fundamentais” pode estar presente na construção das alternativas, gerando distratores mais assinalados pelos candidatos. Existem itens, por exemplo, que exigem a mudança de unidade para sua resolução. Observam-se nestes itens alternativas que apresentam valores numéricos que correspondem ao raciocínio correto, sem a mudança de unidade. Quando isso ocorre, a alternativa costuma ser assinalada por grande parte dos candidatos, principalmente aqueles mais desatentos e menos preparados, caracterizando um distrator forte do item (MARCOM, 2015).

Destacamos, ainda, que alguns Objetos de Conhecimentos relacionados exclusivamente à disciplina de Física aparecem explícitos na matriz de habilidades e competências. A exemplo, podemos destacar “Características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios” presente na habilidade H1 ou “Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos” da habilidade H5. Estes conteúdos aparecem nos objetos de conhecimento 5 e 6, respectivamente, dois dos quatro que mais aparecem segundo a classificação proposta por Marcom (2015).

Além da classificação dos itens do ENEM de acordo com os Objetos de Conhecimento previstos na Matriz de Referência para identificar aqueles conteúdos que aparecem com maior frequência, outros estudos também são feitos a partir das provas e dos microdados divulgados pelo INEP.

Sobre o texto dos itens do ENEM, diversos estudos apontam problemas em sua formulação, e que envolvem desde a contextualização a qualquer custo (SILVEIRA *et al.*, 2014), enunciados com formulações ambíguas e com informações irrelevantes (BASSALO, 2011), presença de carga cognitiva estranha (CHAGAS, 2019), erros conceituais (RODRIGUES, 2014) e caráter conceitual em linguagem de especialistas (FERNANDES; MARQUES, 2015; VILLAR; KLEINKE, 2018).

Sobre a influência do ENEM no currículo e a presença de interdisciplinaridade, Moura (2014) investigou, na reformulação sofrida pelo ENEM, os discursos da integração curricular e da interdisciplinaridade como uma de suas expressões, identificando que os apelos interdisciplinares na prova de Ciências da Natureza entre a Biologia, Física e Química no contexto da reformulação do Enem podem influenciar os currículos escolares e estar presentes nas concepções dos professores, mas não seriam o principal eixo norteador das práticas curriculares dos docentes, considerando as limitações institucionais do ambiente escolar. Já Marcom e Kleinke (2018) buscam estabelecer a relação entre os erros de Física no ENEM e a falta de professores de Física nas escolas. Segundo os autores, aproximadamente 70% dos professores que lecionam a disciplina Física no Ensino Médio brasileiro não têm formação como bacharel ou licenciado e uma possível consequência disso seria o reducionismo do ensino de Física à simples aplicação de fórmulas pré-estabelecidas, diminuindo a chance de desempenhar no ENEM.

Rubini (2019), utilizando técnicas psicométricas da TRI, buscou estudar o desempenho dos concluintes do Ensino Médio nos itens de Física para identificar padrões no comportamento das questões que pudessem revelar informações sobre o ensino de Física no Brasil. Já Rinaldi *et al.* (2017) desenvolveram um material sugerindo como utilizar os itens de Física do ENEM para avaliar o ensino de Física.

Existem trabalhos que buscam concepções alternativas entre as alternativas dos itens de Física que atraem os candidatos de diferentes níveis socioeconômicos de forma distinta. Nakamura (2020) apresenta como as concepções alternativas em circuitos elétricos nos itens de Física do ENEM atraem os diferentes grupos socioeconômicos. Já Yaguti e Gebara (2015) apresentam as concepções alternativas sobre ondulatória. Marcom e Kleinke (2014; 2015) e Spazziani (2019) olham para a presença de outros tipos de dificuldades de forma global dentre as opções apresentadas nos itens de Física, com ênfase naqueles que apresentam manipulações algébricas.

Outros estudos classificam as questões de Física do ENEM, buscando identificar padrões nas questões que os alunos apresentam maior dificuldade. Silva e Martins (2014) classificaram os itens de Física do ENEM entre 2009 e 2013 de acordo com a taxonomia de Bloom revisada (TBR) e apontam que as questões do exame privilegiaram o nível de conhecimento conceitual/princípios, ou seja, além de

dominarem os conteúdos básicos, os candidatos devem fazer uma inter-relação destes conteúdos num contexto mais elaborado, enquanto a dimensão do conhecimento efetivo/factual é menos privilegiada. Com base neste resultado, Villar et al. (2021) sugerem não existir uma relação de causalidade entre o desempenho dos candidatos e o nível taxonômico que o item é apresentado. Já Marcom e Kleinke (2020) classificam os itens de acordo com a taxonomia de Smith, mostrando um equilíbrio na incidência de questões conceituais e algorítmicas, sendo que, em média observa-se maior desempenho nas conceituais.

Oliveira (2014) classifica os itens de Ciências da Natureza de acordo com sua contextualização nas categorias Cotidiano; Tecnológico; Científico e Exercícios e concluiu que itens que estão abordando contexto Científico apresentaram maior nível de dificuldade, seguido do contexto de Exercícios, Tecnológico e do Cotidiano. De acordo com o autor é possível afirmar que quanto mais próximo de situações vivenciais dos candidatos, melhores os níveis de desempenho, em média. Hernandez e Martins (2013) propõem uma classificação dos itens em diversas categorias, tais como Cotidiano; Tecnologia/Novas Tecnologias; Avanço científico; Funcionamento de Aparelhos; Projetos relacionados à segurança/economia/proteção; Análise de Circuitos Mistos; Previsão do Desempenho de Aparelhos; Aproveitamento do Lixo; Aproveitamento de Energia; Previsão de impactos Ambientais; Interpretação de Experimentos; Projeção e Previsão com auxílio de Cálculos; Explicação de Fenômenos Naturais entre outros. Os autores destacam a busca do ENEM por itens contextualizados no cotidiano que exploram a “Física das coisas” que nos cercam. Nascimento *et al.*, (2018) identificam que itens qualitativos que exigem bom domínio de conhecimentos específicos de Física são aqueles que geram menos desigualdade social enquanto, nos itens quantitativos, o desempenho está mais atrelado com o nível socioeconômico do candidato.

Ademais, está presente na literatura que o desempenho dos candidatos no ENEM apresenta forte correlação com o nível socioeconômico dos candidatos, associado muitas vezes com o seu capital cultural (GONÇALVES JR.; BARROSO, 2014; KLEINKE, 2017; VILLAR; KLEINKE, 2018; NASCIMENTO, 2019; SPAZZIANI, 2019; MARCOM, 2019). Os trabalhos denunciam que, apesar da intenção do ENEM de democratizar a entrada no nível superior, os alunos das classes mais ricas têm mais chances de ter bom desempenho no exame e, consequentemente, de aprovação

no ingresso em um IFES. Estamos de acordo com esta perspectiva conforme mostraremos adiante com os resultados deste trabalho. Este trabalho reforça a ideia de que o ENEM parece não levar em consideração vieses econômicos, culturais, sociais e políticos na sua elaboração e aplicação.

O presente trabalho aborda a análise dos itens do ENEM utilizando a TCT e relaciona o desempenho dos candidatos com o nível de escolaridade de seus pais. Olhamos para o erro dos candidatos nos itens do ENEM, pois estamos interessados em compreender os motivos que levam os concluintes do Ensino Médio à escolha de alternativas erradas. Além disso, buscamos compreender como cada um dos grupos analisados enxerga a prova de Física, agrupando os itens pela análise fatorial exploratória de forma a juntar itens que possuem traços latentes comuns.

Nesta seção, buscamos apresentar algumas abordagens que pesquisas sobre ensino de Física realizam tendo o ENEM como objeto de estudos. Não temos a pretensão de esgotar aqui a discussão e revisão bibliográfica sobre a Física no ENEM, mas sim a de apresentar algumas abordagens possíveis, direcionando a discussão para a abordagem utilizada neste trabalho. Nas seções 2.3 e 2.4 deste capítulo, apresentamos algumas dessas abordagens quali-quantitativas que serão base na discussão e análise dos itens, bem como na identificação dos traços latentes dos candidatos concluintes do ensino médio.

Nesta seção sobre o ENEM, buscamos apresentar a relevância do exame para a pesquisa em Ensino de Física a partir de seus objetivos, interesses, abrangência, potencialidade e possíveis abordagens metodológicas no campo da Física. Com isso, vislumbramos utilizar este exame tanto no diagnóstico de problemas no ensino como na oportunidade de criar uma ferramenta para que os professores na sala de aula possam identificar problemas de aprendizagem de seus alunos relacionados à Física.

Definido o objeto de estudo deste trabalho, faz-se necessário definir o recorte do público analisado. Além de olhar para os concluintes do Ensino Médio, que retratam um panorama global do ensino básico brasileiro, olharemos dentro deste grupo para candidatos cujos pais apresentam diferentes tipos de escolaridade formal. Na seção que segue, vamos apresentar o arcabouço teórico sobre a relação de Capital Cultural e desempenho escolar, proposto por Pierre Bourdieu na metade do século XX e que justifica a escolha do recorte analisado neste trabalho.

2.2 Capital Cultural

Apesar de o ENEM se propor (no discurso), entre outras coisas, a democratizar o acesso ao ensino superior no Brasil, é conhecida a forte relação entre fatores socioeconômicos e desempenho no exame (BONAMIMO, 2010; GONÇALVES JR; BARROSO, 2014; KLEINKE, 2017, NASCIMENTO, 2018; MARCOM, 2019; SPAZZIANI, 2019). O próprio INEP constatou no relatório anual que divulgou de 1998 até 2012: quanto maior a renda do candidato, maior a proficiência média em todas as áreas do conhecimento (BRASIL, 2015). Diversos são os índices socioeconômicos que podem ser aplicados no estudo do desempenho dos candidatos do ENEM. Encontrar um índice de fácil acesso e, ao mesmo tempo, confiável para representar um certo recorte social é fundamental na pesquisa psicométrica. A escolha da escolaridade dos familiares de um indivíduo como *proxy* para Capital Cultural é uma das possibilidades.

Nesta seção, apresentaremos a perspectiva de Pierre Bourdieu sobre a relação entre o êxito escolar e o que ele mesmo denomina Capital Cultural. Para isso, apresentaremos as três formas de capital (Econômica, Social e Cultural) e os argumentos que nos levam a focar nossa atenção no Capital Cultural, representado nesse trabalho por uma aproximação associada à escolaridade dos pais do indivíduo como um critério para o recorte do público analisado, e buscando evidenciar e compreender desigualdades. Apresentaremos, ao final do capítulo, trabalhos de autores que utilizam este recorte para o estudo do ENEM e que apontam para a perpetuação das desigualdades do sistema educacional, inclusive nos exames de acesso ao ensino superior.

A Sociologia de Bourdieu surge no na metade do século XX quando, a partir de bases empíricas, o sociólogo se propõe a revelar alguns mecanismos ocultos da dominação inscritos nas diversas práticas sociais e culturais; ainda, Bourdieu aponta que, mesmo com a universalização do ensino formal as desigualdades escolares permaneciam e se perpetuavam (CUNHA, 2007). Segundo Bourdieu (2015), a escola funcionaria, de fato, em reprodutora e perpetuadora das desigualdades, já que privilegiaria, no seu currículo, a cultura e os saberes relacionados ao *habitus* das classes dominantes.

Sobre isso, Nogueira e Nogueira (2002) em seu trabalho “A sociologia da

educação de Pierre Bourdieu: limites e contribuições” afirmam que

Até meados do século XX, predominava nas Ciências Sociais e mesmo no senso comum uma visão extremamente otimista, de inspiração funcionalista, que atribuía à escolarização um papel central no duplo processo de superação do atraso econômico, do autoritarismo e dos privilégios adscritos, associados às sociedades tradicionais, e de construção de uma nova sociedade, justa (meritocrática), moderna (centrada na razão e nos conhecimentos científicos) e democrática (fundamentada na autonomia individual) (p. 16).

Na perspectiva do início do século XX (anterior a Bourdieu), imaginava-se que a escola fosse neutra e difundisse os conhecimentos de forma objetiva, selecionando os alunos com base apenas em critérios racionais. Contra este cenário otimista, diversos estudos quantitativos como, por exemplo, o Relatório Coleman (1968) nos Estados Unidos, identificou-se que fatores socioeconômicos, tais como a origem dos estudantes, tinham forte influência sobre o êxito escolar, enquanto características relacionadas às escolas e aos professores, apesar de também significativamente importantes, apresentavam relevância menor. Segundo Alves *et al.* (2014),

O Relatório Coleman, é considerado um dos textos mais importantes sobre a relação entre background socioeconômico dos alunos e contexto social das escolas com o desempenho escolar. A dimensão cultural é também reconhecida como um elemento fundamental para caracterização social das famílias, principalmente a partir dos influentes trabalhos de Pierre Bourdieu e seguidores. (p. 674)

Segundo Bourdieu e Passeron (2016), a associação entre êxito escolar e fatores culturais sugere que a escola é reprodutora das desigualdades, pois valoriza elementos culturais e o *habitus* dos grupos dominantes. Valadão (2016) reforça que a sociologia de Bourdieu revela este mecanismo oculto relacionado à educação, e que privilegia certos grupos sociais e perpetua as desigualdades. A partir desses resultados, tornou-se necessário questionar se a escola seria, por si só, o agente de transformação social tal como era idealizado.

Apesar de não demonstrar de forma direta que a escola sozinha seria incapaz de resolver os problemas de desigualdade sociais, estes relatórios abriram espaço para estudos que explicitaram que o desempenho escolar não dependia simplesmente de dons individuais, mas sim de origens sociais. Estes trabalhos buscaram evidenciar esta forte relação entre desempenho escolar e fatores socioeconômico. É neste

contexto que começam a emergir os trabalhos de Pierre Bourdieu sobre a influência do *habitus* dos sujeitos, mediado pelos capitais econômico, social e cultural, no êxito escolar.

Segundo Bonamino *et al.* (2010),

Bourdieu desvenda a seletividade educacional que elimina e marginaliza os alunos oriundos das classes populares, enquanto privilegia os alunos mais dotados de capital econômico, cultural e social, contribuindo assim para a reprodução, de geração em geração, dos capitais acumulados. Essa teoria contraria a convicção, até então amplamente aceita, de que existe igualdade de chances no sistema educacional. (p. 488),

ou seja, ao contrário do que se acreditava, Bourdieu (2015) mostrou que, na verdade, a escola seria reprodutora desta desigualdade, uma vez que valorizava certos conhecimentos e elementos culturais presentes nos grupos sociais das classes dominantes em detrimento de outros conhecimentos e outras culturas das classes dominadas.

Segundo ele [Bourdieu], por mais que se democratize o acesso ao ensino por meio da escola pública e gratuita, continuará existindo uma forte correlação entre as desigualdades sociais, sobretudo, culturais, e as desigualdades ou hierarquias internas ao sistema de ensino. Essa correlação só pode ser explicada, na perspectiva de Bourdieu, quando se considera que **a escola dissimuladamente valoriza e exige dos alunos determinadas qualidades que são desigualmente distribuídas entre as classes sociais**, notadamente, o capital cultural e uma certa naturalidade no trato com a cultura e o saber que apenas aqueles que foram desde a infância socializados na cultura legítima podem ter. (NOGUEIRA; NOGUEIRA, 2002, p. 32, grifo do autor).

Neste sentido, quando da definição de um currículo escolar, hoje em dia, e muitas vezes sob a influência da expectativa de desempenho dos estudantes nos vestibulares, a escola teria um papel ativo no processo social de reprodução das desigualdades sociais. Portanto, sujeitos pertencentes a grupos com determinados *habitus* estarão sempre em vantagem em relação a outros grupos.

O conceito de *habitus* é central na sociologia de Bourdieu e está relacionado às experiências passadas pelo indivíduo ao longo da vida, e que constroem uma matriz de percepções, apreciações e ações e mediam a realização de tarefas. “Para Bourdieu, o *habitus* é um sistema de disposições, modos de perceber, de sentir, de fazer, de pensar, que nos levam a agir de determinada forma em uma circunstância

dada.” (THIRY-CHERQUES, 2006, p. 33). O autor completa:

[o *habitus*] São adquiridas pela interiorização das estruturas sociais. Portadoras da história individual e coletiva, são de tal forma internalizadas que chegamos a ignorar que existem. São as rotinas corporais e mentais inconscientes, que nos permitem agir sem pensar. O produto de uma aprendizagem, de um processo do qual já não temos mais consciência e que se expressa por uma atitude “natural” de nos conduzirmos em um determinado meio (THIRY-CHERQUES, 2006, p.33)

O *habitus*, portanto, é como Bourdieu define o pertencimento dos indivíduos a certos grupos ou classes sociais, com seus costumes, normas, linguagem etc., e é traduzido por ele a partir de três distintas formas: os capitais Econômico, Social e Cultural. Bourdieu (2015) deriva o conceito de “Capital” da noção econômica, em que o Capital se acumula por operações de investimento, é transmitido por herança e se reproduz de acordo com a habilidade do seu detentor em investir.

O termo da área econômica “capital” foi utilizado por esses sociólogos no estudo das desigualdades escolares como referência das vantagens culturais e sociais que indivíduos ou famílias mobilizam e, via de regra, os conduzem a um nível socioeconômico mais elevado (BONAMINO *et al.*, 2010, p. 488)

Além do já citado Capital Econômico, que compreende os acúmulos materiais e dinheiro, ou seja, bens e serviços, Bourdieu (2015) destaca os capitais social e o cultural. O Capital Social é definido como o conjunto de relacionamentos sociais influentes mantidos pela família. Corresponde ao conjunto de acessos sociais, que compreende o relacionamento e a rede de contatos. Já o Capital Cultural compreende o conhecimento, as habilidades, as informações etc., correspondentes ao conjunto de qualificações intelectuais produzidas e transmitidas pela família e pelas instituições escolares, associado ao esforço pessoal de cada indivíduo. Para Bourdieu (2015), a noção de Capital Cultural surge da necessidade de compreender as desigualdades de desempenho escolar dos indivíduos oriundos de diferentes grupos sociais. Segundo Bonamimo *et al.* (2010), a sociologia da educação de Bourdieu é claramente pautada pela diminuição do peso do fator econômico em comparação ao peso do fator cultural na explicação das desigualdades escolares. Neste sentido, a ampliação do conceito de capital surge a partir das evidências empíricas que apontaram limitações do conceito de Capital Econômico para explicar plenamente a relação entre origem socioeconômica e resultados educacionais (BONAMIMO *et al.*, 2010). Esta forma de

capital é subdividida por Bourdieu da seguinte forma (BOURDIEU, 2015):

- a) Capital Incorporado:** durável no organismo. Sua acumulação está ligada ao corpo, demanda tempo e pressupõe trabalho pessoal do receptor. No seu estado incorporado, constitui o componente do contexto familiar que atua de forma mais marcante no êxito escolar, uma vez que as referências culturais, os conhecimentos considerados apropriados e legítimos e o domínio da língua culta trazida de casa podem facilitar o aprendizado dos conteúdos e dos códigos escolares.
- b) Capital Objetivado:** transmissível de maneira relativamente instantânea e está associado ao acesso a bens culturais, tais como instrumentos, máquinas, esculturas, pinturas, livros, etc.
- c) Capital Institucionalizado:** consolidado sob a forma de títulos e certificados sancionados por instituições escolares, guarda relativa independência em relação ao portador. O grau de investimento na carreira escolar está vinculado ao retorno provável que se pode obter com títulos escolares no mercado de trabalho.

Para Bourdieu, as desigualdades escolares medidas a partir do desempenho estão mais associadas ao Capital Cultural na sua forma incorporada do que ao capital econômico ou social do sujeito, apesar de, muitas vezes, este Capital Cultural estar atrelado aos outros dois.

(...) do ponto de vista de Bourdieu, o capital cultural constitui (sobretudo, na sua forma incorporada) o elemento da bagagem familiar que teria o maior impacto na definição do destino escolar. (NOGUEIRA; NOGUEIRA, 2002, p. 21)

Esta forma de Capital Cultural incorporado está em grande parte associada ao nível de instrução de seus familiares. Apesar de títulos escolares pessoais estarem atrelados ao capital cultural institucionalizado, quando este título pertence a um familiar, ele provoca externalidades positivas, disseminando-se no *habitus* e no meio familiar, uma vez que a detenção de títulos por parentes imediatos pode levar o sujeito a construir costumes e vivências bastante específicas e diferenciadas sendo, portanto, uma forma de Capital Cultural incorporado para o parente de quem tem o título. Pierre Bourdieu já apontava o impacto do fator cultural e a detenção de títulos pelos pais de

um indivíduo como crucial para explicar a desigualdade em meados do século XX (BOURDIEU, 2015).

(...) com diploma igual, a renda não exerce nenhuma influência própria sobre o êxito escolar e que, ao contrário, com renda igual, a proporção de bons alunos varia de maneira significativa segundo o pai não seja diplomado (...), o que permite concluir que a ação do meio familiar sobre o êxito escolar é quase exclusivamente cultural. (BOURDIEU, 2015, p. 46)

Apesar da forte relação entre desempenho escolar do sujeito e a escolaridade dos seus pais, por exemplo, estudos apontam que a transmissão da herança cultural não ocorre de maneira automática. De Singly (2009) observa que a herança cultural não é transmitida de forma passiva de pais para herdeiro.

Este capital [cultural] pessoal não pode ser transmitidos instantaneamente (ao contrário da moeda, título de propriedade ou mesmo título de nobreza) por presente ou transmissão hereditária, compra ou troca; pode ser adquirido, na maioria das vezes, de maneira completamente oculta e inconsciente e permanece marcado por suas condições primitivas aquisição; não pode ser acumulado além das capacidades de apropriação do agente singular; murcha e morre com seu portador (com suas capacidades biológicas, sua memória etc.). (BOURDIEU, 1979, p. 3 – tradução do autor⁵)

Na verdade, ela é fruto de um processo complexo, com resultados incertos, do relacionamento do jovem com sua família e com o meio social mais próximo. Além disso, Bourdieu (1979) destaca que o sucesso escolar e incorporação de Capital Cultural estão fortemente associados a um esforço pessoal, talvez baseado em sua experiência pessoal.

(...) O capital cultural (...) em seu estado fundamental, está ligado ao corpo e supõe incorporação. O acúmulo de capital cultural requer incorporação que, na medida em que envolva esforço de inculcação e assimilação, custe tempo que deve ser investido pessoalmente pelo sujeito. (BOURDIEU, 1979, p. 3 – tradução do autor⁶)

5“ Le capital culturel est un avoir devenu être, une propriété faite corps, devenue partie intégrante de la «personne», un habitus (3). Celui qui le possède a «payé de sa personne», et de ce qu'il a de plus personnel, son temps. Ce capital «personnel» ne peut être transmis instantanément (à la différence de la monnaie, du titre de propriété ou même du titre de noblesse) par le don ou la transmission héréditaire, l'achat ou l'échange ; il peut s'acquérir, pour l'essentiel, de manière totalement dissimulée et inconsciente et reste marqué par ses conditions primitives d'acquisition; il ne peut être accumulé au-delà des capacités d'appropriation d'un agent singulier ; il dépérit et meurt avec son porteur (avec ses capacités biologiques, sa mémoire, etc.)” (BOURDIEU, 1979).

6 “La plupart des propriétés du capital culturel peuvent se déduire du fait que, dans son état fondamental, il est lié au corps et suppose l'incorporation. L'accumulation de capital culturel exige une incorporation qui, en tant qu'elle suppose un travail d'inculcation et d'assimilation, coûte du temps et du temps qui doit être investi personnellement par l'investisseur” (BOURDIEU, 1979).

Diferentemente de uma transmissão de herança econômica, a herança cultural pode ter como ponto de partida o capital social e econômico do sujeito, mas seu êxito depende do esforço pessoal; caso contrário, ela não ocorre. Por este motivo, o Capital Cultural pode ser adquirido no mesmo nível com mais ou menos esforço em diferentes grupos socioeconômicos.

O fato de estar inserido em um contexto social e econômico favorável à continuação dos estudos, é condição necessária (mas não suficiente) que a família precisa fornecer para o estudante, não gerando uma barreira de incerteza nas escolhas. Neste sentido, Nogueira e Nogueira (2002) destacam o fato de que Bourdieu separa os tipos de estratégias deste investimento escolar adotadas pelas classes populares, classes médias e pelas elites. Segundo os autores, as classes populares detentoras de pequeno Capital Cultural tendem a investir o mínimo necessário nos estudos, enquanto a classe média vê nos estudos a única forma de ascensão social; para as elites, trata-se somente de manter o status e o *habitus*.

Segundo os autores,

O primeiro desses grupos, pobre em capital econômico e cultural, tenderia a investir de modo moderado no sistema de ensino. Esse investimento, relativamente baixo, se explicaria por várias razões. Em primeiro lugar, a percepção, a partir dos exemplos acumulados, de que as chances de sucesso são reduzidas (faltariam os recursos econômicos, sociais e, sobretudo, culturais necessários para um bom desempenho escolar). Isso tornaria o retorno do investimento muito incerto e, portanto, o risco muito alto (NOGUEIRA; NOGUEIRA, 2002, p. 23).

Para a classe popular, portanto, o investimento na educação é de alto risco e não apresenta garantias, existindo outras prioridades para garantir a subsistência. Para este grupo, parece ser mais garantido ir para o mercado de trabalho do que “perder tempo” estudando. Já os indivíduos que pertencem a classe média,

(...) ou pequena-burguesia, tenderiam a investir pesada e sistematicamente na escolarização dos filhos. Esse comportamento se explicaria, em primeiro lugar, pelas chances objetivamente superiores (em comparação com as classes populares) dos filhos das classes médias alcançarem o sucesso escolar. As famílias desse grupo social já possuiriam um volume razoável de capitais que lhes permitiria apostar no mercado escolar sem correr tantos riscos.” (NOGUEIRA; NOGUEIRA, 2002, p. 24).

Para esse segundo grupo, o investimento no ensino é prioritário, uma vez que enxerga nela a única chance de preservação e ascensão do status social e econômico. Em outras palavras, percebe nos estudos a única forma de mobilidade social. A estratégia da classe alta difere das demais pois, esse

grupo [as classes altas] investiriam pesadamente na escola, porém, de uma forma bem mais descontraída – “laxista”, como diria Bourdieu – do que as classes médias. Esse laxismo se deveria, por um lado, ao fato de que o sucesso escolar no caso dessas famílias é tido como algo natural, que não depende de um grande esforço de mobilização familiar. As condições objetivas, posse de um volume expressivo de capitais econômicos, sociais e culturais, tornariam o fracasso escolar bastante improvável. Além disso, as elites estariam livres da luta pela ascensão social (NOGUEIRA; NOGUEIRA, 2002, p. 26).

Portanto, na classe alta a garantia de manutenção social parece ser independente dos estudos. De qualquer forma, tem-se no estudo um investimento relativamente baixo dado o acúmulo econômico, sendo o sucesso escolar quase que natural, considerando-se a soma de todos os capitais. Bourdieu (1979) destaca, além disso, que o tempo que um determinado indivíduo pode gastar em seu processo de aquisição de Capital Cultural depende do quanto sua família pode garantir-lhe em termos de tempo livre, ou seja, livre da necessidade econômica da acumulação inicial de capital.

Por todos estes fatos apresentados até aqui, Bourdieu (2015) mostra que no contexto da França do início do século XX, num período de revolução industrial,

um jovem da camada superior tem oitenta vezes mais chances de entrar na universidade do que um filho de um assalariado agrícola e quarenta vezes mais do que um filho de operário, e suas chances são, ainda, duas vezes superiores às daquelas de um jovem de classe média (BOURDIEU, 2015, p. 45).

Logo, apesar de o êxito escolar ter relação com a renda e com o grupo social do candidato, diferentemente do que muitos afirmam, ele não está estritamente relacionado a estes fatores, mas principalmente com a carga cultural que este candidato carrega, fato que, por sua vez, está estritamente associado ao nível de instrução de seus familiares. Em resumo, o Capital Cultural exerce maior influência no sucesso escolar.

Os resultados de Bonamimo *et al.* (2010) corroboram a ideia de que o Capital

Cultural, baseado na família, é relevante para o sucesso escolar do indivíduo. Segundo os autores, o bom desempenho em exames, a partir dos resultados do PISA, está mais atrelado ao que chamou de diálogo familiar e escolaridade da mãe do indivíduo do que propriamente aos recursos econômicos.

Vale destacar que as formas de capital são conversíveis umas nas outras. Por exemplo, o Capital Econômico pode ser convertido em Capital Cultural quando propicia acesso aos meios culturais como teatro, museus, livros etc. Mais do que isso, os Capitais Econômicos e Sociais são meios de acumular Capital Cultural, uma vez que o Capital Econômico possibilita o acesso a determinados estabelecimentos de ensino e bens culturais mais caros, como viagens, museus etc., além de tempo para desfrutar e incorporar certos valores culturais, uma vez que, se possuidor de Capital Econômico, o indivíduo não precisa ocupar a maioria do tempo trabalhando para sobreviver (THIRY-CHERQUES, 2006).

Ressalvamos, por fim, que o contexto e a época em que viveu Bourdieu, a França da metade do século XX, são muito diferentes do contexto brasileiro atual. Identificamos no Brasil uma forte dependência entre Capital Econômico e Cultural dada a grande desigualdade existente, de forma que estes dois capitais são quase inseparáveis, ou seja, é praticamente impossível apresentar um bom Capital Cultural no Brasil sem que seu ambiente familiar apresente alto Capital Econômico, já que o acesso à cultura é caro e desigual.

Neste sentido, a escolha do uso da escolaridade dos pais do indivíduo como *proxy* para capital cultural como indicador socioeconômico será justificado na seção a seguir.

2.2.1 Escolaridade dos pais como *proxy* para capital e capital cultural

O campo da sociologia e da psicometria são extremamente complexos e muitas vezes é difícil, caro ou inconveniente obter um indicador quantitativo para estudar relações importantes dentro destas áreas. Nesses casos, um *proxy* pode ser usado para medir fatores latentes com determinados objetivos. Indicadores *proxy* (ou indiretos) referem-se de forma indireta ao objeto de interesse. Este tipo de indicador é utilizado quando o assunto de interesse não pode ser medido diretamente, ou o tema da análise pode ser medido diretamente, mas é muito delicado (temas polêmicos

como HIV, relações de poder, orientação sexual, entre outros), ou ainda se o uso de um indicador direto é muito custoso do ponto de vista econômico e de tempo. Entendemos que, de fato, o indicador *proxy* é menos preciso para medir o desempenho desejado do que o indicador direto, mas, geralmente, permite a mensuração de forma mais rápida, acessível e barata. Para serem válidos, esses indicadores devem se basear em um relacionamento conhecido entre a variável de desempenho a ser medida e a medida escolhida; no nosso caso, isso significa demonstrar a associação entre escolaridade dos pais e Capital Cultural, sendo este o objetivo da seção.

Além disso, vale lembrar que não existe uma forma única de mensurar condição socioeconômica. Todos os índices que aparecem na literatura são resultados de medidas indiretas a partir de variáveis mensuráveis, ficando sua definição a critério do pesquisador e na dependência de justificativas teóricas e da disponibilidade de dados empíricos que expressem as dimensões importantes do construto.

O nível socioeconômico é um construto teórico que aloca os indivíduos em classes ou estratos sociais. Na literatura, não há uma definição unívoca desse construto, nem um consenso absoluto sobre quais dimensões devem ser consideradas para a sua operacionalização. (ALVES *et al.*, 2014, p. 672)

Vimos na seção anterior que existe uma relação positiva entre fatores socioeconômicos e o desempenho escolar, e este desempenho escolar se estende para o desempenho em vestibulares e exames de larga escala, como é o caso do ENEM. Vimos também que o Capital Cultural na forma incorporada é, segundo Bourdieu, a forma de capital que mais interfere no sucesso escolar do indivíduo. Porém, Capital Cultural não é uma variável mensurável e, portanto, necessita de outras medidas indiretas para inferir o seu acúmulo. Neste sentido, faz-se necessária a escolha de um *proxy* para estimar o Capital Cultural de forma indireta. A escolaridade dos pais do candidato mostra-se um fator decisivo no sucesso dos candidatos, tanto na sua aprovação para o ensino superior como na sua vida profissional posterior. Vimos também que Bourdieu (2015) introduz o conceito de Capital Cultural e destaca que, apesar de o êxito escolar ter relação com a renda e classe social do candidato, diferentemente do que muitos afirmam, ele não está limitado a estes parâmetros. Segundo Bourdieu (2015), “a ação do meio familiar sobre

o êxito escolar é quase exclusivamente cultural” (p. 46). A carga cultural está associada, entre outras coisas, ao nível de instrução de seus familiares, e é muitas vezes mais decisiva para o sucesso acadêmico.

Na busca de justificar o uso da escolaridade dos pais do indivíduo como um *proxy* para Capital Cultural dos candidatos, resgatamos os trabalhos de Nascimento (2019) e Bonamimo *et al.* (2010) e outros autores que já utilizaram este *proxy* em seus trabalhos. Nascimento *et al.* (2018) reforçam que diferenças socioeconômicas estão fortemente relacionadas ao desempenho dos candidatos no ENEM, porém o efeito de ser detentor de um Capital Cultural alto pode compensar o efeito de possuir um capital econômico baixo, por exemplo. Como vimos, no Brasil, Capital Cultural e Econômico estão fortemente entrelaçados devido ao grande nível de desigualdade existente, porém, em seu trabalho, Nascimento *et al.* (2018) utilizaram a análise fatorial para identificar os traços latentes no questionário socioeconômico do ENEM, criando seis fatores associados ao desempenho dos candidatos. Destes fatores, os autores verificaram que o Capital Cultural institucionalizado, em que a escolaridade dos pais do candidato é a variável com maior carga fatorial para este fator e com maior correlação positiva com o desempenho, é a variável que mais explica o desempenho dos candidatos.

Bonamimo *et al.* (2010), buscando identificar os efeitos dos diferentes arranjos de capitais sobre o desempenho de estudantes no PISA, concluíram que as variáveis diálogo familiar e nível de escolaridade da mãe são os fatores que mais explicam o desempenho dos alunos no exame. Em seu estudo, ambas as variáveis apresentam efeito positivo para desempenho, ou seja, quanto maior o nível de diálogo familiar e/ou escolaridade da mãe, maior o desempenho do candidato no exame, o que indica que diálogo familiar pode ser um indicador para capital social e, a escolaridade da mãe, um *proxy* para Capital Cultural.

Pelos resultados de Nascimento *et al.* (2018) e Bonamimo *et al.* (2010), a escolaridade dos familiares é o fator atrelado ao Capital Cultural que mais tem relação com o desempenho do indivíduo, o que nos leva a concluir que este índice pode ser um bom *proxy* para Capital Cultural proposto por Bourdieu.

Outros trabalhos apontam para a relação entre o desempenho em exames de larga escala como o ENEM e a escolaridade dos pais dos candidatos (BONAMIMO *et al.*, 2010; KLEINKE; GEBARA, 2007; KLEINKE; GEBARA, 2009; OLIVEIRA, 2014;

KLEINKE, 2017; SPAZZIANI, 2019; VILLAR; KLEINKE, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2018; MARCOM, 2019; NAKAMURA, 2020; VILLAR *et al.*, 2020). Kleinke e Gebara (2009) apontam que, além da correlação positiva existente entre o Capital Cultural e o desempenho na prova, alguns tipos de itens diferenciam os estudantes de maneira mais pronunciada do que outros. Spazziani (2019) mostra que, na grande maioria das questões de física, os candidatos com menores índices socioeconômicos apresentam desempenho pior do que os candidatos com altos índices socioeconômicos, medido prioritariamente pela escolaridade dos pais. Este mesmo resultado é apresentado por Marcom (2019), que acrescenta: no caso de itens qualitativos, esta diferença aumenta.

Este resultado também é perceptível em Villar e Kleinke (2018), que notaram que, em itens que abordam a Física experimental, a escolaridade dos pais do candidato é determinante no desempenho e a diferença na taxa de acerto entre aqueles com pais de alta escolaridade e baixa escolaridade é maior quando os itens cobram conteúdos próximos do cotidiano dos alunos.

Oliveira (2014) analisou a influência da escolaridade do pai e da mãe separadamente e o desempenho no ENEM, e verificou que existe correlação positiva entre a escolaridade de ambos e o resultado obtido pelo filho. Em todos os contextos, há um aumento na média dos índices de acertos com o aumento da escolaridade dos pais. O autor também conclui que, conforme aumenta a escolaridade do pai, a distância estatística também aumenta para todos os tipos de contexto (científico, cotidiano, exercícios e tecnológico). Além de estudar a relação entre desempenho e escolaridade, o trabalho mostrou que existe vantagem dos alunos da rede privada de ensino em relação à rede pública no desempenho em todos os itens de Física.

Neste sentido, a escolha da escolaridade dos pais como *proxy* para Capital Cultural se sustenta, uma vez que os candidatos que se inscrevem no ENEM respondem um questionário socioeconômico no ato da inscrição e o INEP divulga as respostas deste questionário no banco de microdados, da mesma forma que faz com as respostas aos itens do exame, o que possibilita analisar o desempenho dos candidatos em função de vários fatores socioeconômicos. Dentre as perguntas deste questionário, existem perguntas diretas sobre escolaridade dos pais, mas não encontramos perguntas que revelem o grau de diálogo familiar, como propõe Bonamimo (2010), conforme a Quadro 3.

Quadro 3: Perguntas presentes no questionário socioeconômico do ENEM sobre a escolaridade dos pais do candidato.

Q001	Até que série seu pai, ou o homem responsável por você, estudou?	A	Nunca estudou.
		B	Não completou a 4ª série/5º ano do Ensino Fundamental.
		C	Completo a 4ª série/5º ano, mas não completou a 8ª série/9º ano do Ensino Fundamental.
		D	Completo a 8ª série/9º ano do Ensino Fundamental, mas não completou o Ensino Médio.
		E	Completo o Ensino Médio, mas não completou a Faculdade.
		F	Completo a Faculdade, mas não completou a Pós-graduação.
		G	Completo a Pós-graduação.
		H	Não sei.
Q002	Até que série sua mãe, ou a mulher responsável por você, estudou?	A	Nunca estudou.
		B	Não completou a 4ª série/5º ano do Ensino Fundamental.
		C	Completo a 4ª série/5º ano, mas não completou a 8ª série/9º ano do Ensino Fundamental.
		D	Completo a 8ª série/9º ano do Ensino Fundamental, mas não completou o Ensino Médio.
		E	Completo o Ensino Médio, mas não completou a Faculdade.
		F	Completo a Faculdade, mas não completou a Pós-graduação.
		G	Completo a Pós-graduação.
		H	Não sei.

Fonte: ENEM (2017).

Por tudo isso, neste trabalho separaremos os candidatos de acordo com a escolaridade de seus pais como forma indireta de medir o acúmulo de Capital Cultural, e para estudar a relação entre o desempenho e os itens de Física do ENEM agrupados por meio da análise fatorial exploratória. Agruparemos os concluintes do Ensino Médio em três grupos cujos pais apresentam mesmo nível de instrução e, portanto, um grau de escolaridade bem definido. Chamaremos esses grupos de EF, EM e ES, onde EF agrupa os candidatos cujos pais (pai e mãe) têm como maior grau de instrução o Ensino Fundamental completo. O grupo EM será composto pelos concluintes do Ensino Médio cujos pais (pai e mãe) têm como maior grau de instrução o Ensino Médio. Já o grupo ES é composto por aqueles cujos pais (pai e mãe) têm Ensino Superior completo ou pós graduação.

Vale destacar que a detenção do título por si só não representa instantaneamente o acúmulo de Capital Cultural. Com a ampliação do acesso ao ensino superior, caminhando para uma universalização, como ocorreu no Ensino Médio, o acesso ao ensino superior ficou mais fácil, porém não necessariamente aos

cursos de maior demanda social. É de se imaginar que a relação estabelecida neste trabalho sugere que basta o indivíduo avançar nos estudos para que seus filhos tenham mais chance de sucesso escolar, porém isso não necessariamente é verdadeiro. O próprio Bourdieu (2015) sugere que quanto mais fácil o acesso a um título escolar, maior a tendência a sua desvalorização, o que chamou de “inflação de títulos”.

Temos até aqui o objeto de estudo (Física no ENEM) e os recortes do público-alvo analisados (concluintes do Ensino Médio e grupos EF, EM e ES). Nas próximas seções, apresentaremos a abordagem quali-quantitativa que será utilizada no trabalho para caracterização e análise dos itens, bem como detalharemos a realização da análise multivariada para identificar os construtos da prova de Física do ponto de vista dos grupos analisados.

Primeiramente, apresentaremos uma pequena revisão bibliográfica dos índices psicométricos da Teoria Clássica dos Testes (TCT) que utilizamos no trabalho para caracterizar e classificar os itens. Em seguida, na seção 2.4, apresentamos análises qualitativas que podem ser feitas nos itens de Física a fim de categorizar e identificar os seus distratores. Por fim, apresentamos a análise fatorial exploratória (AFE) como possível ferramenta de técnica estatística multivariada para agrupar os itens, considerando o que os dados (respostas dos alunos) oferecem *a posteriori* e não estabelecendo critérios de classificação *a priori*.

2.3 Aspectos quantitativos da análise dos itens

Os itens do ENEM podem ser analisados qualitativamente em termos taxonômicos, de conteúdo, de forma, de tipos de resolução, assim como, quantitativamente, em termos de índices que podem ser utilizados como indicadores psicométricos. Nesta seção, apresentaremos como foi feita a análise quantitativa dos itens de Física do ENEM de 2012 a 2017. A análise de um teste pode seguir a Teoria Clássica dos Testes (TCT) e/ou a Teoria de Resposta ao Item (TRI). Conforme discutimos na seção 2.1.2 desta tese, o ENEM utiliza a TRI para a determinação do desempenho e classificação dos candidatos. Apesar disso, também é possível determinar neste exame a qualidade de um item ou o desempenho dos candidatos por meio de índices da TCT, como o Índice de Facilidade do Item (IFI) e o Índice de

Discriminação do Item (IDI) (PASQUALI, 2011; DEVILLIS, 2012). No caso do ENEM, enquanto alguns autores optam por utilizar as ferramentas da TRI na análise da prova (BARROSO *et al.*, 2018; RINALDI, 2017; NASCIMENTO, 2019; RUBINI, 2019), diversas dissertações de mestrado, teses de doutorado ou trabalhos publicados em revistas usam a TCT para analisar os itens (OLIVEIRA, 2014; GONÇALVES JR; BARROSO, 2014; GIORDANO, 2017; TRAVITZKI, 2017; KLEINKE, 2017; VILLAR; KLEINKE, 2018; MARCOM, 2015; PITON-GONÇALVES; ALMEIDA, 2018; 2019; CHAGAS, 2019; SPAZZIANI, 2019; NAKAMURA, 2020; NAKAMURA *et al.*, 2020; VILLAR *et al.*, 2020; VILLAR *et al.* 2021; NAKAMURA *et al.*, 2021). Embora a TRI apresente vantagens em alguns aspectos sobre a TCT, a TRI utiliza recursos da inferência estatística e da modelagem matemática que, do ponto de vista prático, são de difícil interpretação por não especialistas.

Além disso, os processos de inferência estatística são computacionalmente custosos e trabalhosos, e necessitam de pacotes e *softwares* estatísticos, muitas vezes pagos para sua utilização. Já a TCT pode ser aplicada, por exemplo, via planilhas de cálculo. Segundo Sartes e Souza-Formigoni (2013), “uma vez que seus postulados [da TCT] são pouco exigentes e pouco numerosos, ela pode ser utilizada numa grande variedade de situações” (p. 242). Fletcher (2010) completa que

a abrangência do alcance da teoria clássica está evidente no uso da escala somatória simples por professores em sala de aula para representar o desempenho dos alunos, prática das mais difundidas, que tornou-se quase universal no mundo todo. (p. 18).

Temos a pretensão de realizar uma análise acessível e de simples reprodução pelos professores da educação básica, de forma que eles possam aplicar as ideias aqui discutidas no seu dia a dia, refletindo sobre e com o processo de avaliação. Neste trabalho seguimos, portanto, a linha de pesquisa que utiliza a TCT. A caracterização quantitativa foi baseada na determinação do índice de dificuldades (pontuação), que chamaremos de índice de facilidade do item (IFI) e do índice de discriminação do item (IDI), índices relacionados à Teoria Clássica dos Testes (TCT) (ALAGUMALAI; CURTIS, 2005), além do índice de concentração do item (ICI) (BAO; REDISH, 2001).

2.3.1 Índice de facilidade do Item (*IFI*)

Na análise de um item, uma das primeiras informações que procuramos é a sua taxa de acerto para classificá-lo quanto à sua dificuldade. O índice de facilidade do item (*IFI*) é a porcentagem de candidatos que assinalam a alternativa correta. Assim, segundo a COMVEST (2012),

$$IFI = \frac{n_c}{N}$$

onde n_c é o número de candidatos que escolheram a alternativa correta e N é o número total de candidatos presentes na prova.

Este índice, que pode apresentar valores entre 0 e 1 ($0 \leq IFI \leq 1$), também conhecido como índice de dificuldade, taxa de acerto ou índice de acerto, fornece alguma informação sobre itens que podem conter distratores fortes entre as alternativas (ALAGUMALAI; CURTIS, 2005). Em um exame com itens de múltipla escolha com cinco alternativas, como o ENEM, este índice apresenta o valor de 0,2 (20%) como valor associado ao “chute” ou resposta aleatória, já que, se todos os candidatos responderem ao acaso, as respostas estariam distribuídas igualmente entre as cinco alternativas.

O conceito de “facilidade” ou “dificuldade” de um item possui diferentes interpretações na literatura da área. Cerdá (1978, apud PITON-GONÇALVES; ALMEIDA, 2018) propõe que itens com $IFI > 0,75$ são muito fáceis, itens com $0,55 < IFI < 0,75$ são fáceis, itens com $0,45 < IFI < 0,55$ são normais ou de dificuldade moderada, itens com $0,25 < IFI < 0,45$ são difíceis e itens com $IFI < 0,25$ são muito difíceis. Já Espírito Santo (1978) defende que itens com $IFI > 0,6$ podem ser classificados como muito fáceis e contribuem pouco para a variância total do teste, itens com $0,4 < IFI < 0,6$ são itens “bons” e com grande contribuição para variância e itens com $IFI < 0,4$ são considerados muito difíceis e, assim como ocorre com os muito fáceis, contribuem pouco para a variância total. Por sua vez, Bao e Radish (2001) apontam que $IFI > 0,7$ é um índice alto de acerto (itens fáceis), $0,4 < IFI < 0,7$ corresponde a uma taxa média de acerto (itens intermediários) e $IFI < 0,4$ indica uma taxa baixa de acerto (itens difíceis). Este último critério é o que adotamos neste trabalho para classificar os itens de Física do ENEM. Apesar das diferenças entre os autores, existe uma concordância que itens que apresentam uma alta variância nas

repostas apresentam *IFI* próximo de 0,5.

Sobre a composição da prova, Vianna (1989) destaca que, para fins de avaliação de larga escala como o ENEM, em que os resultados são utilizados para acesso ao ensino superior, os testes devem ser compostos de itens que alcancem todo o *continuum* da escala, ou seja, devem ter uma amplitude que inclua itens fáceis, médios e difíceis. Neste sentido, o IFI pode servir para averiguar se uma prova foi bem feita, já que o índice pode indicar se a prova é heterogênea, ou seja, se há aumento progressivo no grau de dificuldade dos itens abrangendo os diferentes níveis ao longo do teste. Por outro lado, Pasquali (2011) defende que se a prova tem unicamente o objetivo de selecionar os melhores candidatos, os itens devem ter todos o nível de dificuldade da parcela de candidatos que será selecionada. Se, por exemplo, 30% dos alunos serão selecionados, o IFI das questões devem ser em torno de 0,3, ou seja, apenas os 30% melhores alunos têm probabilidade de acertar o item.

Este índice por si só não fornece muitas informações sobre o item; porém, quando associado a outros índices e apresentado sob a forma de gráfico de barras, juntamente com as frequências das outras alternativas, pode fornecer informações relevantes sobre a dificuldade, os principais distratores, as alternativas absurdas etc. Segundo Espírito Santo (1978), a análise de dificuldade (ou facilidade) de um item estaria incompleta se não forem consideradas as proporções dos alunos que escolheram as opções erradas.

2.3.2 Índice de Discriminação do Item (IDI)

Além da facilidade de um item na TCT, também existe um índice que mede quanto cada item é capaz de diferenciar os participantes do exame que obtiveram o maior desempenho daqueles que tiveram o menor desempenho. Em um teste que se destina à seleção e classificação dos participantes, como é o caso do ENEM, os itens devem ser elaborados de forma a discriminar os candidatos mais bem preparados daqueles menos bem preparados e, portanto, o poder discriminativo é uma das qualidades mais básicas que um item deve ter para ser inserido na avaliação (SARTES; SOUZA-FORMIGONI, 2013).

O índice de discriminação do item (*IDI*) indica o quanto o item separa, dentro do grupo analisado, os participantes que demonstram alto grau de habilidade (os que

obtiveram maiores notas) em comparação ao grupo menos treinado (os que obtiveram as menores notas). Segundo Ebel (1954), itens com maior ICI são aqueles que, em média, os candidatos mais qualificados respondem corretamente e os examinados menos qualificados erram. Quanto isso ocorre o item está bem elaborado, pois a é mais atrativa para os alunos com bom desempenho do que qualquer alternativa e as respostas incorretas têm alguma base para atrair candidatos com menor desempenho. De acordo com Marshall e Hales (1972, Apud RODRIGUES, 2006), existem mais de 60 índices propostos para medir o poder de discriminação de um item. Crocker e Algina (2008) apontam que seu cálculo requer separação dos examinandos em grupos que se situaram abaixo e acima de determinada pontuação de corte. Por exemplo, se o pesquisador estiver interessado em selecionar itens que discriminem em relação à pontuação total do teste, os grupos podem ser compostos pelos 50% superiores (maiores notas totais) e pelos 50% inferiores (menores notas totais). Segundo os autores um IDI mais sensível e estável pode ser obtido usando os 27% superiores e os 27% inferiores do grupo de examinados (KELLEY, 1939).

Neste trabalho, utilizaremos o IDI proposto por Kelley em 1939, que é determinado pela diferença de porcentagem de acerto no item entre os 27% dos alunos com maior desempenho na prova (IFI_{SUP}) e os 27% com menor desempenho (IFI_{INF}). Para calcular o índice de discriminação, o grupo de alunos analisado (concluintes do Ensino Médio) é ordenado de acordo com a nota média. Os candidatos são, então, separados nas faixas inferior e superior por sua nota bruta na prova em questão, sendo que cada faixa possui 27% dos candidatos. Para cada item, é calculado o índice de facilidade em cada faixa, ou seja IFI_{SUP} e IFI_{INF} . Desta forma, o IDI é dado por:

$$IDI = IFI_{SUP} - IFI_{INF}$$

Neste sentido, esse índice se refere ao poder que um item possui para distinguir sujeitos com magnitudes de traços diferentes e representa a correlação dos escores dos sujeitos no item com seus escores no teste total (SILVEIRA, 1981).

O índice de discriminação de um item é uma medida de consistência do item com todo o teste. Um alto índice de discriminação indica que os escores gerados pelo item são coerentes com os escores totais no teste. Um índice de discriminação nulo evidencia que os escores gerados pelo item são incoerentes com os escores totais no teste. Quanto mais homogêneo for um teste, tanto maiores serão os índices de discriminação de seus itens. (SILVEIRA, 1981, p.54).

Com este índice, é possível identificar o quanto o item distancia o grupo de alunos com maior desempenho do grupo de menor desempenho na prova, e pode apresentar valores entre -1 e 1 ($-1 \leq IDI \leq 1$). Itens com IDI baixo (próximo a zero) indicam pouca discriminação, ou seja, independentemente do resultado do aluno na prova, a chance de acertar aquele determinado item é igual para ambos os grupos. Já itens com IDI próximo a um, indicam que aquele determinado item diferencia fortemente os dois grupos. O IDI pode assumir ainda valores negativos. Neste caso, a probabilidade de um aluno que foi mal no exame como um todo tem maiores médias de acerto em determinado teste. Porém, é esperado que a porcentagem de acerto seja sempre maior para o grupo de maior desempenho e, quanto maior for a diferença entre as porcentagens de acertos dos dois grupos, maior será a discriminação do item, sendo pouco provável encontrarmos itens com IDI negativo.

A fim de classificar os itens quanto ao seu poder discriminatório e, conseqüentemente, quanto à adequabilidade utilizamos o critério estabelecido em Rabelo (2013), segundo o qual é esperado que o poder de discriminação de cada item seja superior a 0,4, de acordo com a classificação apresentada na Quadro 4.

Quadro 4: Classificação dos itens de acordo com o IDI da TCT

Valores	Classificação
$IDI < 0,2$	Item deficiente, deve ser rejeitado.
$0,2 < IDI < 0,3$	Item marginal, sujeito à reelaboração
$0,3 < IDI < 0,4$	Item bom, mas sujeito ao aprimoramento
$IDI > 0,4$	Item bom

Fonte: Rabelo (2013).

Ebel (1954) destaca que os itens que produzem uma diferença de 0,4 ou mais podem ser considerados itens com alta discriminação uma vez que a diferença média de desempenho dos candidatos bem qualificados é 40% maior do que daqueles menos qualificados, o que representa uma diferença significativa.

Assim como o IFI, o IDI utilizado de forma isolada não traz muitas informações

sobre o item. A combinação do IDI com o IFI é utilizada pelo vestibular da UNICAMP no relatório anual que divulga na página da COMVEST. Nesta análise, são determinados o IFI e o IDI de cada item da prova para determinar sua pertinência e eles são apresentados graficamente como matrizes, com o índice de discriminação como função do índice de facilidade (COMVEST, 2012).

Sobre sua aplicação no ENEM, Piton-Gonçalves e Almeida (2018) aplicaram os índices de dificuldade (IFI) e de discriminação (IDI) e classificaram os itens de matemática do ENEM de 2012. Os autores observaram que não existe uma relação direta entre estes dois índices. Eles notam que existem itens difíceis e fáceis que apresentam IDI insatisfatória e necessitam de revisão, assim como existem itens difíceis e fáceis que apresentam IDI satisfatório.

2.3.3 Índice de Concentração do Item (ICI)

Além dos índices associados a TCT que apresentamos em 2.3.1 e 2.3.2, podemos utilizar outros índices psicométricos com objetivos específicos na caracterização de itens em um exame. O índice de concentração do item (*ICI*) permite analisar as respostas de um questionário de forma mais completa, em vez de identificar apenas a fração dos respondentes que estão utilizando o raciocínio correto na resolução dos itens (BAO; REDISH, 2001). Este índice é útil quando o item apresenta nas alternativas distratores bem elaborados nos quais é possível identificar com facilidade os esquemas que levam os respondentes a escolher cada uma das alternativas, tal como esperando de um item no ENEM, de acordo com o guia do elaborador (INEP, 2010). Neste sentido, Villar e Kleinke (2020) apresentam uma possível aplicação deste índice combinado com o IFI para identificação dos distratores do ENEM.

O *ICI* foi proposto por Bao e Redish (2001) e faz parte de um método analítico para quantificar quão espalhado entre as alternativas estão as respostas dos candidatos. Ele fornece informações sobre a existência de fortes distratores entre as alternativas que os candidatos podem estar sendo induzidos a assinalar para responder os itens, ou quão aleatória está a escolha das alternativas. Para determinar uma relação geral para o *ICI*, suponha que um único item de múltipla escolha com m alternativas a N indivíduos. Podemos estabelecer uma relação r associada à projeção

das N medidas sobre as m alternativas com n_i sendo o número de candidatos que escolheu a i – ésima alternativa. Essa relação é dada por

$$r = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m n_i^2}}{N}.$$

Nesta relação, quando todos os candidatos escolherem uma mesma alternativa, temos o valor máximo, ou seja, $r = 1$; quando as m alternativas são escolhidas com a mesma intensidade, temos o valor mínimo, $r = 1/\sqrt{m}$. Para transformar esse valor em um índice entre zero e um, basta subtrair o valor mínimo e renormalizar a equação, de forma que o índice de concentração do item é expresso por:

$$ICI = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m} - 1} \cdot \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right),$$

onde m é a quantidade de alternativas do item; N é o número de candidatos da amostra; e n_i é o número de candidatos que escolheu uma determinada alternativa.

Nesta relação, quando todos os candidatos escolherem a mesma alternativa, temos o valor máximo, ou seja, $ICI = 1$; quando as m alternativas são escolhidas com a mesma frequência, temos o valor mínimo, $ICI = 0$.

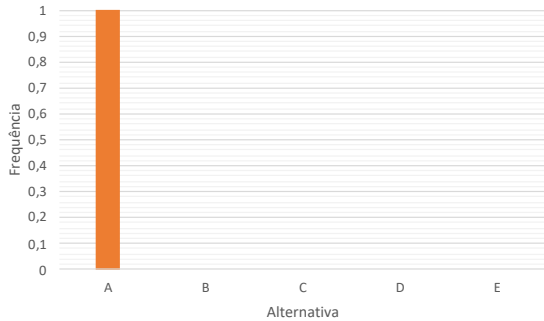
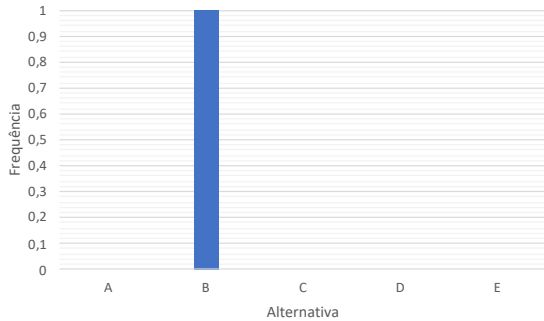
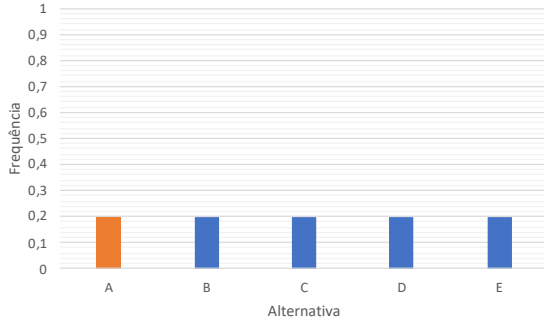
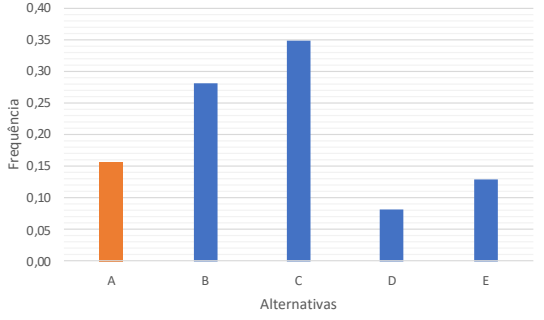
Para o caso dos itens do ENEM que têm cinco alternativas (ou qualquer item com cinco alternativas), podemos substituir $m = 5$ e, para este caso particular, temos que a relação pode ser reescrita como:

$$ICI = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5} - 1} \cdot \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^5 n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{5}} \right)$$

Definimos assim o ICI como uma função da resposta do aluno que assume um valor entre $0 \leq ICI \leq 1$. Este índice é uma medida simples que fornece as informações sobre a distribuição das respostas; sozinho, este índice apenas apresenta uma informação sobre quão concentradas as respostas dos candidatos estão entre as alternativas. Para ilustrar, suponha um teste cuja alternativa correta seja a A (Quadro

5). Quanto maior o valor de ICI , mais concentrado em uma alternativa estará a resposta dos candidatos, sendo ela a certa ou a errada. Quanto mais próximo de zero estiver o valor de ICI , mais próxima uma resposta aleatória. Por exemplo, se todos os alunos (100%) assinalarem a resposta correta, o $ICI = 1$ para esta questão (Quadro 5 - A). Da mesma forma, se todos os alunos (100%) assinalarem a alternativa errada, o $ICI = 1$ também (Quadro 5 - B). Além disso, se a resposta for completamente aleatória, ou seja, se todas as alternativas forem assinaladas na mesma frequência (20% em cada alternativa no caso de cinco alternativas), o $ICI = 0$ (Quadro 5 - C). Para qualquer outra distribuição, o valor de ICI se encontra entre estes limites (Quadro 5 - D).

Quadro 5: Exemplos de distribuições das alternativas em um item de cinco alternativas e seus respectivos valores de ICI .

	
A - Se todos os candidatos assinalam a alternativa certa, $ICI = 1$	B - Se todos os candidatos assinalam a alternativa errada, seja ela qual for, $ICI = 1$
	
C - Se os candidatos escolherem as alternativas de forma completamente aleatória, todas aparecerão com a mesma frequência $ICI = 0$	D - Numa situação intermediária em que as respostas estão distribuídas nas alternativas. Neste caso, $ICI = 0,1$

Fonte: Elaborado pelo autor.

No entanto, apenas este índice não nos traz informações suficientes para analisar um item. Desta forma para que possamos utilizar este índice para trazer informações relevantes, é necessária a combinação dele com outros índices, tal como o IFI, que discutiremos na próxima seção.

2.3.4 Relações entre os índices (ICI e IFI)

A combinação de índices pode nos trazer mais informações sobre o item do que os índices trabalhados separadamente. Neste sentido, Bao e Redish (2001) propõem em seu trabalho a combinação dos índices ICI e IFI (Matriz $ICI \times IFI$), dado que $IFI = \frac{n_c}{N}$ podemos escrever uma função do tipo $ICI(IFI)$ descrita por:

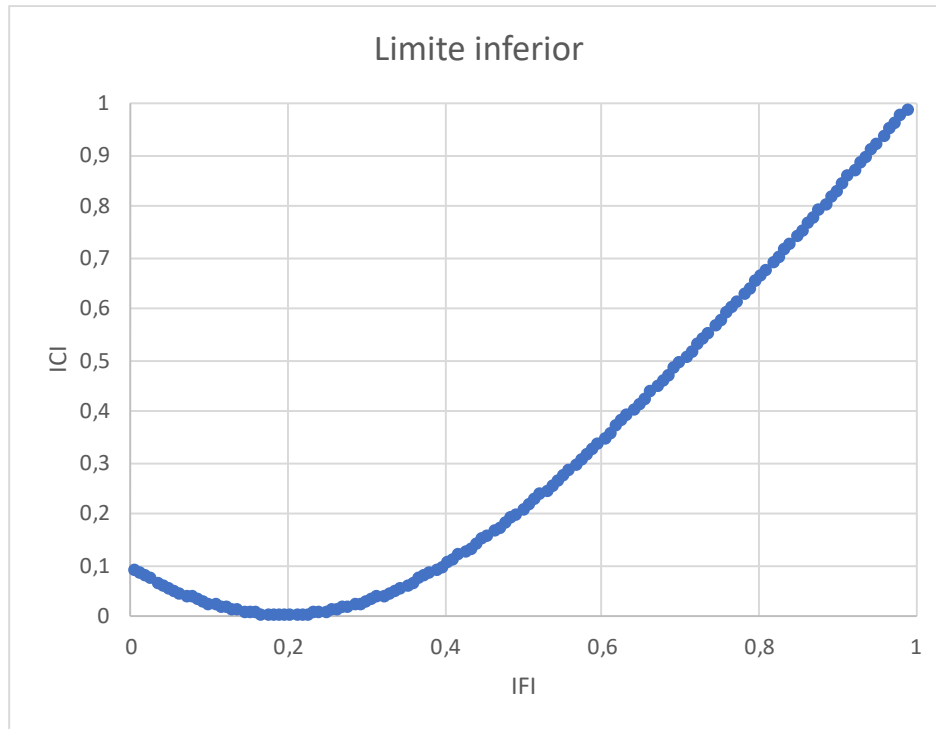
$$ICI = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \cdot \left(\sqrt{IFI^2 + \frac{\sum_{i=1}^{m-1} n_i^2}{N^2}} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right)$$

Podemos obter os limites superior e inferior desta função, e assim, determinar a região possível onde os itens de uma prova como ENEM podem estar localizados num gráfico de $ICI \times IFI$. Quanto mais espalhado entre as cinco alternativas estiver a escolha dos candidatos, menor será o valor de ICI. Neste sentido, esta função apresenta o seu limite inferior quando todas as alternativas escolhidas, diferentes da correta, têm a mesma frequência de escolha, isto é, cada uma das alternativas apresenta frequência $\frac{(1-IFI)}{4}$, ficando assim, com o termo dentro da raiz expresso por $\sqrt{IFI^2 + \frac{\sum_{i=1}^4 n_i^2}{N^2}} = \sqrt{IFI^2 + 4 \cdot \left(\frac{1-IFI}{4}\right)^2}$. Substituindo na função e organizando os termos, ficamos com a função que descreve a curva dos valores mínimos:

$$ICI = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5}-1} \cdot \left(\sqrt{\frac{5 \cdot IFI^2 - 2 \cdot IFI + 1}{4}} - \frac{1}{\sqrt{5}} \right).$$

Esta função é representada por uma curva com a seguinte forma:

Gráfico 5: Limite inferior para o gráfico de IFI x ICI.



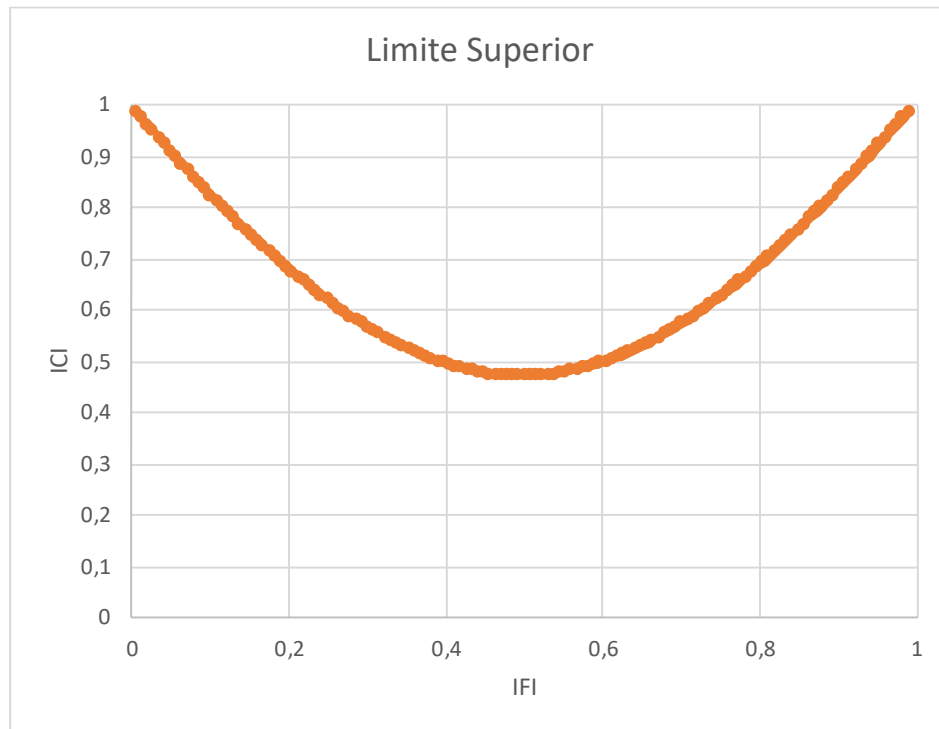
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o limite superior, temos a curva descrita por assinalação de apenas duas alternativas, a correta e mais uma, e frequência zero de escolha entre as demais alternativas. Matematicamente falando, quando temos apenas assinalada a alternativa correta (IFI) e uma segunda com frequência $1 - IFI$, o que modifica o termo dentro da raiz: $\sqrt{IFI^2 + \frac{\sum_{i=1}^4 n_i^2}{N^2}} = \sqrt{IFI^2 + (1 - IFI)^2}$, obtemos, com a substituição e reorganização dos termos da função:

$$ICI = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5} - 1} \cdot \left(\sqrt{2 \cdot IFI^2 - 2 \cdot IFI + 1} - \frac{1}{\sqrt{5}} \right).$$

Esta função é representada por uma curva com a seguinte forma:

Gráfico 6: Limite superior para o gráfico de IFI x ICI.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Estas funções de máximo e mínimo delimitam a região possível onde um item de uma prova de múltipla escolha está localizado no gráfico de dispersão de $ICI \times IFI$. Os autores sugerem, ainda, uma forma de classificar os itens de acordo com o padrão de respostas, combinando os dois índices e determinando intervalos para IFI e ICI, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Categorias de IFI e ICI

IFI	Categoria	ICI	Categoria
0,0 – 0,4	Baixo (B)	0,0 – 0,2	Baixo (B)
0,4 – 0,7	Médio (M)	0,2 – 0,5	Médio (M)
0,7 – 1,0	Alto (A)	0,5 – 1,0	Alto (A)

Fonte: adaptado de Bao e Redish (2001).

Combinando o ICI com o IFI, podemos identificar diferentes padrões de respostas. Caso a maioria das respostas estejam concentradas em apenas uma resposta, chamaremos de modelo único (correto ou incorreto). Caso as respostas

estejam divididas principalmente em duas alternativas, uma correta e uma errada, temos um exemplo de dois modelos dominantes (dois errados ou um certo e um errado). Caso as respostas estejam distribuídas em mais alternativas, os autores afirmam não existir nenhum modelo predominante ou como respostas ao acaso.

Quadro 6: Implicação da combinação do IFI com o ICI.

Característica do item	<i>IFI – ICI</i>	Implicação dos padrões de resposta (característica do item)
Modelo único	A-A	Um modelo correto
	B-A	Um modelo errado
Dois modelos	B-M	Dois modelos, prevalecendo o errado ou possíveis dois modelos errados
	M-M	Dois modelos (Correto e incorreto)
Múltiplos modelos ou nenhum modelo	M-B ⁷	Múltiplos modelos com uma pequena preferência pelo modelo certo
	B-B	Múltiplos modelos ou próximo de uma situação de respostas aleatórias

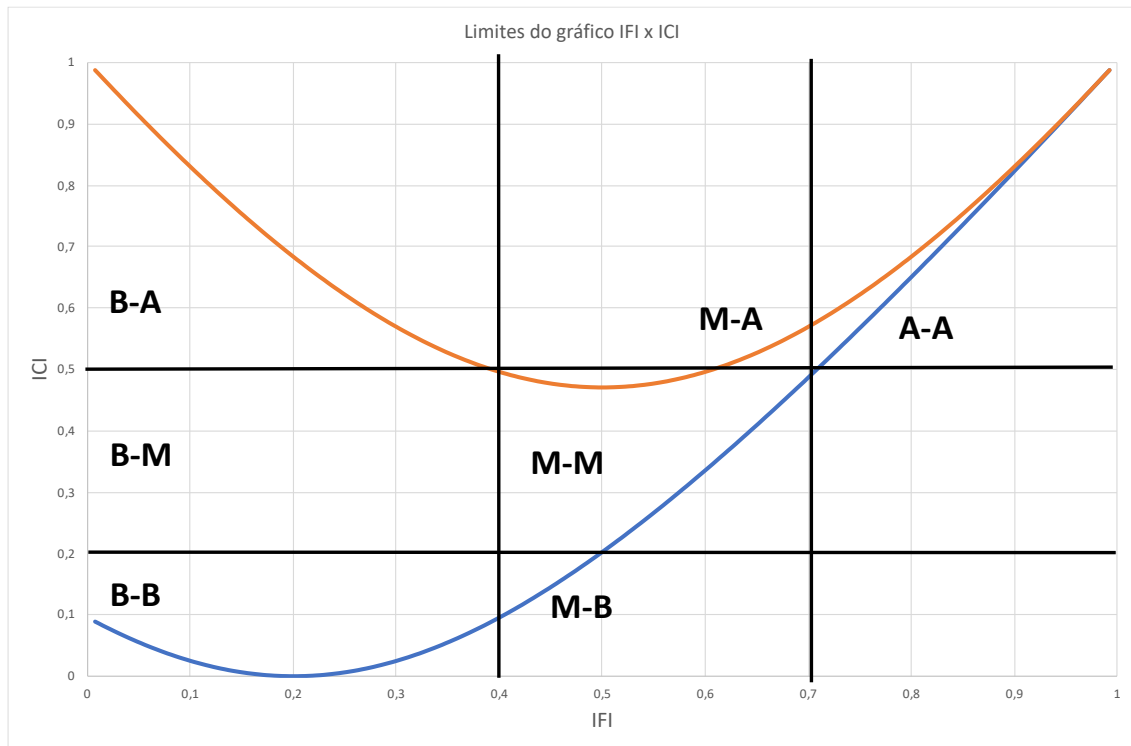
Fonte: Adaptado de Bao e Redish (2001)

Sobre as características dos itens de acordo com os índices propostos por Bao e Redish (2001), vale destacar que a sub-região M-B não é definida em seu trabalho, sendo agrupada junto com a sub-região B-B e considerada uma região de respostas aleatórias. No caso da prova do ENEM, em que o grupo de respondentes se mostra muito heterogêneo, nós consideramos necessário diferenciar estas regiões que podem revelar pequenas diferenças, mas significativas para a análise dos itens.

As regiões descritas no Quadro 6 estão apresentadas no Gráfico 7. Vale destacar também a impossibilidade de um item pertencer às sub-regiões A-M e A-B.

⁷ Esta região (M-B) não está definida no trabalho de Bao e Redish (2001)

Gráfico 7: Combinação do IFI com ICI com as regiões: um modelo, dois modelos ou múltiplos modelos.



Fonte: Adaptado de Bao e Redish (2001).

Associar estes dois índices aos padrões de resposta não apenas fornecem uma medida do desempenho dos alunos, mas também indicam se o item desencadeia um "equivoco" comum nos respondentes. Itens que se encontram nas regiões de alta concentração (sub-regiões A-A ou B-A) apresentam, como resposta, um modelo único predominante. Aqueles que se encontram na sub-região B-A apresentam um distrator muito forte, ou seja, configuram um modelo errado predominante. Portanto, o fato do item apresentar índices compatíveis com esta região pode ser considerado um forte indício de que a pergunta aciona um modelo incorreto comum nos respondentes. Na sub-região A-A, o modelo correto predomina na resposta dos respondentes.

Regiões de média concentração contém itens cujas respostas estão distribuídas em pelo menos duas alternativas. Itens pertencentes à sub-região B-M apresentam um ou mais distratores mais fortes do que a alternativa correta, porém a escolha está espalhada entre as alternativas. Já na sub-região M-M os respondentes apresentam uma certa preferência pela alternativa certa, mas pelo menos um distrator

é igualmente procurado pelos estudantes.

Por fim, as sub-regiões de baixa concentração como B-B e M-B são caracterizadas por itens em que as respostas espalhadas entre todas as alternativas, sendo que, na sub-região M-B, observa-se uma pequena preferência pela alternativa correta. A sub-região B-B geralmente indica que a maioria dos respondentes não tem um modelo dominante para aquele tópico e suas respostas estão próximas dos resultados de suposições aleatórias.

Propomos, neste trabalho, combinar os 3 índices (*IFI*, *ICI* e *IDI*), a fim de caracterizar os itens quantitativamente, além de verificar se existe relação entre as regiões propostas por Bao e Redish (2001), bem como a discriminação dos itens. Para isso, utilizamos o gráfico de bolhas, com a área da bolha proporcional ao *IDI* e, quanto maior a área, mais o item discrimina os candidatos com maior desempenho dos alunos de menor desempenho.

Além das características quantitativas psicométricas, os itens carregam características qualitativas. Na próxima seção, traremos algumas das abordagens presentes na literatura e que determinam um critério *a priori* para estudar o desempenho dos estudantes em exames como o ENEM. Estes critérios foram utilizados para classificar os itens e, posteriormente, para identificar os traços latentes dos agrupamentos gerados por análise fatorial.

2.4 Aspectos qualitativos da análise dos itens

Ao se analisar uma prova, diversas são as variáveis que influenciam o desempenho de um candidato sendo que nesta seção apresentaremos alguns indicadores qualitativos presentes na literatura, e sendo utilizados na caracterização dos itens. Diversos são os trabalhos utilizam indicadores de forma isolada, porém o que observamos é que nenhum deles consegue explicar completamente o desempenho dos candidatos, seja em provas escolares, seja nas avaliações externas como o ENEM ou o PISA. Neste sentido, propomos neste trabalho a realização de uma análise multivariada dos itens, onde são combinados diversos indicadores qualitativos na interpretação dos resultados estatísticos resultantes da análise multivariada.

Não temos a pretensão de esgotar a discussão sobre as variáveis que influenciam no desempenho dos estudantes num exame. Pretendemos apresentar de forma sucinta algumas características relacionadas aos indicadores qualitativos que sugerem diferentes caminhos na resolução de itens; a saber: a busca por uma solução por especialistas e aprendizes; a estrutura dos itens e sua contextualização; concepções alternativas e classificações taxonômicas, entre outros. Em seguida, apresentamos alguns trabalhos que utilizam estes indicadores qualitativos nos seus estudos de análise dos itens do ENEM. Estas características foram utilizadas inicialmente para caracterização qualitativa dos itens, o que posteriormente possibilitou a última etapa da aplicação da análise fatorial.

Utilizaremos estes indicadores qualitativos na interpretação dos conjuntos de itens associados a distintos traços latentes dos agrupamentos gerados por análise fatorial após a sua aplicação.

Na análise fatorial para que possamos dar significado para os agrupamentos e compreender a relação entre as variáveis de um determinado fator, é necessário que tenhamos uma base conceitual sólida sobre a temática que está sendo estudada (HAIR *et al.* 2009).

2.4.1 Especialista x Aprendiz

Uma das abordagens presentes na pesquisa em Ensino de Física está em compreender como que um estudante resolve um item e comparar com as estratégias utilizadas por especialistas para compreender os caminhos que possam ter levado muitas vezes o aluno ao erro. Esta seção busca embasar a análise dos itens no que tange a identificação dos possíveis caminhos que os alunos percorreram para assinalar as alternativas incorretas (distratores) em um item do ENEM.

A resolução de problemas em Física envolve uma série de estratégias além de estar associada a diferentes graus de dificuldades, sendo que as estratégias utilizadas por novatos e especialistas na resolução destes problemas são distintas. Por exemplo, os novatos são mais suscetíveis a cometerem erros nos itens que envolvem manipulação algébrica. Dentre uma longa série de atitudes distintas, os novatos estão mais sujeitos a recorrerem às concepções não científicas para a resolução de problemas do que os especialistas (LARKIN *et al.*, 1980).

Diversos são os trabalhos que buscam compreender as diferentes estratégias utilizadas na resolução de problemas de física entre especialistas e novatos (CHI, 1981; DE JONG, 1986; LARKIN *et al.*, 1980; SHERIN *et al.*, 2001; CHEN *et al.*, 2020). Segundo Chi (1981) e De Jong (1986), os especialistas apresentam menor dificuldade na resolução de problemas, pois são detentores de maior conhecimento prévio e já resolveram problemas similares. Larkin *et al.* (1980) e Sherin *et al.* (2001) discutem como os novatos, por serem menos experientes, são mais suscetíveis a cometer erros, especialmente em itens que envolvem modelagem matemática e equações que refletem conceitos físicos. Segundo Larkin *et al.* (1980) os novatos buscam, a partir da leitura dos dados fornecidos em uma situação-problema, fórmulas memorizadas ao longo da educação formal, com pouca ou nenhuma reflexão do conceito físico envolvido. Podemos dizer que para o aprendiz, o problema muitas vezes é reduzido a aplicação de fórmula. Já Sherin (2001) propõe que os aprendizes associam conceitos físicos a estruturas de equações, atribuindo o significado físico a “forma” ou aparência da equação, ou seja, existem problemas enfrentados pelos estudantes ao montar uma fórmula, mesmo conhecendo o conceito associado à mesma. Esta busca por fórmulas ou relações matemáticas conhecidas, Sherin (2001) chama de forma simbólica que, muitas vezes, está associada a concepções alternativas (não científicas) dos alunos. Segundo o autor a forma simbólica “Representa a associação entre um esquema conceitual simples, com um arranjo de símbolos em uma equação.” (SHERIN, 2001, p. 479, tradução do autor⁸).

Como exemplo podemos pensar na definição de densidade em que o novato compreende a existência de uma relação de proporcionalidade, mas não consegue estabelecer uma relação entre as grandezas físicas envolvidas,

$$\text{Especialista: } d = \frac{m}{V} \Rightarrow \text{Aprendiz: } d = \frac{\boxed{\cdot}}{\boxed{\cdot}}$$

Para o aprendiz, ele lembra que a densidade, por exemplo, é calculada por uma razão, mas ele não lembra exatamente o a grandeza que é colocada divisor e no

⁸ Each symbolic form associates a simple conceptual schema with a pattern of symbols in an equation.

dividendo, buscando muitas, valores na situação-problema e testando operações até encontrar uma alternativa com valor calculado. Outro exemplo seria a função horária da velocidade do movimento variado.

$$\text{Especialista: } v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow \text{Aprendiz: } v = \square + \square \cdot \square$$

As formas simbólicas são essenciais para compreender possíveis caminhos tomados pelo aluno no processo de resolução de problemas que envolvam manipulações algébricas. Também é possível sugerir relações que o estudante faz entre o conhecimento físico e as fórmulas matemáticas. Sherin (2001) propõe que ao construir um significado físico a partir de uma equação o aluno pode estar se guiando pela “forma” que essa equação tem. A “forma” que uma equação tem está relacionada à sua aparência, ou seja, se é uma fração, uma soma, uma exponencial etc., e eles podem ser agrupados em alguns tipos de forma simbólica, conforme Quadro 7.

Quadro 7: Algumas das principais formas simbólicas divididas em grupos, sua nomenclatura e sua simbologia.

Grupos	Formas Simbólicas	Padrão de Símbolos
Coeficientes	Coeficiente	$x \square$
	Escala	$n \square$
Multiplicação	Intensivo-extensivo	$x \cdot y$
Proporcionalidade	Prop+ (Diretamente proporcional)	$\left[\frac{\dots x \dots}{\dots \dots} \right]$
	Prop- (Inversamente proporcional)	$\left[\frac{\dots \dots}{\dots x \dots} \right]$
	Cancelar	$\left[\frac{\dots x \dots}{\dots x \dots} \right]$

Fonte: Adaptado de Sherin (2001, p. 506).

Esses resultados sugerem que os novatos se utilizam de fórmulas com um parcial conhecimento sobre elas, que pode ser traduzido pelo conceito de forma simbólica, o qual explicaria algumas das escolhas de alternativas incorretas por parte dos alunos (SHERIN, 2001).

Somado a isso Larkin *et al.* (1980) sugerem que os especialistas apresentam maior familiaridade com os problemas e essa familiaridade permite que ele resolva os problemas aproveitando os dados fornecidos para desenvolver primeiramente as representações qualitativas, trabalhando em direção às relações matemáticas necessárias para resolver o problema, enquanto o novato (menos experiente) ao

contrário, trabalha por um caminho inverso. Esse indivíduo inexperiente tem uma perspectiva de olhar para trás como forma de iniciar a resolução do problema, ou seja, ele busca imediatamente uma equação que possa vir a ser utilizada como resolução do problema. Geralmente a estratégia para a escolha da equação é suportada pelos dados que são fornecidos e nesse sentido o novato busca uma equação com as mesmas variáveis de que dispõe, sem refletir propriamente sobre o problema físico em questão.

Este resultado associado ao imediatismo do aprendiz explica, por exemplo, o resultado encontrado por Marcom (2015) e Marcom e Kleinke (2016) que destacam que itens de física do ENEM que necessitam de um grande conjunto de passos e operações matemáticas (*multistep*) ampliam a chance de erros, tanto de especialistas quanto de novatos, mas com maior intensidade para o segundo grupo. Entendemos por imediatismo a prática comum dos estudantes de ao resolver um item quantitativo encontrar um valor numérico presente entre as alternativas e validar o seu cálculo, independente das unidades ou do significado físico do valor encontrado. Para estes estudantes o resultado numérico não precisa ser contextualizado ou ter sentido do ponto de vista científico. Marcom (2015) atribui esta prática a própria escola que incentiva os estudantes a treinarem exaustivamente a teoria em exercícios fixação que visam a aplicação simples de fórmulas sem uma reflexão sobre os significados físicos das grandezas envolvidas.

Por outro lado, Clement (1994) defende que muitas vezes o novato tenta resolver os problemas propostos fugindo de manipulações algébricas e contas, utilizando-se de sua intuição que, muitas vezes, está carregada de concepções não científicas (concepções alternativas) que discutiremos na seção 2.4.3. Segundo o autor a falta de familiaridade com o formalismo matemático gera no aluno uma tendência a utilizar formas de resolução que permitam fugir de estruturas matemáticas. Essa estrutura de resolução tida como conceitual, permite que o aluno não utilize um formalismo matemático completo, gerando assim uma maior possibilidade de erro dentro de um problema proposto.

Em seu trabalho, Ali *et al.* (2015) sintetizam as principais diferenças entre o especialista e o novato na forma de resolver as questões propostas na área de física:

1. Especialistas completam a solução para um problema em menos tempo do que os novatos.
2. Os especialistas realizam uma análise qualitativa inicial (descrição dos problemas em termos científicos) de um problema antes de usar equações apropriadas para a solução quantitativa, enquanto os novatos buscam imediatamente equações conhecidas e inserem as informações fornecidas nos problemas nelas.
3. Os especialistas resolvem problemas por meio de processos de refinamentos sucessivos, descrevendo primeiro a característica do problema principal por meio de palavras ou imagens aparentemente vagas e só mais tarde considerando o problema em maior detalhe passando para linguagem mais matemática, enquanto os novatos resolvem um problema montando equações individuais de imediato.” (ALI *et al.*, 2015, p. 72, tradução do autor⁹)

Além das diferenças na resolução de exercícios, Ali *et al.* (2015) em sua síntese, destaca que existem diferenças forma como especialistas e novatos organizam a resolução de problemas a partir de outros problemas que já tiveram contato.

1. Os especialistas tendem classificar problemas de física baseados em conceitos subjacentes (leis da física) que não são mencionados explicitamente nos problemas. Já os novatos tendem a classificar os problemas com base nas características superficiais dos problemas (objetos tais como molas e planos inclinados, termos como atrito, ou semelhanças entre diagramas, por exemplo)
2. Especialistas utilizam a similaridade de conceitos centrais da física na tomada de decisões de categorização de problemas. Os especialistas são mais propensos a julgar que dois problemas poderiam ser resolvidos da mesma forma se forem sobre conceitos físicos semelhantes. Os novatos usam a similaridade dos recursos superficiais na tomada de decisões de categorização de problemas. Novatos frequentemente indicam que problemas com características superficiais semelhantes podem ser resolvidos de forma semelhante. (ALI *et al.*, 2015, p. 72, tradução do autor¹⁰)

⁹“1. Experts complete the solution to a problem in less time than do novices

2. Experts perform an initial qualitative analysis of a problem before using appropriate equations(s) for the quantitative solution of the problems while novices immediately search for an equation and do this by matching the information given in the problems with terms in the equations. Qualitative analysis here means redescription of the problems.

3. Experts solve problems by a process of successive refinements, first describing the main problem's feature by seemingly vague words or pictures and only later considering the problems in greater detail in more mathematical language while novices solve a problem by assembling individual equations.” (ALI *et al.*, 2015, p. 72)

¹⁰ 1. Experts tended to classify physics problems based on underlying concepts (laws of Physics such as Newton's Laws) that were not mentioned specifically in the problems more than novices did, and novices tended to classify problems based on the surface features of the problems (objects such as springs and inclined planes; terms such as friction; similarities between diagrams) more than the experts did.

2. Experts used deep structure similarity in making problem categorization decisions. Experts were much more likely to judge that two problems could be solved similarly if they were similar in deep structure. Novices used surface feature similarity in making problem categorisation decisions. Novices

Na hora de escolher a estratégia e os conceitos que vai utilizar para resolver um problema, o aprendiz se baseia principalmente em características superficiais do problema, buscando similaridades com problemas resolvidos anteriormente, enquanto o especialista busca compreender mais profundamente e amplamente o problema antes de decidir como resolverá.

Além dos problemas que envolvem a manipulação matemática, os especialistas e aprendizes apresentam diferença na hora de resolver um problema que contenha gráficos e imagens. A falta de familiaridade com esse tipo de representação gera dificuldades para os estudantes. Segundo Beichner (1994), os aprendizes, quando confrontados com gráficos cometem erros como: considerar os gráficos como imagens (fotografia da situação) e não como uma representação matemática abstrata; confusão entre inclinação e altura; confusão de variáveis ou não leitura dos eixos do gráfico; ignoram que a área debaixo das curvas em gráfico pode trazer informações relevantes sobre o problema; confusão com os conceitos relacionados a área, inclinação e altura.

Em suma, quando o item de Física necessita do formalismo matemático para sua resolução, seja manipulação algébrica, seja presença de elementos matemáticos como gráficos, os principais erros ocorrem por quatro dificuldades: Ideias intuitivas, imediatismo, análise de gráficos e forma simbólica (MARCOM; KLEINKE, 2017).

Além da estratégia adotada na resolução de exercícios de Física por especialistas e aprendizes, outros fatores podem influenciar no desempenho dos candidatos na hora da realização de itens de física. Nas próximas seções apresentaremos outros fatores determinantes neste desempenho, dado que o público analisado neste trabalho é formado por concluintes do ensino médio, ou seja, em sua grande maioria aprendizes de física, salvo poucas exceções.

2.4.2 Formato do item e contextualização

A discussão de resolução de exercícios por especialistas e aprendizes, apresentada na seção anterior, perpassa pela forma com que o item é apresentado. Conforme discutido anteriormente, o item do ENEM é composto por um texto-base, enunciado e alternativas. Essa estrutura deve manter a coerência e a coesão entre suas partes, de modo que elas estejam articuladas entre si e se explicita uma situação-problema única. Em outras palavras, no seu guia de elaboração é proposto que o elaborador crie uma situação-problema no item e não apenas um exercício de fixação.

É um desafio apresentado no item que reporta o participante do teste a um contexto reflexivo e instiga-o a tomar decisões, o que requer um trabalho intelectual capaz de mobilizar seus recursos cognitivos e operações mentais. Uma situação-problema deve estar contextualizada de maneira que permita ao participante aproveitar e incorporar situações vivenciadas e valorizadas no contexto em que se originam para aproximar os temas escolares da realidade extraescolar. (INEP, 2010, p. 8)

Apesar de ser entendido por muitos candidatos, essencialmente, como um exame de seleção, cuja função e formato remetem aos vestibulares mais tradicionais, o ENEM estrutura-se em uma matriz de habilidades e competências e procura incorporar conceitos de interdisciplinaridade e contextualização com o objetivo de articular o conhecimento à realidade do aluno. O que observamos hoje em dia é um movimento contrário em que os vestibulares tradicionais têm cada vez mais adotado a interdisciplinaridade e contextualização em seus itens e questões. Neste sentido, Costa e Moreira (1996) destacam que conteúdo e contexto são fundamentais na execução da tarefa de resolução de exercício e que isso também diferencia especialistas e novatos neste tipo de tarefa.

A qualidade da contextualização dos itens do ENEM não é uma questão unânime entre os pesquisadores. Pinheiro e Ostermann (2010) avaliaram os itens de Física das duas provas do Novo ENEM de 2009¹¹ classificando o nível de contextualização (Descontextualizado, pseudo-contextualizado, semi-

¹¹ Em 2009 houve o vazamento da prova do ENEM, o que obrigou o Ministério da Educação a cancelar a prova e a remarcar o exame com dois meses de atraso após ser totalmente refeito.

contextualizado, contextualizado, situação problema) e o tipo de contextualização (cotidiano, tecnologia, fazer ciência, compreensão da natureza, reconhecimento de problemas coletivos e soluções e outros). Os resultados obtidos indicaram uma predominância de questões contextualizadas e situações problema no Novo ENEM, conforme sugerido no edital do exame e no guia de elaboração dos itens (INEP, 2010). No que se refere ao formato da contextualização, os autores caracterizaram no ENEM a predominância de itens que tratam de reconhecimento de problemas coletivos e Tecnologia. Segundo os autores, esta característica diferencia o Novo ENEM de vestibulares mais tradicionais, embora ambos os instrumentos busquem atender ao mesmo propósito: selecionar estudantes para ingressar no Ensino Superior.

Gonçalves Jr. e Barroso (2014) classificaram os itens de Física do ENEM entre 2009 e 2011, onde propuseram quatro níveis de contextualização: pré-texto; baixa contextualização; média contextualização e alta contextualização. Segundo eles, nas provas analisadas, o maior número de questões se concentrou entre os níveis de média e alta contextualização, sendo que o número de questões com alta contextualização seguiu uma tendência de aumento a cada ano.

Por outro lado, Fernandes e Marques (2015) comparam os itens de química antes e depois das mudanças sofridas pelo ENEM em 2009 e elucidam que o Novo ENEM não abandona por completo as questões interpretativas, mas aumenta significativamente o caráter conceitual, com tópicos específicos do currículo de química dos itens, aproximando o ENEM de vestibulares tradicionais.

Moura *et al.* (2017) sinalizam que após as mudanças sofridas pelo ENEM, os itens de Física passaram a priorizar uma abordagem acadêmica e técnica, mas antes de 2009 a Física aparecia apenas de forma utilitarista, muitas vezes como contexto de itens. O autor relaciona ainda esta tendência de contextualização e interdisciplinaridade a sinalizações do governo sobre mudanças esperadas no currículo da educação básica (MOURA, 2014). Este caráter conceitual em linguagem de especialistas também foi identificado por Villar e Kleinke (2018).

Conforme discutido em 2.1.4, outros autores apontam problemas na formulação dos itens, muitas vezes atrelado a necessidade de se ter uma contextualização. Silveira *et al.* (2014) chama de “contextualização a qualquer custo”, Bassalo (2011) identifica enunciados com formulações ambíguas e com informações irrelevantes, Chagas (2019) aponta que a necessidade de contextualização acaba por introduzir

nos itens uma grande quantidade de carga cognitiva estranha e Rodrigues (2014) chama a atenção para erros conceituais.

Com base neste cenário, Oliveira *et al.* (2013) buscaram compreender como esta contextualização impacta no desempenho dos candidatos nos itens de Ciências da Natureza do ENEM, comparando o desempenho das redes privadas (Priv) e públicas (Pub) de ensino. Para isso classificaram os itens da prova de Ciências da Natureza do ENEM de 2010 quanto ao contexto em quatro categorias que contemplem as utilizadas pelos trabalhos anteriores e são baseadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PECNEM) de 2000: Exercícios, Cotidiano, Científico e Tecnológico.

Contexto de Exercícios – Refere-se a situações restritas à prática escolar tradicional, cujo conteúdo é apresentado, praticamente sem relações com o universo dos estudantes, privilegiando a teoria em detrimento de exemplos concretos. (...)

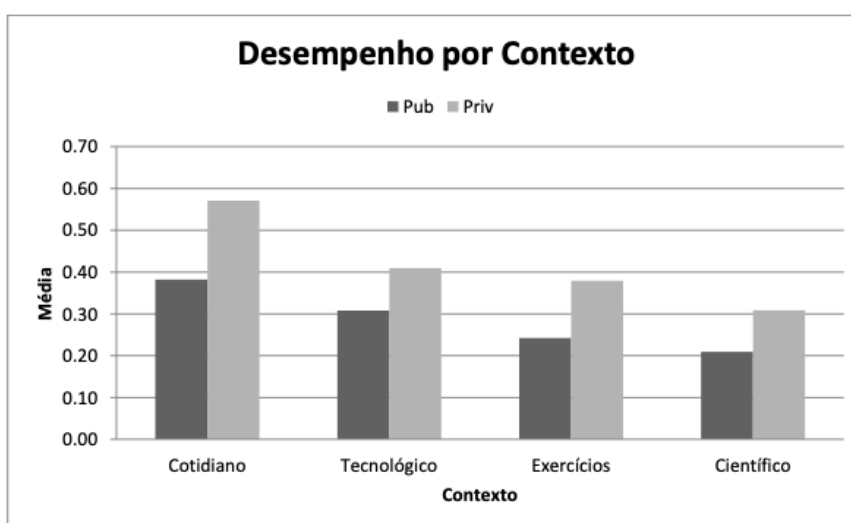
Contexto Cotidiano – Nessa categoria são apresentadas as questões que propõem situações que podem ter sido vivenciadas pelos candidatos e/ou integradas ao seu dia a dia. (...)

Contexto Científico – Nessa categoria estão situadas as questões cujos enunciados utilizam informações associadas à divulgação de pesquisas científicas atuais. (...)

Contexto Tecnológico – Refere-se às questões mais próximas do funcionamento ou da operação de um utensílio tecnológico. (...)” (OLIVEIRA, 2014, p. 62-64)

Em sua classificação, dos 45 itens de ciências da natureza daquele ano, 13 itens foram classificados como contexto cotidiano, 11 como tecnológico, 16 como exercícios e 5 como científico. Dentro desta classificação, ao olhar para os acertos dos candidatos, separando naqueles que cursaram o ensino médio em escola pública e particular, obteve como resultado que os estudantes concluintes do Ensino Médio provindos de escolas privadas apresentam, em média, um desempenho maior em todos os contextos (Gráfico 8). Sabe-se que estudantes de institutos federais apresentam em média o desempenho maior do que das escolas estaduais e municipais, mas neste estudo todos os estudantes de escola pública foram colocados no mesmo grupo.

Gráfico 8: Gráfico de desempenho em função do contexto e da rede escolar



Fonte: Oliveira, 2014.

Como resultado, Oliveira *et al.* (2013) obtiveram que os itens com contextualização cotidiana são aqueles mais fáceis, em média, para todas as classes sociais, enquanto os itens de exercício de fixação que exigem mais treino e maior grau de abstração privilegia alunos da rede particular de ensino. Já os itens com contexto científico são aqueles cujo índice de acerto é menor tanto na rede pública quanto no particular.

Apesar do contexto do item poder estar associado à uma certa faixa de desempenho, o contexto por si só não explica o resultado do desempenho dos candidatos, como podemos ver na tabela que relaciona o contexto com o desempenho em todos os itens do ENEM em 2010.

Como destacado em vermelho na Tabela 3, apesar de itens com contexto cotidiano apresentarem uma média de acerto maior do que os demais contextos quando analisadas conjuntamente, ao olharmos isoladamente encontramos alguns itens com contexto cotidiano (item 68) com índice de acerto muito menor do que itens com contexto de exercício, tecnológico e até científico. Além disso, verificamos que o item com maior acerto da prova de Ciências da Natureza de 2010 é o item 52, classificado por Oliveira (2014) como sendo com contexto tecnológico.

Outro grupo de itens com características próprias são os associados a experimentação. Itens com caráter experimental geralmente estão mais próximos do contexto do especialista (pesquisador, professor, etc.) além de muitas vezes

apresentarem um conteúdo específico distante do conhecimento de um novato. Neste sentido, podemos listar algumas causas para que este tipo de contextualização esteja associado a baixos desempenhos. Azevedo *et al.* (2009) sinalizam que as revistas de divulgação em Física pouco trabalham a temática da experimentação no ensino e, quando este assunto aparece, duas tendências são claras: Uma aponta para o uso de experimentos demonstrativos ou ilustrativos, o que submete a uma postura verificacionista, enquanto a outra tendência é associada a um tratamento quantitativo para os experimentos. Os autores afirmam que, muito embora as atividades experimentais de medição sejam importantes na formação de alunos, não devem encerrar as discussões quando o valor numérico é encontrado. Outros trabalhos apontam que o “fracasso experimental” no ensino de física pode estar associado a formação dos professores de física, que muitas vezes não são físicos de formação e, mais ainda, a suas condições de trabalho (LABURU *et al.*, 2007).

Tabela 3: Contexto e desempenho no ENEM 2010.

Q	Contexto	IA Geral	IA Pub	IA Priv
46	Cotidiano	0,62	0,57	0,81
47	Tecnológico	0,17	0,15	0,25
48	Tecnológico	0,23	0,21	0,27
49	Cotidiano	0,85	0,84	0,92
50	Exercícios	0,18	0,18	0,20
51	Exercícios	0,17	0,15	0,27
52	Tecnológico	0,66	0,62	0,81
53	Cotidiano	0,39	0,36	0,50
54	Científico	0,31	0,29	0,37
55	Tecnológico	0,28	0,29	0,24
56	Tecnológico	0,61	0,56	0,78
57	Cotidiano	0,37	0,34	0,48
58	Exercícios	0,33	0,26	0,58
59	Cotidiano	0,51	0,46	0,73
60	Cotidiano	0,42	0,37	0,58
61	Cotidiano	0,37	0,30	0,63
62	Exercícios	0,51	0,44	0,77
63	Tecnológico	0,42	0,37	0,62
64	Exercícios	0,21	0,17	0,36
65	Exercícios	0,21	0,17	0,40
66	Científico	0,10	0,10	0,13
67	Tecnológico	0,33	0,32	0,37
68	Cotidiano	0,17	0,15	0,24
69	Exercícios	0,20	0,18	0,25
70	Tecnológico	0,12	0,13	0,10
71	Cotidiano	0,21	0,19	0,26
72	Exercícios	0,11	0,11	0,09
73	Exercícios	0,26	0,26	0,28
74	Exercícios	0,31	0,30	0,35
75	Exercícios	0,53	0,46	0,79
76	Exercícios	0,30	0,28	0,38
77	Exercícios	0,21	0,19	0,29
78	Tecnológico	0,39	0,37	0,49
79	Tecnológico	0,21	0,18	0,32
80	Exercícios	0,15	0,13	0,23
81	Exercícios	0,32	0,29	0,40
82	Tecnológico	0,20	0,19	0,23
83	Exercícios	0,33	0,30	0,43
84	Científico	0,23	0,20	0,34
85	Científico	0,19	0,17	0,26
86	Científico	0,32	0,29	0,45
87	Cotidiano	0,30	0,27	0,41
88	Cotidiano	0,56	0,51	0,76
89	Cotidiano	0,37	0,30	0,60
90	Cotidiano	0,34	0,30	0,50

Fonte: Oliveira, 2014 - destaques do autor.

Sobre itens de caráter experimental, Villar e Kleinke (2018) apontam que quando o contexto do item de física do ENEM é mais próximo do aluno (contexto cotidiano) o desempenho dos candidatos é melhor. Contudo, nestes itens, observa-se uma maior diferença no desempenho dos candidatos em função da escolaridade dos pais. Este resultado está de acordo com o apresentado por Oliveira (2014).

Além do contexto, o formato, tipo de leitura e o texto do item influenciam no desempenho de dos candidatos. Sobre o formato e a estrutura dos textos dos itens de física do ENEM, Bassalo (2011) destaca que praticamente todos os itens de Física

do ENEM de 2009 apresentam um enunciado com formulação ambígua, com informações irrelevantes em detrimento de informações necessárias para os alunos. Apesar de ser contraditório com as orientações do guia do elaborador (INEP, 2010) é fato a incidência de textos muito longos e com informações irrelevantes para a resolução do problema. Este resultado é semelhante ao encontrado por Chagas (2019) que avaliou 28 itens de matemática das provas do ENEM de 2010 a 2015. Em seu trabalho, Chagas (2019) sugere que os itens do ENEM são apresentados impregnados de carga cognitiva estranha, o que ocupa capacidade de memória dos respondentes e consequentemente reduz o desempenho dos candidatos.

Carga cognitiva é uma construção multidimensional que representa de forma indireta quanto que o sistema cognitivo de um aluno é exigido na execução de uma tarefa. A carga cognitiva total de uma determinada tarefa é dado pela soma da carga cognitiva intrínseca com a carga cognitiva estranha e a pertinente. A carga cognitiva estranha, que Chagas (2019) retirou dos itens para analisar seu impacto, é definida como qualquer coisa apresentada em um construto de um item que ocupa capacidade de memória do respondente, mas é irrelevante para a execução da tarefa pretendida. Este tipo de carga é bem-vindo quando não gera no estudante um excedente na memória de trabalho, o que desviaria a atenção para a execução da tarefa principal.

Neste trabalho, o autor mostra que, em geral, ao reduzir a carga cognitiva estranha em itens de matemática, temos melhora desempenho dos respondentes, ou seja, os textos ambíguos e confusos interferem, em média, negativamente no desempenho dos candidatos. Segundo ele,

O grande problema do ENEM e do ensino de maneira geral está associado à interpretação de textos. Muitos não conseguem entender o que está sendo solicitado no enunciado e por isso não conseguem responder de modo adequado. (CHAGAS, 2019, p. 51)

Em seu trabalho, Chagas (2019) mostrou que de maneira global a redução de carga cognitiva aumenta a chance dos alunos acertarem o item reduzido, muito embora existam exceções, ou seja, itens em que a carga cognitiva estranha foi retirada e o desempenho dos alunos pioraram. Nestes casos a redução de carga cognitiva impactou negativamente o acerto dos alunos no item reduzido, o que mostra que existe uma forte relação entre carga cognitiva estranha e desempenho, porém ela por

si só também não explica por completo o desempenho dos candidatos em um item.

Além disso vale destacar que no estudo da relação entre carga cognitiva e sexo no desempenho em itens de matemática do ENEM, Chagas (2019) discute que apesar de nos resultados do PISA que apontam que as mulheres apresentam melhor desempenho em leitura, redação e interpretação de texto, em muitos casos, quando extraímos cargas cognitivas estranhas de testes de matemática o desempenho delas melhora mais do que dos homens.

Giordano (2017), lembra que a complexidade de um item está associada a habilidade e o Objeto de Conhecimento (conteúdo) associado presente na matriz de referência, mas também ao contexto envolvido, o tipo de texto, o nível de leitura dos dados e, ao o tipo de pensamento associado a ela. Em seu trabalho sobre itens de estatística no ENEM a autora propõe uma análise de diversos aspectos do item, porém apenas como forma de caracterização deste item. Para isso, propôs a categorização dos itens de acordo com sete variáveis qualitativas que julgou estarem relacionados com competências estatísticas: (a) competência de área, (b) habilidade, (c) objeto do conhecimento, (d) contexto, (e) tipo de texto, (f) nível de leitura e (g) processo. Endentemos esta proposta é um primeiro passo para compreender de forma holística o que mais interfere no desempenho dos estudantes em um exame como o ENEM.

As variáveis (a), (b) e (c) estão relacionadas com a matriz de referência do ENEM e as variáveis (d), (e), (f) e (g), Giordano (2017) utilizou os seguintes critérios de classificação encontram-se no Quadro 8.

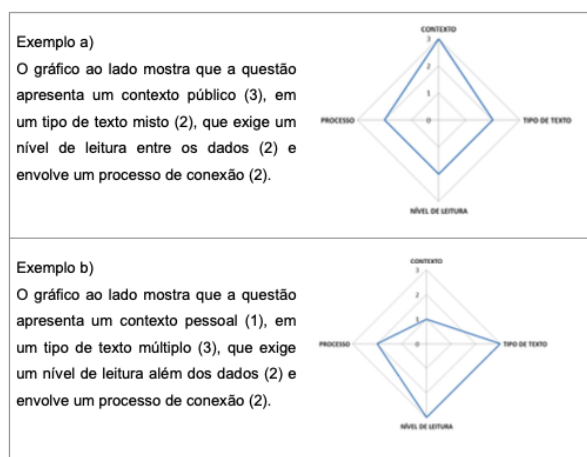
Quadro 8: Critério (d), (e), (f) e (g) de categorização dos itens de estatística do ENEM proposto por Giordano (2017).

(d) Contexto	1. Pessoal: relacionada diretamente às suas atividades cotidianas. 2. Educacional/Ocupacional: situações que surgem na escola e no trabalho. 3. Público: temas relacionados à comunidade local ou sociedade.
(e) Tipo de texto	1. Único: apresenta todos os dados relevantes à solução em um gráfico ou uma tabela. 2. Misto: os dados utilizados na solução estão, parte no gráfico ou tabela apresentados, parte no texto do enunciado. 3. Múltiplo: as informações de dois gráficos, duas tabelas ou de um gráfico e uma tabela precisam ser combinados.
(f) Nível de leitura	1. Dos dados: leitura literal do gráfico ou dos fatos explicados no título ou nos eixos do gráfico. 2. Entre os dados: interpretação e integração dos dados no gráfico; inferências se dão a partir dos dados explicitamente apresentados pelo gráfico. 3. Além dos dados: previsão ou inferência a partir dos dados em busca de informações que não estão explícita ou implicitamente indicadas.
(g) Processo	1. Reprodução: envolvem essencialmente a reprodução do conhecimento aplicado; está associado a conhecimento de fatos e representações comuns de problemas e a um desempenho de procedimentos rotineiros. 2. Conexão: pressupõe a reunião de ideias para solucionar problemas diretos; solução de problemas não rotineiros, mas que ainda envolvem configurações conhecidas ou parcialmente conhecidas; algumas vezes é necessário traduzir uma situação para a matemática. 3. Reflexão: está associado a um pensamento matemático mais amplo; pressupõe uma capacidade de planejar estratégias para a resolução; envolve argumentação, abstração e generalização.

Fonte: Adaptado de Giordano (2017).

Estes últimos quatro critérios, Giordano (2017) apresentou em um gráfico de teia de forma que cada item teria no formato de sua teia as informações necessárias para sua interpretação, conforme a Figura 3.

Figura 3: Exemplo de apresentação e interpretação do gráfico de teia com as características dos itens de estatística.



Fonte: Giordano, 2017.

O que a autora observa é que existe relação entre as variáveis estudadas e o desempenho médio dos estudantes, porém este desempenho nos itens não depende isoladamente de nenhuma das características, sendo que a forma que o gráfico de teia apresenta para um determinado item com baixo índice de acerto, pode aparecer também em um item de alto índice de acerto. Este resultado reforça a importância da determinação de critérios *a priori* para classificação e estudo dos itens em um exame como o ENEM, mas também reforça a necessidade de um estudo multivariado para compreender o construto da prova do ponto de vista dos respondentes e, como sugerimos, a determinação dos agrupamentos dos itens a partir da própria resposta dos alunos com uma busca *posteriori* pelas características em comum dos itens em um mesmo agrupamento.

Fica evidente nesta seção a dependência do desempenho médio dos candidatos com a forma e a contextualização de um item, porém também vemos que conhecer apenas saber o tipo de contexto ou o formato que o item é apresentado não é o suficiente para prever o desempenho dos respondentes. Outra característica relevante que também ajuda explicar o desempenho dos estudantes num exame é a presença de concepções alternativas entre as alternativas erradas do item de múltipla escolha. Na próxima seção apresentamos como se dá esta possibilidade e quais as implicações para o desempenho dos respondentes de um teste.

2.4.3 Concepções alternativas

A prova do ENEM é composta por itens de múltipla escolha em que se pressupõe entre as alternativas erradas a presença de raciocínios possíveis que levem ao erro o aluno que não tiver domínio sobre o conceito exigido. Estas alternativas muitas vezes estão carregadas de concepções alternativas (CA) ou outras dificuldades comuns de aprendizagem e são amplamente estudadas na literatura. Apresentaremos aqui como que a presença de concepções alternativas entre as alternativas de um item de física pode influenciar negativamente no desempenho de um candidato no ENEM.

Uma das principais frentes de pesquisa em ensino de ciências nas últimas décadas do século XX foi o estudo das concepções alternativas dos alunos, bem como seu impacto no ensino de ciências e no desempenho em provas. Tais concepções

podem ser entendidas como ideias não científicas que as pessoas criam e/ou desenvolvem para interpretar os mais diversos fenômenos, são ideias formadas a partir das experiências pessoais de cada um no meio social em que vivem (DRIVER *et al.*, 1999). Os indivíduos possuem, a partir de suas experiências pessoais, vários esquemas e conceitos socialmente aceitos para interpretar os fenômenos com que se deparam em seu dia a dia. Estes conceitos não necessariamente coincidem com os conceitos aceitos pelas ciências naturais, mas segundo Driver *et al.* (1999), “No que tange às experiências do dia a dia das pessoas, as ideias informais são, na maioria das vezes, perfeitamente adequadas para interpretar e orientar as ações.” (p. 35)

Estas experiências pessoais e socialização dos indivíduos, segundo Pozo e Crespo (2009) originam o que chamamos de concepções alternativas principalmente de três maneiras: sensorial, cultural e escolar. Todos os indivíduos possuem um conhecimento informal sobre o mundo cotidiano a partir de suas experiências. A partir daí, criam-se modelos mentais e ideias que permitem prever e controlar os acontecimentos (valor adaptativo). Neste sentido, as concepções alternativas de origem sensorial se formam de modo espontâneo, na tentativa de dar significados às atividades cotidianas, ou ainda, na prevenção e controle dos fenômenos do mundo como um valor adaptativo da espécie. Os indivíduos estão inseridos em sociedades e interagem o tempo todo com os mais diversos meios, obtendo informações e experiências selecionadas por estes grupos. Neste sentido, as concepções alternativas de origem cultural se firmam a partir da interação não somente com o mundo material, mas em torno do mundo social e cultural. Por fim, as concepções alternativas de origem escolar são formadas a partir de representações deformadas ou simplificadas de conceitos que produzem uma compreensão errônea de um conceito cientificamente aceito.

As pessoas não se desenvolvem isoladas em uma certa comunidade. Segundo Driver *et al.* (1999) os indivíduos carregam consigo experiências sensoriais, sociais e culturais que constroem seu aprendizado, ou seja, aprender sobre o mundo não ocorre num vácuo social. Neste contexto, podemos citar alguns exemplos de concepções alternativas de origem social quando nos remetemos a frases como “Estou com calor” ou ainda “O meu peso é de 80kg” que transmitem aos termos significados diferentes daqueles aceitos pela comunidade científica.

Logo, as concepções alternativas não são apenas ideias desconexas, isoladas.

Em muitos casos, elas se organizam em teorias aplicáveis a diferentes contextos, baseadas em princípios sobre o funcionamento do mundo cotidiano muito enraizadas nos sujeitos e resistentes à mudança, podendo permanecer no indivíduo mesmo após longos anos de instrução escolar, atuando como obstáculo na aprendizagem dos conceitos científicos (DRIVER *et al.*, 1999; POZO; CRESPO, 2009). Segundo Pozo e Crespo (2009)

a aprendizagem do ensino de ciências, baseada no enfoque das concepções alternativas, assume que (...) a mente do cientista e do aluno têm, em algum sentido, formatos incompatíveis, que utilizam linguagens diferentes ou, inclusive, utilizando a terminologia de Kuhn (1962), que são, até certo ponto, *incomensuráveis*, não podem reduzir nem traduzir uma para a outra. (...) para que os alunos aprendam as teorias e os modelos científicos, é preciso que mudem radicalmente sua forma de interpretar as coisas, porque do contrário(...) tenderão a cometer erros conceituais, *misconceptions*, a mal interpretar o que estudam assimilando esses conteúdos às suas próprias concepções alternativas. (p. 124)

Se no ensino de Ciências da Natureza já existe uma barreira, quando pensamos o problema das concepções alternativas no ensino de Física, a situação se agrava ainda mais, dado o escopo que esta disciplina se propõe a estudar, muito relacionado com o dia a dia dos estudantes.

O problema da física [ensino de física] (...) está muito relacionado com (...) a grande familiaridade do aluno com conteúdos envolvidos, o que faz com que ele tenha numerosas ideias prévias e opiniões que resultam, de modo geral, úteis para compreender o comportamento da natureza, mas que competem na maioria das vezes com vantagem, com aquilo que é ensinado na escola. (POZO; CRESPO, 2009, p.191)

Estas concepções alternativas, muitas vezes sensoriais e enraizadas nos estudantes, explicam muito bem o comportamento das coisas ao seu redor no dia a dia, enquanto a concepção científica mais aceita para explicar alguns fenômenos é contra-intuitiva, cheia de simplificações e modelos não triviais, ou nas palavras de Pozo e Crespo (2009),

A física desenvolvida no ensino médio busca explicar e analisar o comportamento do mundo que nos rodeia, como e por que os corpos se movimentam, como funcionam os diferentes aparelhos e dispositivos, etc. Mas, para isso, precisa recorrer a representações idealizadas e simplificadas, bastante afastadas da realidade ou, pelo menos, daquilo que percebemos como nossa realidade. (POZO; CRESPO, 2009, p.191)

e completa, “contudo, essas simplificações, indiscutivelmente úteis para aprender física, estão bastante afastadas da realidade que o aluno percebe.” (POZO; CRESPO, 2009, p.191).

Para exemplificar algumas concepções alternativas comuns na área de física, podemos citar a ideia bastante aceita no senso comum de que é necessária uma força constante para manter um objeto em movimento. Esta ideia aristotélica sobre o movimento dos corpos, apesar de ser contrária o que é defendido hoje pela comunidade científica, explica muito bem o fato de que para empurrar um objeto, em um mundo repleto de atrito, é necessário aplicar uma força constantemente (origem sensorial). Outras concepções alternativas relacionadas com o conceito de força que diferem da concepção científica e aparecem constantemente são apresentados por Driver *et al.* (2004):

- se há movimento, há uma força agindo;
 - se não houver movimento, não há força agindo;
 - não pode haver uma força sem movimento;
 - quando um objeto está se movendo, existe uma força na direção de seu movimento;
 - um objeto em movimento para quando sua força se esgota;
 - um objeto em movimento tem uma força que o mantém em movimento;
 - o movimento é proporcional à força atuante;
 - uma velocidade constante resulta de uma força constante.
- (p. 134, tradução do autor¹²)

Além das concepções alternativas em relação ao conceito de força, existem inúmeras outras concepções alternativas nas diversas áreas do Ensino de Física já bastante conhecidas e catalogadas. Não apresentaremos todas elas aqui, mas nos pautamos em Driver *et al.* (2004), Pozo e Crespo (2009), Hestenes *et al.* (1998),

¹² Studies of pupils' ideas about the relationship between forces and motion have identified the following main ideas:

- if there is motion, there is a force acting;
- if there is no motion, then there is no force acting;
- there cannot be a force without motion;
- when an object is moving, there is a force in the direction of its motion;
- a moving object stops when its force is used up;
- a moving object has a force within it which keeps it going;
- motion is proportional to the force acting;
- a constant speed results from a constant force.

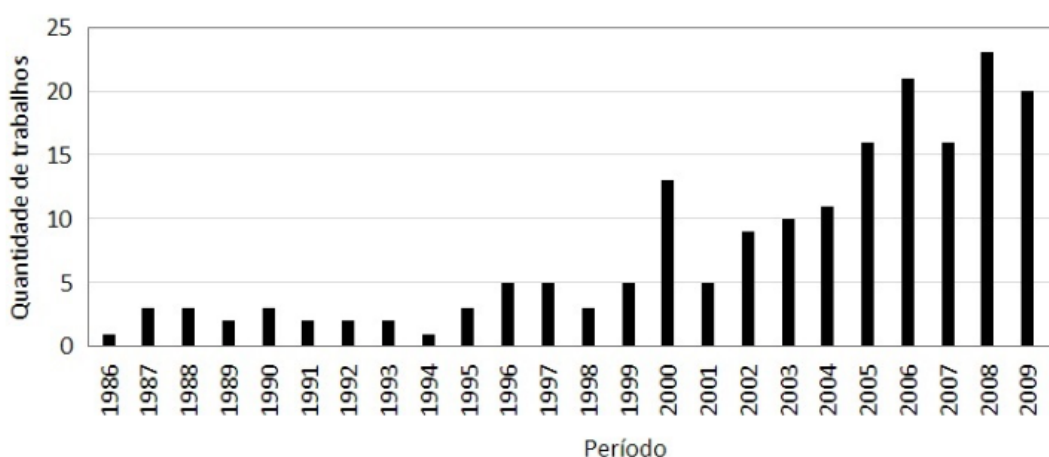
Andrade (1995), Yaguti e Gebara (2015) e Nakamura (2020).

Apesar de controversa, o uso das concepções alternativas é uma realidade em provas de larga escala como o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), pois a presença de concepções alternativas dos conceitos científicos influencia fortemente na resolução de exercícios, principalmente em candidatos menos preparados. Brito (2015) condena o uso das CA no ENEM, argumentando que elas induzem, desnecessariamente, o aluno ao erro, atuando como “pegadinhas”. Por outro lado, a matriz de referência do exame sugere que o candidato saiba:

H3 – Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas. (ENEM, 2009, p. 8)

A campo de estudo das concepções alternativas é um dos campos com maior destaque na área de ensino, inclusive de Física, principalmente depois dos anos 2000. Para mostrar a relevância do tema, Nakamura (2020) fez para sua dissertação de mestrado um levantamento da quantidade de trabalhos publicados nos principais periódicos no portal da CAPES e dissertações e teses sobre este assunto.

Gráfico 9: Dissertações e teses da área de Ensino de Ciências sobre concepções alternativas localizadas no Centro de Documentação em Ensino de Ciências (CEDOC).

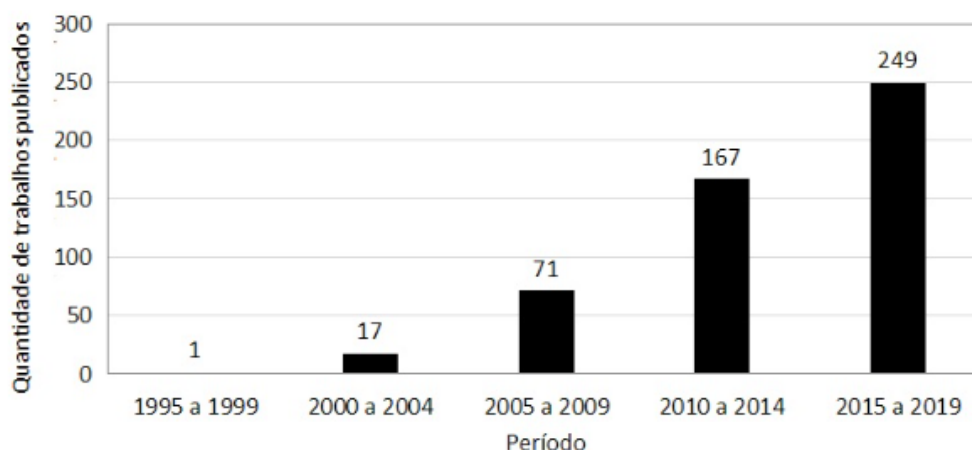


Fonte: Nakamura, 2020

Como podemos observar, a partir do ano 2000 houve um crescente na quantidade de pesquisas abordando as concepções alternativas no Ensino de Ciências, alcançando a média de 20 trabalhos por ano ao longo de 2006 a 2009. Esses dados sugerem um grande desenvolvimento dessa área de pesquisa no Brasil no

início dos anos 2000. O mesmo pode ser observado quando analisamos o levantamento dos livros e artigos em periódicos sobre este assunto.

Gráfico 10: Artigos e livros que abordam concepções alternativas no ensino de ciências publicados entre 1995 e 2019, localizados no Portal de Periódicos da Capes



Fonte: Nakamura, 2020.

Apesar do grande esforço e da extensa literatura acerca deste tema, Barroso *et al.* (2018) alertam:

(...) apesar de todo o esforço desenvolvido na área de pesquisa em ensino de física [sobre concepções alternativas] desde os anos 1980, houve pouco impacto dos resultados no processo de aprendizagem. Mesmo com o conhecimento de que há dificuldades em modificar concepções presentes na estrutura cognitiva do aluno, os resultados são ainda muito impactantes e desanimadores. (BARROSO *et al.* 2018, p.32)

Em seu trabalho, os autores investigam as dificuldades na aprendizagem de Física sob a ótica dos resultados do ENEM. Em itens das provas de 2009 a 2014, eles identificaram concepções alternativas bastante assinaladas pelos candidatos sobre as temáticas: gravidade, força e movimento, atrito, força e pressão, temperatura e calor e ótica geométrica. Sobre as duas primeiras temáticas, por exemplo, os autores observaram que os candidatos assinalam alternativas contendo a concepções aristotélicas de gravidade e movimento, principalmente nos grupos menos favorecidos.

Ainda segundo Barroso *et al.* (2018) a escolha pelos estudantes de alguns desses distratores contendo concepções alternativas revela que conceitos básicos de mecânica, fenômenos térmicos e ótica geométrica não são aprendidos pela maioria dos concluintes do Ensino Médio. Este resultado evidencia que estes estudos não

estão chegando efetivamente na sala de aula e que estas concepções alternativas ainda se perpetuam nos estudantes.

Yaguti e Gebara (2015) também identificaram a presença de concepções alternativas em ondulatória nos itens de física. Segundo os autores, foi possível notar a presença de concepções alternativas entre os distratores dos itens que abordavam conceitos relacionados com ondulatória, onde foi possível detectar nos respondentes a presença de concepções alternativas como a de que ondas mais rápidas possuem maior área de cobertura (maior alcance); que radiações, independentemente do modo de utilização, são prejudiciais à saúde; ou que a intensidade de uma luz pode gerar consequências idênticas às causadas pela frequência da mesma.

Corroborando com estes resultados, Nakamura (2020) investigou as concepções alternativas sobre circuitos elétricos dos concluintes do Ensino Médio através dos itens do ENEM aplicados de 2009 a 2018. Neste período, a autora analisou 19 itens e verificou que as concepções alternativas, quando aparecem entre as alternativas do item atraem candidatos de todos os estratos sociais, o que segundo ela sugere uma deficiência no ensino aprendizagem deste conteúdo. Em seu estudo, a autora verificou ainda que candidatos de diferentes estratos sociais podem apresentar concepções alternativas diferentes para um mesmo item, o que mostra a influência cultural e o papel da escola na superação de algumas concepções, mas na criação de novas concepções não científicas também. Além disso, a pesquisa aponta que outros erros não relacionados a concepções alternativas também aparecem entre as respostas dos alunos a alguns itens, principalmente entre aquelas que exigem manipulações algébricas. Isso evidencia uma variedade de variáveis que influenciam no desempenho de um candidato na prova.

2.4.4 Taxonomia de Bloom Revisada e outras taxonomias

Outra dificuldade presente nos itens são os níveis de conhecimento e processos cognitivos que a resolução do item exige serem mobilizados para sua resolução. Espera-se que quanto mais profundo for o nível de conhecimento e/ou o processo cognitivo exigidos para a resolução do item maior será seu grau de dificuldade. Neste sentido, diferentes estudos buscam identificar padrões que possam ser associados aos itens de física do ENEM em que os alunos apresentam maior

dificuldade. É comum o uso de taxonomias já consolidadas na literatura para a classificação dos itens em exames de larga escala similares ao ENEM.

Taxonomia é uma espécie de “prateleira” na qual as “estantes” e os “nichos” contém elementos semelhantes. De maneira mais formal, taxionomia é um conjunto de categorias e níveis que se distribuem ao longo de um “continuum” (espectro). Quando nos referimos a uma taxonomia no campo da educação, o que estamos classificando são os objetivos educacionais. As descrições destes objetivos são feitas por meio de uma estrutura que contém um verbo que descreve um processo cognitivo e um substantivo que está relacionado a uma estrutura de conhecimento que o estudante deve obter ou um construto (ANDERSON *et al.*, 2001).

Nesta seção, apresentaremos duas taxonomias utilizadas na classificação de itens do ENEM, bem como alguns trabalhos que se utilizaram dessas taxonomias, assim como seus resultados e uma reflexão acerca da potencialidade desta classificação poder colaborar na compreensão dos principais motivos que podem induzir os estudantes a erros ou conduzi-lo a acertos nos itens de física do ENEM.

2.4.3.1 Taxonomia de Bloom Revisada (TBR)

Em 1948 um grupo de pesquisadores responsáveis por avaliações universitárias que acreditavam que seria possível criar uma estrutura comum para classificar os resultados obtidos em processos de avaliação da aprendizagem dos alunos entre as diversas universidades americanas (BLOOM, 1956). Neste sentido, esta classificação promoveria mudanças na estrutura dos itens dos testes das avaliações e nas ideias sobre esses testes, padronizando as avaliações de forma que fosse possível gerar relatórios comparativos entre os resultados das diversas universidades. Este grupo, liderado por Bloom, produziu um livro (*The Taxonomy of educational Objectives, The Classification of Educational Goas, Handbook I: Cognitive Domain*), que ficou conhecido como *Handbook*, que foi base para o desenvolvimento de testes e avaliações não apenas nos Estados Unidos, mas em diversos lugares do mundo (ANDERSON, *et al.*, 2001).

Marcelino e Recena (2012) comentam que a taxonomia proposta por Bloom também poderia apontar inúmeros erros nos campos da educação e da avaliação, já que ela serviria como linguagem comum para facilitar a comunicação entre os

avaliadores, base para determinar o significado específico de objetivos educacionais muito abrangentes e um meio de determinar coerência entre objetivos, atividades e avaliação.

A partir daí, passados 40 anos, muitas coisas mudaram no mundo e fez-se necessária uma revisão desta taxionomia. Neste sentido, Anderson *et al.* (2001) propuseram a taxonomia dos objetivos educacionais, ou taxonomia de Bloom revisada (TBR), criada em 1995 a partir de pressupostos teóricos da Taxonomia de Bloom, se apresenta como uma possibilidade de tornar o planejamento, a instrução e a avaliação das aprendizagens um processo mais operativo. Além disso, ela estrutura os processos cognitivos, que associados a determinados conteúdos auxiliam a evidenciar os objetivos educacionais (ANDERSON, *et al.*, 2001; AIRASIAN; MIRANDA, 2002).

Com o objetivo de facilitar e tornar transparente a comunicação dos professores sobre o que se pretende que seus alunos aprendam como resultado de suas aulas, ou seja, os objetivos educacionais, um grupo de pesquisadores formado por psicólogos, educadores, especialistas em currículos, especialistas em avaliação, etc., relacionaram aspectos do desenvolvimento cognitivo com competências e habilidade a fim de atribuírem uma nova dimensão a taxonomia original proposta por Bloom (BLOOM, 1956).

A TBR é formada por duas dimensões: dimensão do conhecimento e dimensão do processo cognitivo (ANDERSON, *et al.*, 2001). Esta taxonomia dos objetivos educacionais vem sendo aplicada para classificar itens em exames de larga escala, buscando identificar quais são os objetivos de cada item. Silva e Martins (2014) classificaram os itens de física do ENEM entre 2009 e 2013 de acordo com a TBR, que segundo os autores:

(...) relacionaram os aspectos de desenvolvimento cognitivo, competência e habilidade de forma a atribuírem característica bidimensional à taxonomia original de Bloom. A partir da definição de bidimensionalidade, foram combinados o tipo de conhecimento a ser adquirido (Dimensão do conhecimento) e o processo utilizado para a aquisição desse conhecimento (Dimensão do processo cognitivo). (SILVA; MARTINS, 2014, p.191)

Estas dimensões propostas por Anderson *et al.* (2001) foram traduzidas e organizadas por Ferraz e Belhot (2010) e são apresentados no trabalho de Silva e Martins (2014) que disponibilizamos aqui no Quadro 9.

Quadro 9: Dimensões do conhecimento na Taxonomia de Bloom Revisada (TBR)

Dimensões do conhecimento		
Categoria	Descrição	Subcategorias
Conhecimento efetivo	Relacionado ao conteúdo básico que o discente deve dominar a fim de que consiga realizar e resolver problemas apoiados nesse conhecimento. Nessa categoria, os fatos não precisam ser entendidos ou combinados, apenas reproduzidos como apresentados.	Conhecimento da terminologia; conhecimento de detalhes e elementos específicos.
Conhecimento conceitual	Relacionado à inter-relação dos elementos básicos num contexto mais elaborado que os discentes seriam capazes de descobrir. Elementos mais simples foram abordados e, agora, precisam ser conectados. Esquemas, estruturas e modelos foram organizados e explicados. Nessa fase, não é a aplicação de um modelo que é importante, mas a consciência de sua existência.	Conhecimento de classificação e categorização; conhecimento de princípios e generalizações; conhecimento de teorias, modelos e estruturas.
Conhecimento procedural	Relacionado ao conhecimento de “como realizar alguma coisa” utilizando métodos, critérios, algoritmos e técnicas. Nesse momento, o conhecimento abstrato começa a ser estimulado, mas dentro de um contexto único, e não interdisciplinar.	Conhecimento de conteúdos específicos, habilidades e algoritmos; conhecimento de técnicas específicas e métodos; conhecimento de critérios e percepção de como e quando usar um procedimento específico.
Conhecimento metacognitivo	Relacionado ao reconhecimento da cognição em geral e à consciência da amplitude e da profundidade de conhecimento adquirido sobre um determinado conteúdo. Em contraste com o conhecimento procedural, esse conhecimento é relacionado à interdisciplinaridade. A ideia principal é utilizar conhecimentos previamente assimilados (interdisciplinares) para a resolução de problemas e/ou a escolha do melhor método, teoria ou estrutura.	Conhecimento estratégico; conhecimento sobre atividades cognitivas, incluindo contextos preferenciais e situações de aprendizagem (estilos); autoconhecimento.
Dimensões dos processos cognitivos		
1. Lembrar: Relacionado a reconhecer e reproduzir ideias e conteúdos. Reconhecer requer distinguir e selecionar uma determinada informação, e reproduzir ou recordar está mais relacionado à busca por uma informação relevante memorizada. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: reconhecendo e reproduzindo.		
2. Entender: Relacionado a estabelecer uma conexão entre o novo e o conhecimento previamente adquirido. A informação é entendida quando o aprendiz consegue reproduzi-la com suas “próprias palavras”. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: interpretando, exemplificando, classificando, resumindo, inferindo, comparando e explicando.		
3. Aplicar: Relacionado a executar ou usar um procedimento numa situação específica e pode também abordar a aplicação de um conhecimento numa situação nova. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: executando e implementando.		
4. Analisar: Relacionado a dividir a informação em partes relevantes e irrelevantes, importantes e menos importantes e entender a inter-relação existente entre as partes. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: diferenciando, organizando, atribuindo e concluindo.		
5. Avaliar: Relacionado a realizar julgamentos baseados em critérios e padrões qualitativos e quantitativos ou de eficiência e eficácia. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: checando e criticando.		
6. Criar: Significa colocar elementos junto com o objetivo de criar uma nova visão, uma nova solução, estrutura ou modelo utilizando conhecimentos e habilidades previamente adquiridos. Envolve o desenvolvimento de ideias novas e originais, produtos e métodos por meio da percepção da interdisciplinaridade e da interdependência de conceitos. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: generalizando, planejando e produzindo.		

Fonte: Adaptado de Ferraz e Belhot (2010) apud Silva e Martins (2014).

Outra forma de representar estas dimensões é proposta por Heer (2012) que sugere ao unir as duas dimensões em um único infográfico apresentando a composição apresentada na Figura 4 para as intersecções das dimensões, com exemplos para cada uma das intersecções.

Figura 4: Processos cognitivos x conhecimento: níveis de aprendizagem de acordo com a taxonomia de Bloom revisada (TBR).



Fonte: HEER, R. apud IOWA State University, 2012.

Silva e Martins (2014) sugerem, por exemplo, que dentre os itens de Física das provas de Ciências da Natureza do ENEM de 2009 a 2013 na dimensão do conhecimento, o conhecimento conceitual é o mais cobrado na prova (56%), seguido pelo conhecimento procedural (31%), e, entre os processos cognitivos, destacam-se entender (49%) e aplicar (23%). Além disso, destacam que nenhum item da prova consegue avaliar processos cognitivos mais profundos do tipo criar, nem conhecimento no nível metacognitivo, o que é razoável para uma prova do tipo múltipla escolha, em que o candidato é exposto a algumas alternativas na hora de responder o item. Este resultado está alinhado com os resultados apresentados por Marcelino e Recena (2012) que analisando a matriz de referência de química do ENEM verificam que o ENEM propõe um currículo centrado na aplicação e entendimento de métodos e procedimentos utilizados no mundo atual. Os autores também enfatizam que entender e lembrar são as dimensões mais privilegiadas no exame.

Os resultados apresentados sugerem que as questões do ENEM privilegiaram o nível de conhecimento conceitual, ou seja, os candidatos, além de dominarem os conteúdos básicos, devem fazer uma inter-relação destes conteúdos num contexto mais elaborado enquanto a dimensão do conhecimento efetivo foi menos privilegiada. Nessa dimensão, os conteúdos não precisam ser entendidos ou combinados, apenas reproduzidos como apresentados. Em relação aos processos de cognição, o nível mais privilegiado na TBR foi o entender. Neste nível de cognição, os candidatos devem estabelecer conexão entre o novo e o conhecimento previamente adquirido. Devem ser capazes de interpretar, classificar, inferir e comparar para poder chegar às respostas das questões do exame. Porém, o que se observa é uma fraca ou inexistente correlação entre o acerto no item e o seu nível taxionômico.

Para exemplificar a ausência aparente de relação entre o nível taxionômico e a dificuldade do item, Villar *et al.* (2021) analisaram o desempenho nos itens de física ENEM de 2012 e 2013 e relacionaram com a classificação dos mesmos de acordo com a TBR proposta por Silva e Martins (2014) dos itens de Física das provas azuis de 2012 e 2013 de acordo com o Quadro 10. Observa-se que alguns itens apresentam mais de uma dimensão de processos cognitivos, mas nunca mais de uma dimensão de conhecimento.

Quadro 10: Itens de física do ENEM 2012 e 2013 (prova azul) classificadas na TBR.

Dimensão do conhecimento	Dimensões dos processos cognitivos					
	Lembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
Conhecimento efetivo / factual	Q64-2012, Q67-2012, Q48-2013, Q51-2013	Q67-2012, Q83-2012, Q52-2013, Q79-2013	Q67-2012, Q83-2012, Q52-2013, Q79-2013			
Conhecimento conceitual / princípios	Q47-2012, Q50-2012, Q71-2012, Q84-2012, Q88-2012	Q50-2012, Q55-2012, Q60-2012, Q71-2012, Q73-2012, Q74-2012, Q78-2012, Q84-2012, Q88-2012, Q46-2013, Q56-2013, Q57-2013, Q66-2013, Q72-2013, Q76-2013, Q82-2013	Q47-2012, Q55-2012, Q60-2012, Q71-2012, Q73-2012, Q78-2012, Q56-2013, Q57-2013, Q66-2013, Q72-2013, Q76-2013, Q82-2013, Q87-2013	Q74-2012, Q87-2012		
Conhecimento procedural	Q54-2012, Q72-2012	Q54-2012, Q61-2012, Q72-2012, Q77-2012, Q61-2013, Q65-2013, Q75-2013, Q83-2013, Q85-2013, Q89-2013	Q77-2012, Q65-2013, Q83-2013, Q85-2013, Q89-2013	Q61-2013, Q75-2013, Q85-2013	Q77-2012, Q85-2013	
Conhecimento metacognitivo						

Fonte: Adaptado de Silva e Martins (2014).

Inicialmente calculamos IFI dos itens das provas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ENEM aplicadas em 2012 e 2013 selecionados por Silva e Martins (2014). Os valores encontram-se na Tabela 4.

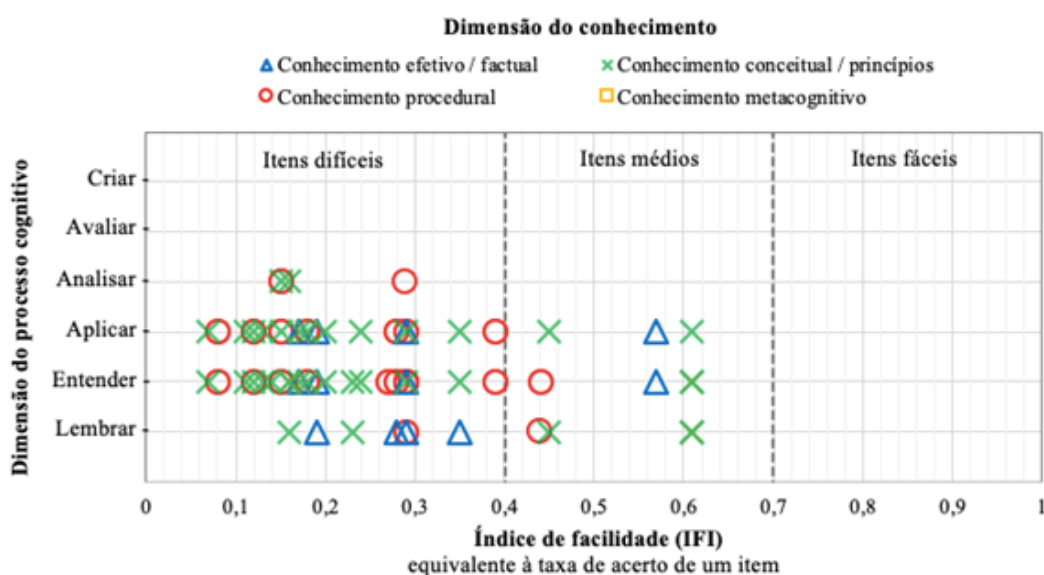
Tabela 4: Índice de Facilidade (IFI) dos itens de física do ENEM de 2012 e 2013.

Ano 2012 (1.089.116 candidatos concluintes do ensino médio)				Ano 2013 (1.190.007 candidatos concluintes do ensino médio)			
Item	IFI	Item	IFI	Item	IFI	Item	IFI
Q47	0,45	Q72	0,44	Q46	0,14	Q72	0,13
Q50	0,61	Q73	0,17	Q48	0,19	Q75	0,08
Q54	0,29	Q74	0,16	Q51	0,35	Q76	0,20
Q55	0,07	Q77	0,29	Q52	0,57	Q79	0,19
Q60	0,24	Q78	0,29	Q56	0,12	Q82	0,35
Q61	0,27	Q83	0,17	Q57	0,11	Q83	0,12
Q64	0,28	Q84	0,23	Q61	0,28	Q85	0,15
Q67	0,29	Q88	0,16	Q65	0,18	Q87	0,15
Q71	0,61			Q66	0,18	Q89	0,39

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos microdados do ENEM

A partir do Quadro 10 da classificação dos itens na TBR proposta por Silva e Martins (2014) e dos critérios de Bao e Redish (2001) para classificação da dificuldade do item, Villar *et al.* (2021) propõe o Gráfico 11. Nele, é possível observar a relação entre dificuldade dos itens e os diferentes níveis taxonômicos da TBR.

Gráfico 11: Gráfico do índice de facilidade (IFI) dos itens de física do ENEM 2012 e 2013 classificados segundo a TBR

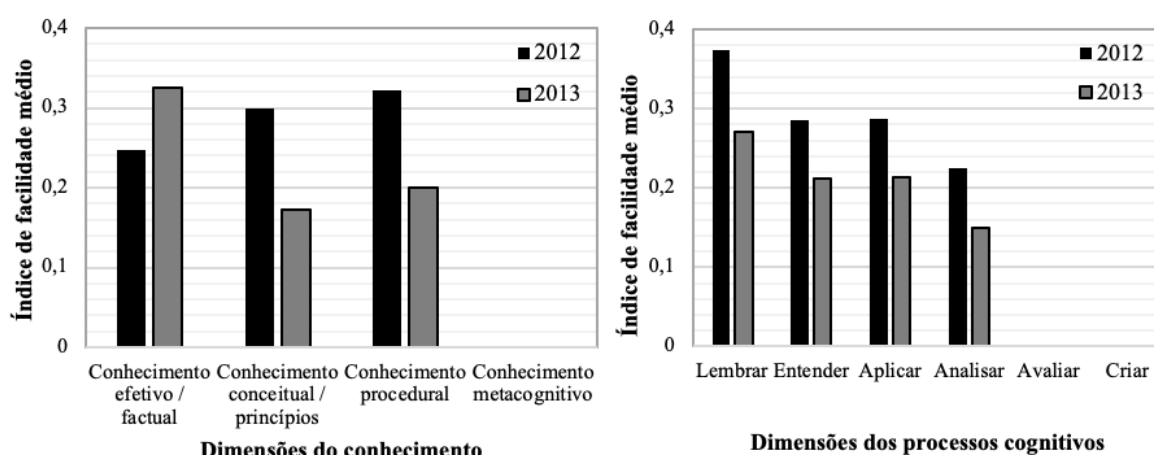


Fonte: Villar *et al.* (2021)

Verificamos que, independentemente do nível taxonômico, nenhuma questão de física se enquadra na região de “itens fáceis”. A maioria dos itens é classificada como difícil, havendo apenas alguns classificados como de dificuldade média. Embora possamos perceber que a amplitude de dificuldade dos itens de conhecimento efetivo/factual seja menor, observa-se que os itens das mais diversas dificuldades se distribuem entre os níveis taxonômicos. Portanto, o que se observa nestes casos é que, diferente do que esperávamos, existe uma fraca ou inexistente correlação entre a taxa de acerto do item e a dimensão do conhecimento na TBR.

Além disso, Villar *et al.* (2021) calculam o *IFI* médio para cada uma das dimensões da TBR (Figura 5). A partir desses dados, identificamos que parece existir uma relação entre a dimensão dos processos cognitivos e o *IFI* médio. Quanto mais alta a categoria da dimensão dos processos cognitivos, mais difíceis os itens tendem a ser. Já para o caso da dimensão do conhecimento, uma relação da mesma natureza não foi identificada.

Figura 5: Gráficos dos índices de facilidade médios dos itens segundo a Dimensão do conhecimento e as Dimensões dos processos cognitivos



Fonte: Villar *et al.* (2021)

Porém, o item com maior *IFI* (Q71-2012) e o item de menor *IFI* (Q55-2012) encontram-se no mesmo nível taxonômico. Observa-se também que umas das questões classificadas no maior nível taxonômico da prova (Q77-2012) apresenta mesmo *IFI* que uma das classificadas no menor nível taxonômico (Q64-2012) e é mais fácil que outra da mesma categoria (Q48-2013), o que corrobora com nossa leitura de que não é a categorização do item na TBR o fator mais influente no

desempenho dos candidatos no ENEM. Para além da categoria taxonômica, as outras variáveis qualitativas descritas aqui também podem influenciar no desempenho dos candidatos em cada item.

Podemos concluir, portanto, que apesar de parecer existir, em média, uma relação entre o *IFI* e a dimensão do processo cognitivo, a TBR não explica por si só o desempenho do candidato em um determinado item. Contexto, conteúdo específico de Física e a forma como o item é apresentado são fatores que também podem influenciar no desempenho do candidato. Desta forma, os processos cognitivos, por mais sofisticados que sejam, parecem influenciar menos no desempenho dos candidatos em alguns itens específicos do que outros aspectos. Por exemplo, itens que envolvem conceitos exclusivamente trabalhados na disciplina de física, com conceitos centrais voltados principalmente para especialistas e que costumam divergir do senso comum são considerados mais difíceis comparado a itens que, apesar de precisarem de conceitos de Física, coincidem a resposta com o senso comum.

Entendemos que a classificação por TBR contribui para os professores compreenderem os objetivos educacionais avaliados pelos itens. Porém, essa classificação não é suficiente para compreendermos os desempenhos dos candidatos, uma vez que as avaliações externas, como o ENEM, apresentam muitos itens avaliando conteúdos específicos, cujas especificidades devem ser consideradas para compreender o desempenho dos alunos.

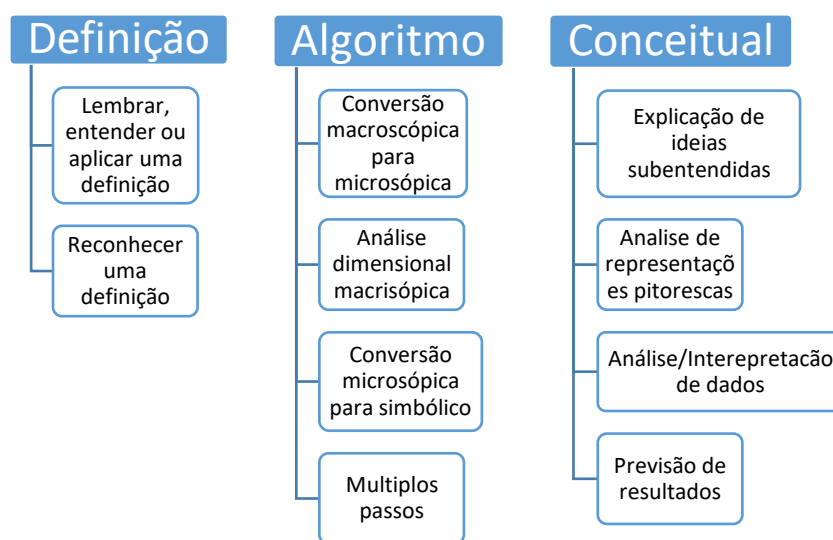
2.4.3.2 Taxonomia de Smith - Química

Além da TBR descrita anteriormente, outras taxonomias foram desenvolvidas, muitas vezes inspiradas na TBR para serem utilizadas na caracterização de itens em disciplinas específicas, como a Física ou a Química. A taxionomia desenvolvida por Smith, Nakhlehb e Bretzc (2010), por exemplo, foi desenvolvida para contemplar as principais ideias relacionadas aos conhecimentos e tipos de itens associados à Química. O que diferencia a taxionomia de Smith de outras taxionomias é sua abordagem que contempla a estrutura de um item e seus processos de resolução.

Marcom e Kleinke (2020) sugerem utilizar o primeiro nível de classificação dessa taxionomia, o qual trata de aspectos relacionados a domínios do conhecimento, conforme podemos ver na Figura 6. A taxonomia foi desenvolvida para classificar itens

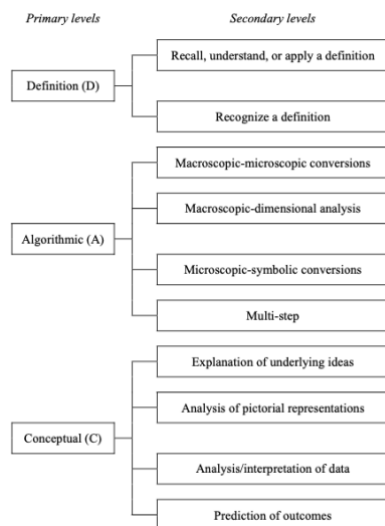
de Química e contém em uma de duas dimensões, aspectos relacionados aos conteúdos e ao Ensino de Química. Como estamos interessados em utilizar esta taxonomia para caracterizar itens de física, destacaremos apenas o primeiro nível. Este nível é composto por três formas de domínio do conhecimento: a Definição, o Algoritmo e o Conceitual (SMITH *et al.*, 2010).

Figura 6: Taxonomia de Smith Estrutura explicativa do nível primário e secundário.



Fonte: Smith *et al.* (2010), tradução do autor¹³

Os itens do domínio Definição são aqueles, nos quais, os alunos têm de lembrar, reconhecer e aplicar uma definição imediatamente para resolver um



determinado item (SMITH *et al.*, 2010). Marcom (2019) associa este domínio ao conhecimento Factual da TBR, já que ambos tratam de conceitos que necessitam da memorização das definições, usualmente trabalhadas em Química, e constituem as formas primárias de conhecimento.

Por outro lado, os itens do domínio Algoritmo são aqueles em que os alunos necessitam utilizar informações dentro de uma estrutura lógica de resolução que pode ser tanto matemática, quanto conceitual (SMITH *et al.*, 2010). Marcom (2019) entende que este domínio é semelhante ao conhecimento Procedimental da TRB.

O último domínio, o Conceitual, representa as questões nas quais os alunos são induzidos a utilizar uma forma de pensamento não-algorítmica (SMITH *et al.*, 2010), essa forma de conhecimento tem como característica a aplicação ou explicação de um determinado conceito. Marcom (2019) entende que este domínio está relacionado com o conhecimento Conceitual da TBR. Esse domínio Conceitual se diferencia do domínio Definição, pois para resolver problemas “conceituais” o aluno deve mobilizar um conjunto de saberes mais avançados e não apenas simples definições.

Tabela 5: Número de itens de Física presentes no Domínio Algoritmo e Conceitual na série temporal do ENEM.

ANO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Algoritmo	7	4	4	5	8	3	7	8	10
Conceitual	10	11	8	9	8	11	6	6	6

Fonte: Marcom, 2019

Dos 131 itens de Física dos anos analisados, contabilizaram 75 itens classificados como sendo do Domínio Conceitual, ao longo desses nove anos selecionados, e 56 classificados como sendo do Domínio Algoritmo. Segundo o autor:

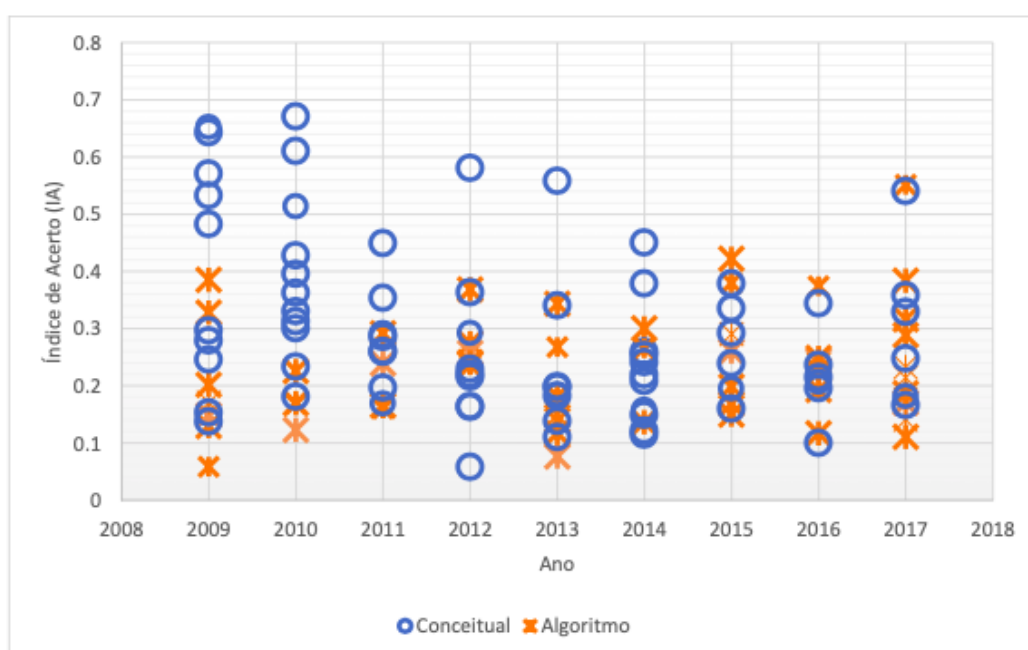
Esses números de itens classificados em cada Domínio indica uma predominância por questões mais conceituais, o que pode refletir uma preferência dos produtores do exame por esse tipo de conhecimento. (MARCOM, 2019, p. 83)

Além disso, ao observar a distribuição da classificação dos itens ao longo dos

anos ele conclui que:

(...) fica evidente não existir uma manutenção, na série temporal do ENEM, como relação ao número de itens de Física em cada domínio. É observado na primeira metade dessa série um maior número de itens no Domínio Conceitual, contudo após 2014 ocorre uma inversão nesses valores, não sendo conclusivo se existe uma predominância por parte do INEP de um tipo de item. (MARCOM, 2019, p. 83)

Gráfico 12: Distribuição das questões conceituais e algoritmo com seus respectivos índices de acertos.



Fonte: Marcom e Kleinke (2020).

Marcom (2019) destaca que aproximadamente 67% dos itens analisados do Domínio Conceitual são considerados difíceis enquanto 82% dos itens do Domínio Algoritmo o que confirma empiricamente que um problema associado à manipulação algébrica em itens de física aumenta o nível de dificuldade. Identificamos pela análise do gráfico 12 que até 2015 os itens mais fáceis da prova eram associados ao domínio conceitual, mas que de 2015 a 2017 houve uma inversão nesta tendência.

Como podemos ver, apesar de, aparentemente, os itens conceituais apresentarem maior índice de acerto em relação aos itens do domínio algoritmo, não existe uma relação direta entre esta classificação e o índice de acerto. Este resultado associado aos demais resultados apresentados no subcapítulo 2.4, nos mostram que é impossível prever o desempenho dos candidatos nos itens de física em função de

características qualitativas isoladas, ou seja, para compreender o desempenho global nestes itens se faz necessária uma visão mais holística do processo, combinando-se diversas variáveis qualitativas do item. Para isso, utilizamos neste trabalho a análise multivariada para compreender o que leva o aluno a assinalar as alternativas em um item.

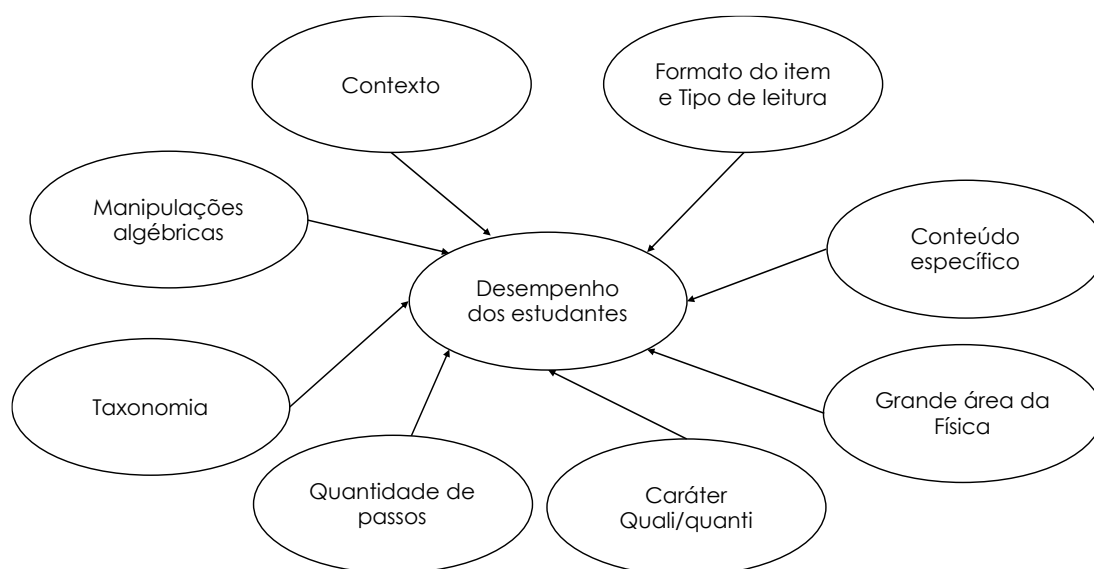
2.5 A Análise Fatorial Exploratória

Como vimos, diversos aspectos influenciam acertar ou errar um item, e este cenário não é diferente em um exame como o ENEM. Já vimos nas seções anteriores que a análise de um item pode ser feita a partir de diversos indicadores qualitativos e quantitativos para definir a dificuldade. Temos um conjunto de itens sobre diversos aspectos do conhecimento em física, bem como uma miríade de parâmetros a serem analisados para auxiliar na compreensão das relações entre as respostas e o Ensino de Física.

Vimos no subcapítulo 2.4 que apesar de relevantes para compreensão das dificuldades dos alunos na resolução dos itens de Física do ENEM, nenhum dos indicadores qualitativos determinados *a priori* explica de forma independente o desempenho dos candidatos nos itens da prova de Física do ENEM, ou seja, todos são condições necessárias, porém nenhum deles é suficiente para explicar o padrão de resposta dos alunos na prova. A Figura 7 ilustra esta ideia, ou seja, o desempenho do candidato em um item está relacionado com o formato com que o item é apresentado, o contexto, o tipo de leitura exigido para a resolução, o objeto de conhecimento, a classificação taxonômica, entre outros.

Olhar simultaneamente para todos estes aspectos e identificar dificuldades e características marcantes pode ser uma tarefa custosa e demorada. Nesse sentido, se faz necessário o uso de ferramentas estatísticas de análise multivariada, mais especificamente a Análise Fatorial Exploratória (AFE) para olhar, a partir das respostas dos alunos, os aspectos mais relevantes na hora de responder os itens

Figura 7: Variáveis que interferem no desempenho de um candidato em um item.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste sentido, Matos e Rodrigues (2019) apontam que a análise fatorial é uma técnica empírica, ou seja, se baseia puramente nas respostas do questionário como critério de agrupamento das variáveis. Entretanto, espera-se que os fatores encontrados ao final do processo façam sentido do ponto de vista teórico.

Vamos neste trabalho buscar olhar não para um único item, mas para os diferentes conjuntos de itens que podem ser obtidos a partir da prova. Estamos preocupados não mais na caracterização para Ensino de Física de um único item, mas sim para um conjunto de itens que poderão fornecer informações mais relevantes e robustas do que a análise de um único item. Para tratar o conjunto de milhares de respostas corretas ou erradas (padrão de respostas) e relacionar com diversas variáveis ao mesmo tempo é necessário o uso de ferramentas estatísticas de análise multivariada, ou seja, a

análise multivariada se refere a todas as técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre indivíduos ou objetos sob investigação. Assim, qualquer análise simultânea de mais do que duas variáveis pode ser considerada, a princípio, como multivariada. (HAIR et. al., 2009, p. 23).

Na busca por identificar o construto da prova de Física utilizamos a Análise Fatorial Exploratória (AFE), que tem por princípio propor grupos de itens de comportamento similar, reduzindo todas as perguntas de Física da prova (em torno

de 15 itens) em alguns poucos agrupamentos que são compreendidos de forma similar pelos candidatos. Essa técnica permite transformar um grande número de variáveis observáveis (mensuráveis, acerto ou erro no item) em um conjunto menor de variáveis latentes. As variáveis latentes indicam possíveis causas pelas quais as variáveis observáveis se relacionam entre si (PASQUALI, 2003). Em outras palavras: as informações sobre o construto da prova (formado pelas variáveis latentes) são reduzidas em poucos grupos que correspondem às variáveis latentes. A estrutura e as características das variáveis latentes são obtidas a partir de uma análise qualitativa sobre o conjunto de itens que formam cada uma das variáveis latentes.

A AFE é um dos procedimentos estatísticos multivariados mais utilizados em pesquisas vinculadas a questionários em vários domínios (psicologia, educação, sociologia, gestão pública, saúde, entre outros). O objetivo principal da AFE é reduzir a dimensão da análise e determinar o número e a natureza de variáveis latentes presentes em um questionário ou uma prova, ou seja, os fatores que explicam a covariância entre um conjunto de medidas observadas (itens do questionário ou prova). Estas medidas observadas são correlacionadas porque compartilham uma causa comum, um mesmo construto. A análise fatorial, portanto, busca avaliar a dimensionalidade de um conjunto de indicadores, obtendo o menor número de fatores interpretáveis menor que o número total de medidas necessárias de forma que seja possível interpretar as correlações entre eles (BROWN, 2006).

A análise fatorial pode ser utilizada para examinar os padrões ou relações latentes para um grande número de variáveis e determinar se a informação pode ser condensada ou resumida a um conjunto menor de fatores ou componentes. (HAIR et. al., 2009, p. 100)

Uma hipótese que deve ser feita para se utilizar a análise fatorial é que existe alguma estrutura subjacente no conjunto de variáveis escolhidas. No nosso caso é razoável supor que existam estruturas subjacentes (padrões ou relações latentes) que agrupem os itens de Física na prova de Ciências da Natureza do ENEM. Esta estrutura pode ser desde conteúdos (Objetos de Conhecimento) até mesmo forma ou contexto dos itens.

Podemos nos questionar se os itens apresentam um construto único (Física) ou se existe subdivisões que expliquem melhor as respostas que os alunos atribuem

aos itens. Poderíamos supor, por exemplo, que um determinado grupo de alunos responde com maior frequência corretamente itens que cobram conteúdos relacionados com a Física Mecânica, enquanto outro grupo responde corretamente os itens relacionados com a Física Elétrica e um terceiro grupo responde itens relacionados a Termodinâmica. Neste caso, a AFE geraria três fatores em que os traços latentes estariam relacionados com os conteúdos específicos e poderíamos medir o nível de conhecimento em cada um dos tópicos específicos indiretamente. Outra possibilidade seria os candidatos responderem os itens com contexto cotidiano de uma forma, itens com contexto técnico-científico de outra forma e itens com contexto histórico. Neste caso os traços latentes que geram os agrupamentos estariam relacionados com o contexto, independente do conteúdo. Uma terceira possibilidade seria supor que diferentes aspectos agrupem os itens e com isso os fatores gerados seriam formados por uma combinação de diferentes características.

A AFE é mais comumente utilizada em avaliações psicométricas de instrumentos de teste de múltipla escolha, principalmente em questionários (BROWN, 2006). Esta ferramenta deve ser utilizada quando não se possui evidências empíricas que expliquem como os itens de um questionário devem ser agrupados e quando se quer confirmar ou refutar o agrupamento em fatores de um questionário (DAMÁSIO, 2012). Além de determinar se todos os itens são indicadores do construto, isto é, quão fortemente cada item é relacionado a cada fator através da carga fatorial.

A AFE, que será utilizada neste trabalho, permite, portanto, identificar traços latentes (fatores) em um questionário, agrupando itens com resposta semelhante a fim de identificar os construtos presentes em um questionário.

O uso desta ferramenta é muito comum em questionários e testes psicométricos, mas pouco utilizada para analisar provas de múltipla escolha de conteúdos específicos. Nascimento (2018), por exemplo, utiliza-se da AFE para identificar os traços latentes no questionário socioeconômico do ENEM e separar os candidatos em sete grupos socioeconômicos distintos, para posteriormente analisar as respostas de cada grupo nos itens de Física, na busca por itens potencialmente não reprodutores de desigualdade entre os grupos. Com a intenção de caracterizar o perfil de professores em relação ao ensino de Estatística, Giordano (2017) utiliza-se AFE no questionário aplicado aos participantes de sua pesquisa, nos dados referentes à ordenação dos graus de importância de itens relacionados ao ensino de estatística.

Neste trabalho aplicamos a AFE nos itens de Física de 2012 a 2017 e buscamos integrar os indicadores qualitativos que interferem nas escolhas das alternativas (certas ou erradas) mais comuns ao conjunto dos candidatos, a partir do padrão de resposta fornecido pela AFE. A AFE propõe uma separação dos itens com resposta semelhante, permite identificar variáveis (itens) que “caminham juntas”, ou seja, apresentam a mesma estrutura subjacente, um mesmo construto, o que permite reagrupar os itens em um conjunto menor de indicadores, reduzindo assim a complexidade da análise.

Em análise fatorial, agrupamos variáveis por suas correlações, de modo que variáveis em um grupo (fator) têm elevadas correlações umas com as outras. Assim, para os propósitos da análise fatorial, é importante entender o quanto da variância é compartilhado com outras variáveis naquele fator versus o que não pode ser compartilhado. (HAIR *et. al.*, 2009, p.112)

Em suma, a AFE busca deixar os dados falarem por eles mesmos ao invés de determinar critérios *a priori* para classificar os itens e buscar a relação entre o critério e o desempenho. Com base no exposto até aqui, pretendemos utilizar a AFE nos itens de física do ENEM gerando agrupamentos de itens (fatores) com padrões de respostas comuns, identificar as características dos itens que fazem com que eles apresentem este padrão de resposta comum, utilizando para isso os indicadores qualitativos e quantitativos apresentados nas seções 2.3 e 2.4.

2.5.1. Uma visão quantitativa da AFE

A aplicação da AFE se dá a partir do uso de softwares estatísticos. No nosso caso, utilizamos o software SAS® 9.2 tanto na determinação dos índices quanto na análise fatorial exploratória. Ao aplicar a AFE em um conjunto de respostas de um questionário precisamos definir alguns critérios para determinar o número de fatores e também precisamos compreender os valores fornecidos no output do programa para interpretar os resultados qualitativamente. Dois valores calculados pelo programa para essas finalidades são o autovalor (variância) associado ao fator e a carga fatorial de cada item associada a cada um dos fatores.

Uma das principais informações numéricas fornecidas na saída do programa ao aplicar a AFE é o autovalor ou variância de cada um dos fatores. Este número está

associado a quanto aquele fator explica da variância total da prova. A variância representa a dispersão dos valores para uma variável em torno da média. Quando temos variáveis correlacionadas na matriz de correlação podemos dizer que elas compartilham uma variância entre si.

Hair *et al.* (2009) sugere que a AFE busca a melhor combinação linear de variáveis, ou seja, a combinação de variáveis originais (agrupamentos) que explica a maior parte da variância possível quando comparada a outras combinações.

Para obter os fatores, a AFE busca relacionar todos os itens com um primeiro fator, logo ele pode ser visto como o melhor resumo de relações lineares exibidas nos dados. Já o segundo fator é a segunda melhor combinação linear das variáveis, de forma que ela seja ortogonal ao primeiro fator. Este fator é obtido da variância remanescente depois que o primeiro fator é extraído. O terceiro fator seria a terceira melhor combinação e é obtido da variância remanescente do segundo fator e assim por diante, sempre gerando fatores independentes entre si. O processo segue obtendo fatores que vão explicar cada vez menos a correlação entre os itens até que o número de fatores se torne igual ao número de variáveis originais.

Como os últimos fatores extraídos explicam uma quantidade menor da variabilidade total dos dados, a AFE pode ser usada para definir em número menor de fatores que expliquem grande parte da variabilidade total das variáveis, reduzindo assim a dimensão da análise e tornando possível interpretar os fatores (variáveis latentes que não são diretamente mensuráveis) que estão relacionados às variáveis originais.

Diversos critérios podem ser utilizados na determinação do número de fatores extraídos e considerados na AFE para a redução da dimensão (HAIR *et al.*, 2009). Neste trabalho utilizamos o critério de Guttman-Kaiser ou critério do autovalor maior do que um. Este critério se baseia no fato de que cada fator deve explicar, pelo menos, a variância de uma única variável (LAROS, 2005). Assim, mantemos na análise apenas fatores com autovalor (variância) maior do que um. Com isso, a variância total analisada para cada prova e cada grupo de alunos corresponde a soma dos autovalores dos fatores com autovalor maior do que um. Este processo reduz a quantidade de dimensões analisadas, porém compreender os fatores neste momento pode ser uma tarefa difícil, uma vez que o primeiro fator está carregando a maior parte da variância sozinha, ou seja, muitos itens estão correlacionados entre si neste fator

e, portanto, não há um traço latente marcante que possa explicar cada um dos fatores.

Desta forma, para facilitar a interpretação dos fatores, ou seja, aumentar a carga fatorial (correlação) dos itens em cada um dos fatores, mantendo o número total de fatores e, portanto, mantendo a variância total explicada pelos fatores extraídos, passamos para a etapa de rotação dos fatores (MATOS; RODRIGUES, 2019). Hair *et al.* (2009) define a carga fatorial como a representação da correlação entre uma variável original e seu fator e, neste sentido, quanto maiores forem as cargas fatoriais dos itens em um fator, mais correlacionadas elas são entre si.

Hair *et al.* (2009) sugere que “Talvez a ferramenta mais importante na interpretação dos fatores seja a rotação fatorial” (p. 116). Existem basicamente duas formas de rotacionar os fatores: rotação ortogonal, na qual os eixos são mantidos ortogonais entre si e a rotação oblíqua quando não há restrições para a manutenção da ortogonalidade. Vamos nos restringir neste trabalho ao uso da rotação ortogonal, mais especificamente a rotação *Varimax*.

A rotação do tipo *Varimax* busca maximizar a carga fatorial de cada um dos itens em um único fator. Esta rotação torna a interpretação mais fácil, uma vez que quanto mais alta for a carga fatorial (próximas de -1 ou 1) maior a correlação daquele item com o fator, e quanto mais próximo de zero menor a correlação do item com aquele fator.

Após a rotação a interpretação do “primeiro fator” discutida anteriormente deixa de ser válida, uma vez que a variância total foi redistribuída pelos fatores de forma que a variância total fosse mantida, mas existisse mais correlação entre item-fator, facilitando assim a etapa de interpretação, já que cada fator estará mais fortemente correlacionado com um número menor de variáveis.

Feita a rotação busca-se identificar quais itens fazem parte de cada um dos agrupamentos (fatores) usando, para isso, a carga fatorial. A tarefa de interpretar a matriz de cargas fatoriais é central no processo da determinação dos fatores e, consequentemente, a estrutura latente. Cada item (variável) apresenta carga fatorial para todos os fatores e nesta etapa de interpretação das cargas o pesquisador define a qual fator o item pertencerá. Hair *et al.* (2009) ressalva que

Como uma carga fatorial é a correlação da variável e do fator, a carga ao quadrado é a quantia de variância total da variável explicada pelo fator. Assim, uma carga de 0,30 reflete aproximadamente 10% de explicação, e uma carga de 0,50 denota que 25% da variância é explicada pelo fator. A carga deve exceder 0,70 para que o fator explique 50% da variância de uma variável. Logo, quanto maior o valor absoluto da carga fatorial, mais importante a carga na interpretação da matriz fatorial. (p. 119)

Como critério de corte para definir se um determinado item pertence a um fator ou outro fator utilizamos o critério utilizado por Tabachnick *et al.* (1996) em que a carga fatorial deve apresentar valor mínimo de 0,32 para qualificar o item como representante da variável. Itens com carga fatorial próxima de 0,32 em mais de um item são descartados e analisados separadamente. Vale destacar que um valor negativo para a carga indica um impacto inverso no fator, ou seja, no nosso caso, alunos que acertam os itens de um determinado fator erram o item com carga fatorial negativa e vice e versa.

Desta forma, ao final deste processo temos definidos os agrupamentos de itens e passamos para a etapa de interpretação dos fatores. Buscamos identificar quais características os itens agrupados têm em comum, que possam ter levado os candidatos a responderem aquele conjunto de itens com um mesmo padrão e assim identificar os traços latentes ou construtos da prova.

2.5.2. Uma visão qualitativa da AFE

Após obtida uma solução fatorial aceitável na qual todos os itens têm uma carga significativa no fator ao qual ele foi agrupado, ou seja, estabelecidos os agrupamentos dos itens do questionário, faz-se necessário analisar e interpretar os itens que compõe cada fator, buscando características marcantes que possam ter feito com que os candidatos respondessem aqueles itens de acordo com um mesmo padrão de resposta.

Os itens com maior carga fatorial para o fator são considerados os mais importantes e que carregam a maior quantidade de características daquele fator, ou seja, tem maior influência sobre o nome do fator (rótulo). É necessário analisar todas as variáveis do fator, enfatizando aquelas com maior carga fatorial, buscando as características mais marcantes e comuns a todos os itens para determinar a estrutura latente que fez com que os respondentes do questionário respondessem aquele grupo

de itens com um mesmo padrão.

Apesar do fator ser gerado matematicamente pelo programa computacional, o rótulo não é determinado pelo programa. Isso significa que esta etapa carrega características subjetivas e o pesquisador deve ter uma base sólida para justificar o nome dado com base nas características dos itens. Hair *et al.* (2009) elenca algumas regras práticas que podem ser adotadas nesta etapa de interpretação dos fatores:

- Existe uma estrutura ótima quando todas as variáveis têm cargas altas em um único fator
- Variáveis com carga cruzada (cargas elevadas sobre dois ou mais fatores) são geralmente eliminadas a menos que sejam teoricamente justificadas ou o objetivo seja apenas redução de dados. (p. 123)

Para identificar as estruturas latentes dos fatores extraídos o pesquisador deve se valer de teoria ou pesquisas anteriores (MATOS; RODRIGUES, 2019) e, neste sentido, utilizamos critérios qualitativos e quantitativos na caracterização dos itens. Como critérios qualitativos utilizaremos os critérios de classificação dos itens de física encontrados na literatura, bem como as divisões clássicas da física no currículo escolar. Critérios qualitativos como tipo de leitura, contextualização do item (OLIVERA, 2014; KLEINKE, 2017; VILLAR; KLEINKE, 2018), presença de carga cognitiva estranha (CHAGAS, 2019), taxonomia (SILVA; MARTINS, 2014; MARCOM, 2019).

Nesta etapa é possível compreender se uma das classificações utilizadas nos trabalhos anteriores explica totalmente os agrupamentos ou se é necessário utilizar uma mistura das classificações dos diversos trabalhos para explicar os fatores. Os itens carregam diversas características e esperamos que aquela que for mais marcante e comum aos demais itens deverá agrupá-los.

3. METODOLOGIA

A aplicação da Análise Fatorial Exploratória (AFE) exige do pesquisador que o mesmo tenha teorias ou conhecimentos prévios sobre os possíveis agrupamentos gerados para que seja possível sua interpretação e rotulação. Para conhecer as características dos itens que compõe cada um dos agrupamentos e buscar características em comum entre os itens e marcantes que possam ser a causa (traço latente) do agrupamento gerado é necessário a caracterização de cada um dos 92 itens a partir dos índices e características quali-quantitativas apresentadas no Capítulo 2 deste trabalho.

Desta forma a metodologia é apresentada em cinco partes principais que descrevem cronologicamente os passos realizados para este trabalho:

- 3.1 – Itens de Física do ENEM analisados: Neste subcapítulo definimos o escopo do trabalho, ou seja, os critérios para selecionar os 92 itens de Física e os itens em si.
- 3.2 - Público analisado: Definimos aqui os recortes de grupo que foram considerados e que olhamos como cada um responde aos itens definidos em 3.1.
- 3.3 – Classificação dos itens de acordo com os índices: Descrição dos índices quantitativos e determinação dos critérios utilizados na classificação dos itens.
- 3.4 – Análise dos itens e determinação dos distratores: Com os itens selecionados, os índices quantitativos e as frequências de cada um dos grupos determinados buscamos determinar características como contextualização, taxonomia, tipo de leitura, objeto de conhecimento (conteúdo) entre outras características qualitativas do item para descrevê-los com a maior quantidade de informação possível. Além disso, a partir das escolhas dos candidatos (frequência) em cada uma das alternativas buscamos aferir possíveis caminhos que levaram os alunos a assinalar alternativas erradas (distratores). Este resultado encontra-se na íntegra no Apêndice E deste trabalho.
- 3.5 – Análise Fatorial Exploratória e determinação dos construtos da prova: Neste subcapítulo descrevemos como foi realizada a AFE e a determinação dos construtos da prova a partir dos fatores gerados.

3.1 Itens de Física do ENEM: Escopo do trabalho

Consideramos neste trabalho as provas do ENEM nos anos de 2012 a 2017, sendo que estamos interessados apenas nos itens de Física presentes nas provas de Ciências da Natureza destes anos. A identificação dos itens que compõe o corpus deste trabalho foi feita através da classificação por pares, na qual dois especialistas buscaram as questões que versavam sobre Física como temática principal. Foram selecionados para os trabalhos apenas os itens que apresentaram concordância de ambos os especialistas. Além disso consultamos trabalhos anteriores sobre Ensino de Física que analisam alguns dos itens selecionados neste trabalho como forma de validar a seleção (SILVA; MARTINS, 2014; RINALDI, 2017; KLEINKE, 2018; VILLAR; KLEINKE, 2018; SPAZZIANI, 2019; MARCOM, 2019; NASCIMENTO, 2019; RUBINI, 2019; NAKAMURA, 2020). Foram considerados os itens presentes no Quadro 11, totalizando 92 itens.

Quadro 11: Itens de Física das provas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ENEM aplicadas entre 2012 e 2017.

Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Caderno	Azul	Azul	Azul	Azul	Azul	Amarelo
Itens	Q47	Q46	Q46	Q49	Q47	Q91
	Q50	Q48	Q50	Q50	Q49	Q93
	Q54	Q52	Q55	Q53	Q54	Q97
	Q55	Q57	Q57	Q57	Q55	Q99
	Q60	Q61	Q62	Q63	Q57	Q101
	Q61	Q65	Q64	Q64	Q59	Q103
	Q64	Q66	Q66	Q65	Q63	Q108
	Q67	Q72	Q67	Q68	Q66	Q111
	Q71	Q75	Q68	Q70	Q74	Q113
	Q72	Q76	Q72	Q75	Q77	Q123
	Q73	Q79	Q76	Q79	Q82	Q124
	Q74	Q82	Q82	Q82	Q84	Q125
	Q77	Q83	Q84	Q85	Q86	Q127
	Q78	Q85	Q87	Q86	Q88	Q130
	Q83	Q87	Q90	Q88		Q134
	Q84	Q89				
	Q88					
Total Ano	17	16	15	15	14	15
Total Geral	92					

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para evitar fraudes, o INEP disponibiliza as mesmas questões para candidatos próximos, em diferentes ordens. Estes distintos cadernos são indicados por cores (azul, amarelo, rosa, braço e cinza). A numeração dos itens que aparece no Quadro 11 é referente ao caderno do ENEM que adotamos na identificação dos itens de física (Azul de 2012 a 2016 e Amarelo em 2017). Para que as respostas de todos os candidatos de todos os cadernos fossem consideradas no tratamento dos dados alinhamos os resultados de todos os candidatos aos cadernos de referência utilizando o software SAS® 9.2.

Dos 45 itens de Ciências da Natureza, observa-se uma incidência de, em média, 15 itens de Física, ou seja, um terço da prova, conforme o esperado. Os outros dois terços da prova são compostos por itens prioritariamente de Química e Biologia. A partir da seleção dos itens de Física identificados foram calculados os índices quantitativos Índice de Facilidade do Item (*IFI*), Índice de Concentração do Item (*ICI*) e Índice de Discriminação do item (*IDI*) para cada ano analisado no recorte de candidatos analisado. Além disso, foi feita a caracterização qualitativa de cada um dos itens, para posteriormente aplicar a AFE.

3.2 Público analisado

A amostra de respondentes do Enem utilizada no presente trabalho foi constituída dos estudantes que realizaram a prova e que estavam concluindo o Ensino Médio no ano do exame. Além de estarem concluindo o Ensino Médio, restringimos nossa análise àqueles que estiveram presentes nos dois dias de prova, não tiveram nem a redação, nem as provas objetivas anuladas. Esse recorte considera todos os tipos de redes escolares e de todas as regiões do Brasil representando aproximadamente 50% de todos os concluintes do Ensino Médio brasileiro (INEP, 2020).

Tabela 6: Quantidade N de indivíduos considerados na análise nos grupos considerados.

Ano	Concluintes do Ensino Médio	EF	EM	ES
2012	1.089.116	123.397	159.484	93.415
2013	1.190.007	135.859	176.021	100.701
2014	1.229.283	142.902	189.164	104.596
2015	1.254.330	123.397	159.484	93.415
2016	1.291.946	62.481	214.612	107.315
2017	1.167.212	53.577	203.285	108.200
Total	7.221.894	641.613	1.102.050	607.642

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos microdados do ENEM.

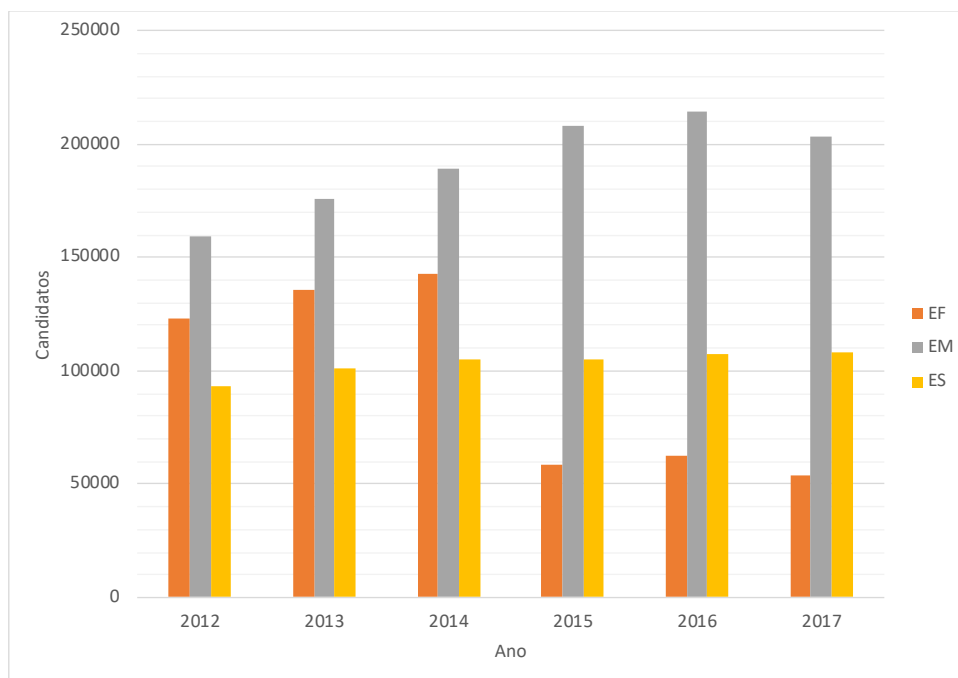
Uma das buscas do presente trabalho é analisar o impacto das desigualdades no desempenho do ENEM que podem estar associados às diferenças de Capital Cultural das famílias dos candidatos. Para averiguar a influência do capital cultural no desempenho dos candidatos, utilizamos como *proxy* a escolaridade dos pais dos candidatos e separamos os candidatos em três grupos familiares:

- Ambos os pais com ensino fundamental completo (EF);
- Ambos os pais com ensino médio completo (EM) e;
- Ambos os pais com, pelo menos, ensino superior completo (ES).

Apresentamos na Tabela 6 o número de candidatos considerados que compõe cada um dos grupos analisados. A distribuição dessas três categorias em função dos anos analisados pode ser vista no gráfico 13.

Conforme podemos observar, a maioria dos candidatos concluintes do Ensino Médio são do grupo EM, ou seja, têm pais com Ensino Médio completo em todos os anos analisado. Observa-se ainda que há um pequeno acréscimo da quantidade de alunos cujos pais têm Ensino Superior e um decréscimo daqueles que os pais têm apenas ensino fundamental, a partir do ano de 2015, o que pode estar associado às políticas públicas do ENEM de certificar o Ensino Médio entre 2010 e 2016, além dos programas REUNI e PROUNI que ampliaram o acesso ao Ensino Superior.

Gráfico 13: Quantidade de alunos concluintes do Ensino médio que prestaram o ENEM e tem ambos os pais com ensino fundamental completo (EF), ensino médio completo (EM) e ensino superior completo (ES) nos anos de 2012 a 2017.



Fonte: Produzidos pelo autor a partir dos microdados do ENEM.

3.3 Classificação dos itens de acordo com os índices

Determinado o objeto de estudo (92 itens de física do ENEM de 2012 a 2017) e o público analisado (concluintes do Ensino Médio e os grupos EF, EM e ES), iniciamos a determinação dos índices descritos em 2.3. A primeira etapa foi determinar a frequência de respostas nas alternativas pelos distintos grupos.

A partir das respostas corretas é possível determinar o IFI pela razão entre os candidatos que assinalaram a alternativa certa no item e o total de candidatos, ou seja, $IFI = \frac{n_c}{N}$, onde n_c é o número de candidatos que escolheram a alternativa correta e N o número total de candidatos que responderam o item.

Para o cálculo do IDI , é necessário determinar o número de itens que cada candidato acertou e separá-los em dois grupos de acordo com sua pontuação:

- O grupo superior (IFI_{SUP}), formado pelos 27% dos participantes com maior nota nos itens de física;

- O grupo inferior (IFI_{INF}), formado pelos 27% dos participantes com menores pontuações nos itens de física;

Em seguida são calculadas as médias para o grupo superior (IFI_{SUP}) e inferior (IFI_{INF}) para cada um dos itens. O índice de discriminação é a diferença de notas médias entre os dois grupos, ou seja, $IDI = (IFI_{SUP}) - (IFI_{INF})$.

Com IFI e IDI determinados foi possível fazer uma primeira classificação dos itens quanto a dificuldade e poder discriminatório, sendo possível aferir informações sobre a pertinência dos itens no exame. Neste caso foram utilizados os limites de Bao e Redish (2001) para o IFI e de Rabelo (2013) para o IDI .

Por fim, além dos índices utilizados na TCT, optou-se por caracterizar os itens com mais uma qualidade quantitativa que representa a dispersão das respostas entre as alternativas. O ICI mede quão espalhadas estão as escolhas dos candidatos entre as alternativas e foi determinado através da relação

$$ICI = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5} - 1} \cdot \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^5 n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{5}} \right),$$

onde n_i é o número de candidatos que escolheu uma determinada alternativa.

A combinação deste índice com o IFI (ver seção 2.3.4.) pode revelar se os alunos optam pela alternativa correta ou por alguma das alternativas erradas com mais frequência, além de sugerir a existência de distratores fortes. O uso de ICI não é comum nas avaliações presentes nas escolas, seja por desconhecimento, seja pela dificuldade de sua determinação, seja pela dificuldade de sua interpretação. A fim de popularizar o uso deste índice e auxiliar o professor no diagnóstico de seus alunos com base nos resultados das avaliações, nos propusemos a desenvolver um aplicativo aberto utilizando o *Geogebra*®¹⁴.

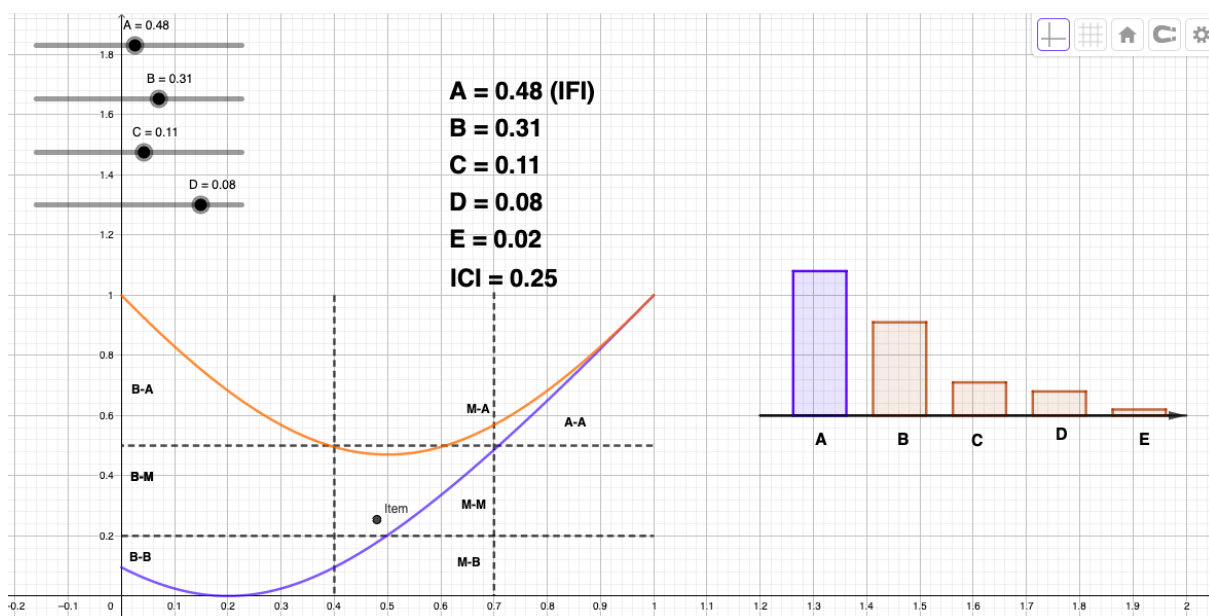
No aplicativo que está disponível para o público e pode ser acessado pelo link <https://www.geogebra.org/classic/uspwxhz>, o professor ou interessados podem rapidamente obter os índices IFI e ICI , além da classificação do item de acordo com as categorias propostas por Bao e Redish (2001). Para utilizar, basta o professor

¹⁴ <https://www.geogebra.org>

utilizar os cursores para assinalar a frequência de escolha (em porcentagem) de cada uma das alternativas, considerando sempre a alternativa A como correta e as demais como as alternativas erradas. Vale destacar que não colocamos um cursor para a alternativa E. Nesta alternativa é atribuído o valor que falta para completar 100% a soma das alternativas, de forma que minimize a chance de erros.

Na Figura 8 o valor apresentado na variável A corresponde ao *IFI* e o *ICI* é mostrado abaixo das cinco alternativas. Além disso, do lado direito é apresentado o gráfico de barras com as frequências nas alternativas para visualizar a distribuição das respostas no item. Por fim, no centro do aplicativo aparece o gráfico de *ICIxIFI* com a região possível delimitada entre as curvas de máximo e mínimo e os limites propostos por Bao e Redish (2001) com as classificações propostas. Dentro do gráfico é possível localizar o item, que se desloca de acordo com os valores de *IFI* e *ICI* calculados. No Exemplo da Figura 8 o item encontra-se na sub-região M-M, região caracterizada por conter itens em que os alunos estão em dúvida entre dois modelos, sendo o certo o mais assinalado.

Figura 8: Tela do aplicativo desenvolvido para cálculo de *IFI* e *ICI* e categorização dos itens de acordo com Bao e Redish (2001).



Fonte: Elaborado pelo autor. Disponível em: <https://www.geogebra.org/classic/uspwxhz>

Com os índices determinados para os itens, distribuímos nos gráficos de bolha

de IFI por ICI, com o IDI apresentado no diâmetro das bolhas e classificamos os itens de acordo com as regiões propostas por Bao e Redish (2001) apresentados no capítulo 5. Fizemos a contagem da quantidade de itens por região em cada uma das provas para cada um dos grupos analisados, buscando compreender como estes itens se deslocam por estas regiões em cada grupo, ou seja, como a escolaridade dos pais do candidato (*proxy* para Capital Cultural incorporado) pode influenciar no tipo de percepção, dificuldade e padrão de resposta dos itens.

Em suma, para fins de classificação dos itens neste trabalho, determinamos para o grupo dos concluintes do Ensino Médio os índices *IFI*, *IDI* e *ICI* e apresentamos os resultados em um gráfico de bolhas onde os três índices podem ser representados simultaneamente. Para os demais grupos determinamos apenas o *IFI* e o *ICI* e apresentamos os dados num gráfico de dispersão com os limites e regiões de Bao e Redish (2001) bem definidas, realizando a contagem dos itens em cada uma das sub-regiões para os diferentes grupos. Neste sentido, buscamos identificar em quantos itens o padrão de respostas dos candidatos é compatível com um modelo único, dois modelos e aleatório e analisamos os itens de Física de cada região, buscando caracterizar a prova para cada um dos grupos analisados.

3.4 Análise dos itens e determinação dos distratores

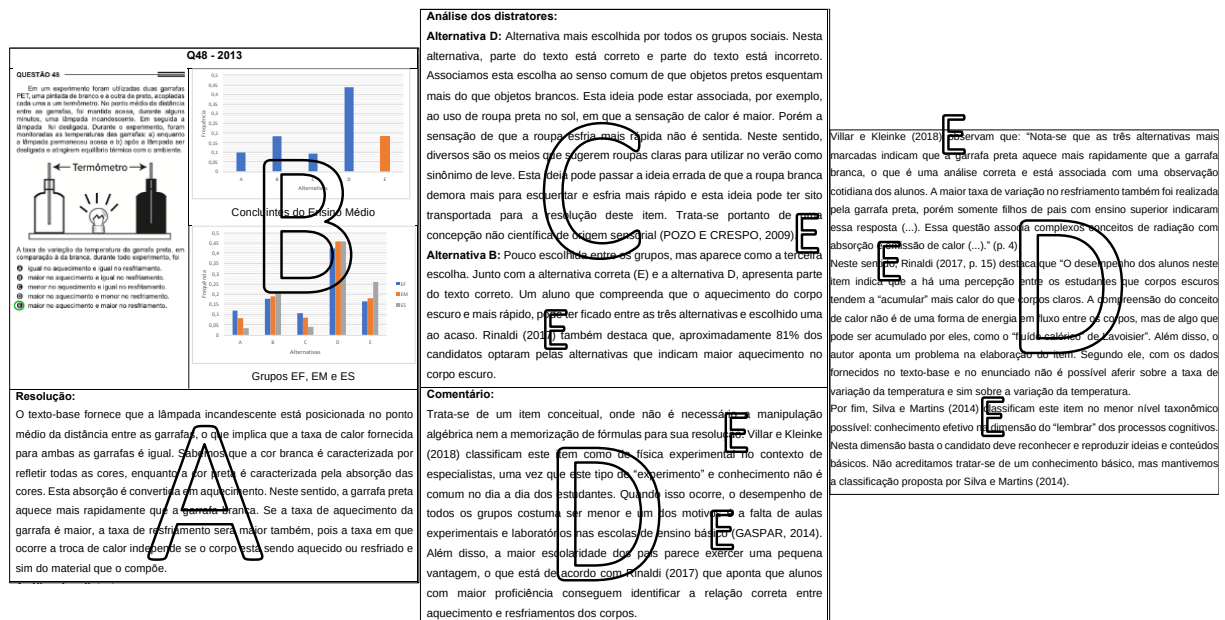
Além da classificação quantitativa, analisamos cada um dos itens individualmente, buscando além da resolução que levasse ao gabarito oficial divulgado pelo INEP, identificar características e classificações baseadas no referencial teórico presente em 2.4 e, principalmente, olhar para as alternativas erradas mais assinaladas pelos candidatos, na busca por compreender os distratores presentes entre as alternativas. Além do gabarito e dos possíveis distratores, buscamos na literatura trabalhos que já tivessem analisado os itens para compor a análise dos itens.

Com a frequência assinalada em cada alternativa pelos candidatos em mãos, foi realizada a resolução de cada um dos itens do ponto de vista de especialistas e um estudo dos possíveis caminhos de resolução que os candidatos poderiam tomar que os levasse a assinalar um distrator com alta frequência, pois entendemos que

compreender os erros dos candidatos nos fornece mais informações do que os índices isoladamente. Esse tipo de análise utilizado pelo grupo de pesquisa tem como hipótese o fato de os distratores apresentados em cada item refletir possíveis concepções alternativas, erros matemáticos durante a resolução da situação problema proposta ou até textos e imagens que induzam sua escolha no item (MARCOM, 2019; SPAZZIANI, 2019; KLEINKE, 2017; CHAGAS, 2019; BANISALAMEH, 2017). Esta hipótese é baseada no guia do elaborador que prevê a presença destes “indutores” entre os distratores.

Esta análise e categorização dos itens foi utilizada posteriormente para interpretar os agrupamentos gerados por análise fatorial. Com as características dos itens bem definidas, os pesquisadores buscaram quais eram as características que eram comuns a todos os itens agrupados em um mesmo fator, mas que não aparecia (ou aparecia em segundo plano) nos outros fatores para a interpretação e nomeação de cada um dos fatores, como forma de compreender o construto do item.

Figura 9: Análise do item 48 da prova azul de 2013 exemplificando como foi realizada a análise dos itens neste trabalho. As letras A a E ilustram as regiões onde aparecem a A – Resolução comentada, B- Gráficos de frequências nos grupos analisados, C – Análise distratores, D – Comentário final com revisão bibliográfica e E – Referenciais teóricos.



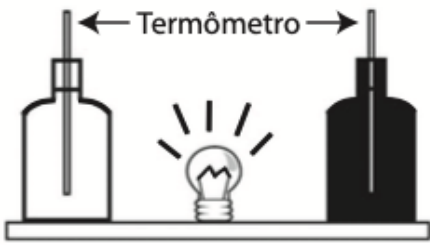
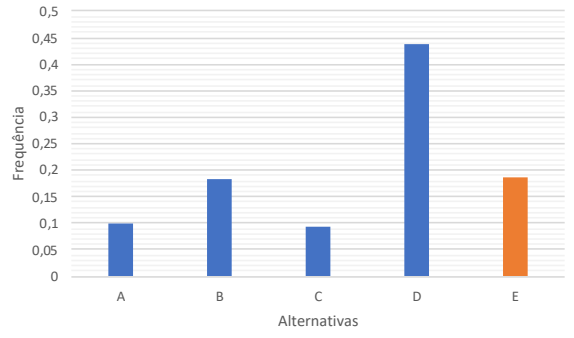
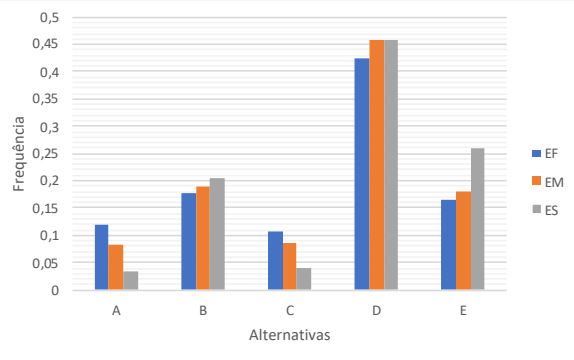
Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a identificação dos itens de Física, passa-se para a etapa de análise e classificação dos itens que segue a seguinte sequência (Figura 9):

- **Resolução e confecção do gabarito** (Figura 9 – A): Inicialmente resolvemos os itens detalhadamente, apresentando todos os passos da resolução e buscando possíveis caminhos que os alunos possam ter percorrido tanto na resolução correta, como na incorreta do item;
- **Gráficos de frequência das alternativas dos concluintes do Ensino Médio e dos grupos EF, EM e ES** (Figura 9 – B): para identificar os principais distratores em cada item, construímos o gráfico de frequência nas alternativas dos grupos analisados. Esta abordagem permite identificar quais são as alternativas que mais atraíram os alunos para posteriormente buscarmos possíveis explicações nos referenciais teóricos que embasem esta escolha;
- **Identificação e interpretação dos distratores** (Figura 9 – C): Após a resolução completa da resposta esperada e com o gráfico de frequência em mãos, é possível identificar quais são as alternativas mais escolhida pelos alunos. Nesta etapa fazemos a interpretação com base nos referenciais teóricos de concepções alternativas, dificuldades de aprendizagem, erros comuns, aprendiz x especialista, etc. para identificar os possíveis caminhos que os estudantes poderiam percorrer para assinalar aquela alternativa errada;
- **Comentário final** (Figura 9 – D): Revisão bibliográfica em trabalhos anteriores que analisaram os itens sobre diferentes perspectivas. Categorização do item de acordo com os referenciais utilizados e apresentação das diferentes classificações que este item já possui na literatura especializada;
- **Referenciais teóricos** (Figura 9 – E): Ao longo de todo o processo nos pautamos em autores que já analisaram o item e colocamos suas interpretações e abordagens como forma de complementar toda a análise realizada do item. Além disso, aparecem também os autores em que nos pautamos para fazer a interpretação dos distratores de cada item.

No Quadro 12 trazemos a análise do item Q48-2013 da Figura 9 tal como ele é apresentada apêndice E para ilustrar com um exemplo de análise.

Quadro 12: Análise do item Q48-2013 como exemplo da análise realizada nos 92 itens de física do ENEM presente no Apêndice E.

Q48 – 2013	
QUESTÃO 48 Em um experimento foram utilizadas duas garrafas PET, uma pintada de branco e a outra de preto, acopladas cada uma a um termômetro. No ponto médio da distância entre as garrafas, foi mantida acesa, durante alguns minutos, uma lâmpada incandescente. Em seguida a lâmpada foi desligada. Durante o experimento, foram monitoradas as temperaturas das garrafas: a) enquanto a lâmpada permaneceu acesa e b) após a lâmpada ser desligada e atingirem equilíbrio térmico com o ambiente.  A taxa de variação da temperatura da garrafa preta, em comparação à da branca, durante todo experimento, foi ☐ A igual no aquecimento e igual no resfriamento. ☐ B maior no aquecimento e igual no resfriamento. ☐ C menor no aquecimento e igual no resfriamento. ☐ D maior no aquecimento e menor no resfriamento. ☒ E maior no aquecimento e maior no resfriamento.	 Concluintes do Ensino Médio  Grupos EF, EM e ES
Resolução: O texto-base fornece que a lâmpada incandescente está posicionada no ponto médio da distância entre as garrafas, o que implica que a taxa de calor fornecida para ambas as garrafas é igual. Sabemos que a cor branca é caracterizada por refletir todas as cores, enquanto a cor preta é caracterizada pela absorção das cores. Esta absorção é convertida em aquecimento. Neste sentido, a garrafa preta aquece mais rapidamente que a garrafa branca. Se a taxa de aquecimento da garrafa é maior, a taxa de resfriamento será maior também, pois a taxa em que ocorre a troca de calor independe se o corpo está sendo aquecido ou resfriado e sim do material que o compõe.	
Análise dos distratores: Alternativa D: Alternativa mais escolhida por todos os grupos sociais. Nesta alternativa, parte do texto está correto e parte do texto está incorreto. Associamos esta escolha ao senso comum de que objetos pretos esquentam mais do que	

objetos brancos. Esta ideia pode estar associada, por exemplo, ao uso de roupa preta no sol, em que a sensação de calor é maior. Porém a sensação de que a roupa esfria mais rápida não é sentida. Neste sentido, diversos são os meios que sugerem roupas claras para utilizar no verão como sinônimo de leve. Esta ideia pode passar a ideia errada de que a roupa branca demora mais para esquentar e esfria mais rápido e esta ideia pode ter sido transportada para a resolução deste item. Trata-se, portanto, de uma concepção não científica de origem sensorial (POZO; CRESPO, 2009).

Alternativa B: Pouco escolhida entre os grupos, mas aparece como a terceira escolha. Junto com a alternativa correta (E) e a alternativa D, apresenta parte do texto correto. Um aluno que compreenda que o aquecimento do corpo escuro é mais rápido, pode ter ficado entre as três alternativas e escolhido uma ao acaso. Rinaldi (2017) também destaca que, aproximadamente 81% dos candidatos optaram pelas alternativas que indicam maior aquecimento no corpo escuro.

Comentário:

Trata-se de um item conceitual, onde não é necessário a manipulação algébrica nem a memorização de fórmulas para sua resolução. Villar e Kleinke (2018) classificam este item como de física experimental no contexto de especialistas, uma vez que este tipo de “experimento” e conhecimento não é comum no dia a dia dos estudantes. Quando isso ocorre, o desempenho de todos os grupos costuma ser menor e um dos motivos é a falta de aulas experimentais e laboratórios nas escolas de ensino básico (GASPAR, 2014). Além disso, a maior escolaridade dos pais parece exercer uma pequena vantagem, o que está de acordo com Rinaldi (2017) que aponta que alunos com maior proficiência conseguem identificar a relação correta entre aquecimento e resfriamentos dos corpos.

Villar e Kleinke (2018) observam que: “Nota-se que as três alternativas mais marcadas indicam que a garrafa preta aquece mais rapidamente que a garrafa branca, o que é uma análise correta e está associada com uma observação cotidiana dos alunos. A maior taxa de variação no resfriamento também foi realizada pela garrafa preta, porém somente filhos de pais com ensino superior indicaram essa resposta (...). Essa questão associa complexos conceitos de radiação com absorção e emissão de calor (...).” (p. 4)

Neste sentido, Rinaldi (2017, p. 15) destaca que “O desempenho dos alunos neste item indica que há uma percepção entre os estudantes que corpos escuros tendem a “acumular” mais calor do que corpos claros. A compreensão do conceito de calor não é de uma forma de energia em fluxo entre os corpos, mas de algo que pode ser acumulado por eles, como o ‘fluido calórico’ de Lavoisier”. Além disso, o autor aponta um problema na elaboração do item. Segundo ele, com os dados fornecidos no texto-base e no enunciado não é possível aferir sobre a taxa de variação da temperatura e sim sobre a variação da temperatura.

Por fim, Silva e Martins (2014) classificam este item no menor nível taxonômico possível: conhecimento efetivo na dimensão do “lembrar” dos processos cognitivos. Nesta dimensão basta o candidato deve reconhecer e reproduzir ideias e conteúdos básicos. Não concordamos que se trata de um conhecimento básico, mas mantivemos a classificação proposta por Silva e Martins (2014).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise minuciosa dos 92 itens de física contemplados neste trabalho está disponível no Apêndice E deste trabalho.

3.5 Análise fatorial exploratória e determinação dos construtos das provas

Utilizamos neste trabalho a análise fatorial exploratória (AFE) com o objetivo de revelar os construtos (traços latentes) entre os itens de Física das provas de 2012 a 2017 do ENEM, permitindo assim agrupá-los em um novo conjunto de fatores bem menor do que a quantidade originais de itens de cada prova quando observados individualmente (redução de dimensão). Partimos, portanto, da hipótese de que existe correlação entre os itens de Física e que é possível agrupar essas variáveis correlacionadas em fatores, associados a como os candidatos assinalam os itens do ENEM dentro de cada grupo social. Este fator pode representar um construto que não pode ser mensurado diretamente.

Para diminuir o número de variáveis observadas (dimensão) a AFE busca agrupar itens correlacionados por padrão de respostas gerando fatores que apresentam uma parte da variância total explicada. O primeiro passo após a aplicação

da AFE é a determinação do número de fatores que serão considerados. Para isso, utilizamos o critério de Guttman-Kaiser ou critério do autovalor maior do que um. Este critério se baseia no fato de que cada fator deve explicar, pelo menos, a variância que é explicada por uma única variável isolada (LAROS, 2005).

Como resultado da AFE, o programa entrega um primeiro fator que contém a maioria dos itens e a maior parte da variância explicada, porém de difícil interpretação. Com o objetivo de facilitar a interpretação e maximizar a variância das cargas fatoriais para cada item para um único fator, utilizou-se a rotação ortogonal, em que os fatores são mantidos não-correlacionados entre si, do tipo *Varimax*. Este método maximiza as cargas para cada fator, aumentando cargas altas e diminuindo cargas baixas (LAROS, 2005). Segundo DeVillis (2012), a rotação dos fatores é utilizada para facilitar a interpretação dos fatores, identificando os agrupamentos que os itens apresentam características mais similares entre si, sem alterar as propriedades matemáticas de cada fator

Para seleção de quais itens associados a cada fator, utilizou-se o critério adotado por Tabachnick *et al.* (1996) em que a carga fatorial deve apresentar valor mínimo de 0,32, em módulo, para qualificar o item como representante da variável. Vale destacar que um valor negativo para a carga indica um impacto inverso no fator.

Uma vez finalizada a etapa quantitativa da análise fatorial, passa-se para a etapa de interpretação qualitativa dos fatores, isto é, atribuir significado aos agrupamentos com base em características comuns dos itens e critérios pré-estabelecidos. A ideia é buscar compreender o porquê dos padrões de respostas e o que os itens têm em comum para que eles tenham uma alta correlação e estejam aglutinados em um mesmo fator.

Um exemplo hipotético disso seria se, ao aplicarmos AFE para os itens de Física de um determinado ano em um dos grupos analisados, obtivéssemos três fatores bem definidos após a rotação ortogonal *Varimax*. Ao olharmos para os itens que se agrupam em um dos fatores e identificarmos que todos eles, além de outras características, exigem análise e leitura de gráfico na resolução, num segundo fator encontram-se itens que necessitam de leitura e interpretação de dados em uma tabela e o último fator agrupou itens que exigem apenas leitura e interpretação de texto. Nesta situação poderíamos concluir que o primeiro fator mede a habilidade dos candidatos com gráficos, o segundo com tabelas e o terceiro a interpretação de texto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo do trabalho buscamos responder às perguntas de pesquisa apresentadas na introdução deste trabalho que retomamos aqui. Em negrito está a pergunta central e em seguida são apresentadas perguntas secundárias que buscamos responder neste trabalho.

- **O que os traços latentes dos agrupamentos dos itens de física por análise fatorial exploratória podem nos revelar sobre os construtos da prova de física do ponto de vista dos concluintes do ensino médio?**
- Há relação entre os índices quantitativos e os agrupamentos gerados pela AFE?
- O fator de maior covariância gerado por análise fatorial exploratória nos itens de Física do ENEM agrupa os itens que avaliam e selecionam ao mesmo tempo?
- Existe relação entre a escolaridade dos pais do candidato (*proxy* para capital cultural) e os agrupamentos dos itens de Física gerados por AFE?

Para isso, assim como dividimos a metodologia em cinco partes, dividimos os resultados em três partes. Na primeira parte classificamos os itens de Física de acordo com os índices de facilidade e discriminação (IFI e IDI) relacionados a Teoria Clássica dos Testes (TCT). Em seguida aplicamos classificação proposta por Bao e Redish (2001) que classifica os itens de acordo com o IFI e o índice de concentração (ICI). Esta classificação não é recorrente nos trabalhos sobre o ENEM e, neste sentido, desenvolvemos um aplicativo no *software Geogebra®* que apresentamos a usabilidade e as regiões e sub-regiões da matriz de Bao e Redish (2001) com suas interpretações, para então classificar os itens de física nesta matriz.

Na terceira parte, no subcapítulo 4.3, apresentamos os agrupamentos dos itens de física gerados por Análise Fatorial Exploratória (AFE) e suas interpretações. Para isso exemplificamos a análise nos anos de 2012 e 2017 e posteriormente apresentamos os agrupamentos dos demais anos. Por fim apresentamos os diferentes agrupamentos gerados quando aplicamos a AFE nos diferentes grupos analisados neste trabalho, separados pela escolaridade de seus pais.

4.1 Classificação dos itens de Física de acordo com IFI e IDI

Para caracterizar os itens de física do ENEM de 2012 a 2017 determinamos dois índices associados a Teoria Clássica dos Testes (TCT), índice de facilidade (IFI) e índice de discriminação (IDI) para as respostas dos concluintes do Ensino Médio. Nesta seção analisaremos um panorama geral dos itens de Física dos anos analisados, sendo que os índices de cada um dos itens estão disponíveis no Apêndice A.

Segundo Pasquali (2011), a seleção dos itens para elaboração uma prova deve ser feita de acordo com seus objetivos. Se o exame tiver como objetivo principal selecionar os alunos de maior proficiência, ou determinar um certo patamar de conhecimento que deve ser atingido, os itens devem apresentar o nível de dificuldade do patamar que se quer como critério de seleção.

(...) se for desejado selecionar somente os 30% melhores candidatos, os índices de dificuldade dos itens devem ser em torno de 30% ou menor, isto é, somente 30% dos sujeitos devem ter a probabilidade de acertar o item (PASQUALI, 2001, p. 127).

Associamos este objetivo de seleção aos exames vestibulares que têm como único objetivo a seleção dos alunos para vagas na universidade. Por outro lado, se a prova se propuser a avaliar diferentes níveis de habilidade, ela deve avaliar tanto os que possuem pouca ou muita habilidade. Pasquali (2011) sugere que, neste caso, a distribuição da dificuldade dos itens deve seguir aproximadamente uma distribuição normal em torno de 50%. Este segundo objetivo é compatível com o objetivo do ENEM, qual seja, o de “avaliar o desempenho do aluno ao término da escolaridade básica, para aferir o desenvolvimento de competências fundamentais ao exercício pleno da cidadania” (INEP, 2002, p. 7).

Na Tabela 7, apresentamos a quantidade de itens de física do ENEM de 2012 a 2017 em cada um dos níveis de dificuldade propostos por Bao e Redish (2001). Com base nesses dados, podemos aferir qual dos objetivos propostos pelo ENEM vem sendo priorizado.

Tabela 7: Itens dos itens de física classificados como fáceis, médios e difíceis para os concluintes do ensino médio

IFI	Concluintes do EM	
	Itens	Porcentagem
Difícil ($IFI < 0,4$)	77	83,7%
Médio ($0,4 \leq IFI \leq 0,7$)	15	16,3%
Fácil ($IFI > 0,7$)	0	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos notar que, do ponto de vista dos concluintes do Ensino Médio brasileiro, os itens de física do ENEM podem ser percebidos como sendo de dificuldade média ou difíceis, sendo a grande maioria (83,7%) dos itens classificados como difíceis. Estes dados corroboram autores como Marcom (2019), Nascimento (2020) e Nakamura *et al.* (2021), sobre o fato de que o objetivo de selecionar vem se sobressaindo em relação ao objetivo de avaliar o desempenho ao final da escolaridade básica.

Além do IFI, determinamos o IDI de todos os itens de física do ENEM de 2012 a 2017 bem como a quantidade de itens em cada uma das categorias propostas por Rabelo (2013).

Tabela 8: Itens de física classificados como deficientes, marginais, bons (ajustes) e bons de acordo com o IDI dos grupos analisados.

IDI	Concluintes do EM	
	Itens	Porcentagem
Deficiente ($IDI < 0,2$)	57	62,0%
Marginal ($0,2 \leq IDI < 0,3$)	16	17,4%
Bom – Ajustes ($0,3 < IDI \leq 0,4$)	14	15,2%
Bom ($IDI > 0,4$)	5	5,4%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em um exame classificatório como o ENEM, espera-se que a quantidade dos alunos que acertam um item seja maior para o grupo com melhor desempenho e, quanto maior for a diferença entre as porcentagens de acertos dos dois grupos, maior será a discriminação do item. Rabelo (2013) destaca que, em uma avaliação educacional, o poder de discriminação do item deve ser superior a 0,4 para ser classificado como um bom item no que se refere à discriminação. Porém, observa-se que para os concluintes do ensino médio 79,4% dos itens apresentam problemas, pois são classificados como deficiente ou marginal, dentro dos critérios do autor. Isso

significa que quase 80% dos itens de Física apresentam problemas em sua estrutura ou em sua compreensão por parte dos alunos. Neste sentido, apenas 20,6% dos itens apresentam uma discriminação adequada para os concluintes do ensino médio, sendo que apenas 5,4% dos itens podem ser considerados ajustados, sem necessidade de uma revisão mais cuidadosa dos itens.

4.2 Classificação dos itens de acordo com *IFI* e *ICI*.

Além dos índices da TCT, aplicamos também o Índice de Concentração do Item (*ICI*) proposto por Bao e Redish (2001), e associado ao *IFI*, para classificar de acordo com a matriz *ICIxIFI* proposta pelos autores. Desta forma, podemos identificar itens com fortes distratores, itens que os candidatos respondem de forma aleatória e itens sobre os quais os tópicos trabalhados no ensino básico brasileiro estão consolidados na grande maioria dos alunos.

Como forma de compreender as regiões do gráfico de dispersão dos itens proposto por Bao e Redish (2001), foi desenvolvido um aplicativo no *Geogebra*® para ilustrar o comportamento das respostas dos alunos na matriz *ICIxIFI*. Posteriormente utilizaremos o mesmo software em itens de Física do ENEM e analisamos a distribuição deles nas regiões.

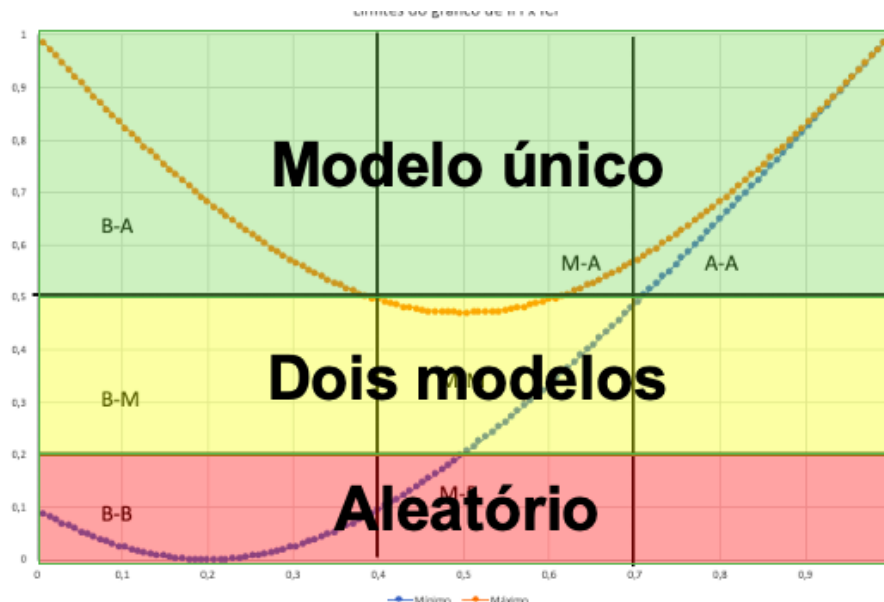
4.2.1 Aplicação da matriz *ICIxIFI* utilizando o *Geogebra*®

Utilizando o aplicativo desenvolvido com o software *Geogebra*® para este trabalho (<https://www.geogebra.org/classic/uspwxhz>), e apresentado em 3.3, realizamos a simulação do comportamento das respostas em itens pertencentes às regiões de Bao e Redish (2001). Em todas as simulações, consideramos a alternativa A como correta e os valores apresentados para cada uma das alternativas corresponde à porcentagem de escolha. Vale destacar que as nomenclaturas dadas às sub-regiões se referem à *IFI* – *ICI*, nesta ordem.

A porcentagem de escolha da alternativa A corresponde ao *IFI* e o *ICI* é calculado e apresentado ao lado. Existem sete sub-regiões no gráfico de *ICIxIFI* em que os itens podem estar contidos. Essas sub-regiões estão agrupadas em três

regiões associadas à qualidade das respostas, assim definidas: modelo único predominante, dois modelos e aleatório, conforme a Figura 10.

Figura 10: Regiões e sub-regiões de Bao e Redish (2001).



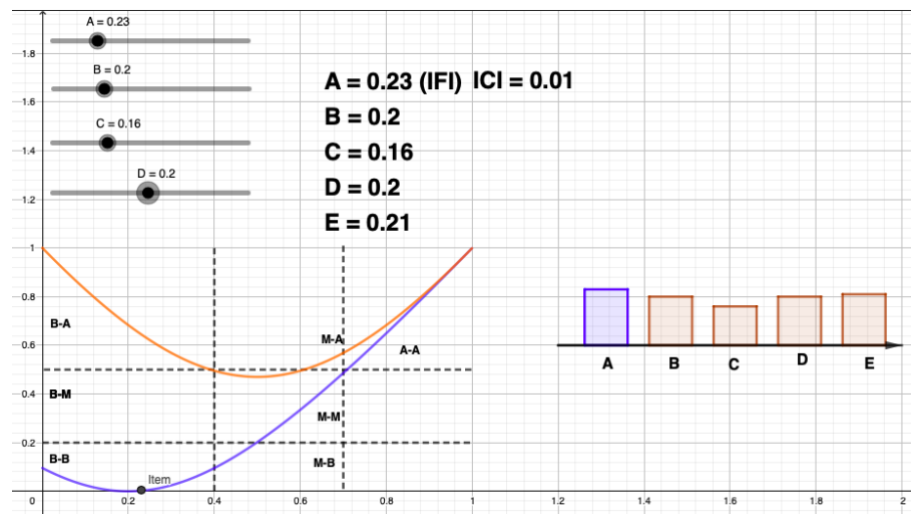
Fonte: Elaborado pelo autor.

Região da resposta aleatória

Quando a concentração das respostas é baixa, ou seja, $ICI < 0,2$, temos duas sub-regiões definidas por Bao e Redish (2001) como sendo regiões de respostas praticamente aleatórias. Temos nesta região duas possíveis sub-regiões onde os itens apresentam as seguintes características: B-B (Baixa facilidade e Baixa concentração) e M-B (Média facilidade e Baixa concentração).

A Figura 11 ilustra o comportamento típico da resposta dos candidatos em um item cujas respostas são compatíveis com a sub-região B-B. Como podemos destacar, além de uma baixa taxa de acerto, esta região é caracterizada por ter as respostas distribuídas quase que uniformemente entre as alternativas.

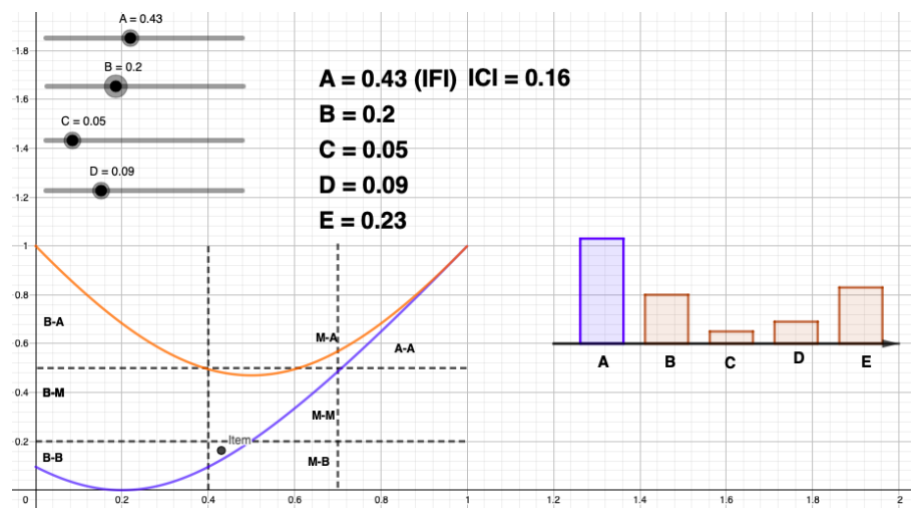
Figura 11: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região B-B.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na região do aleatório temos também a sub-região M-B que está ilustrado na Figura 12. Assim como a sub-região B-B, as respostas ao item nesta região estão espalhadas entre as alternativas, porém vemos agora uma preferência pela alternativa correta ($IFI > 0,4$).

Figura 12: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região M-B.



Fonte: Elaborado pelo autor.

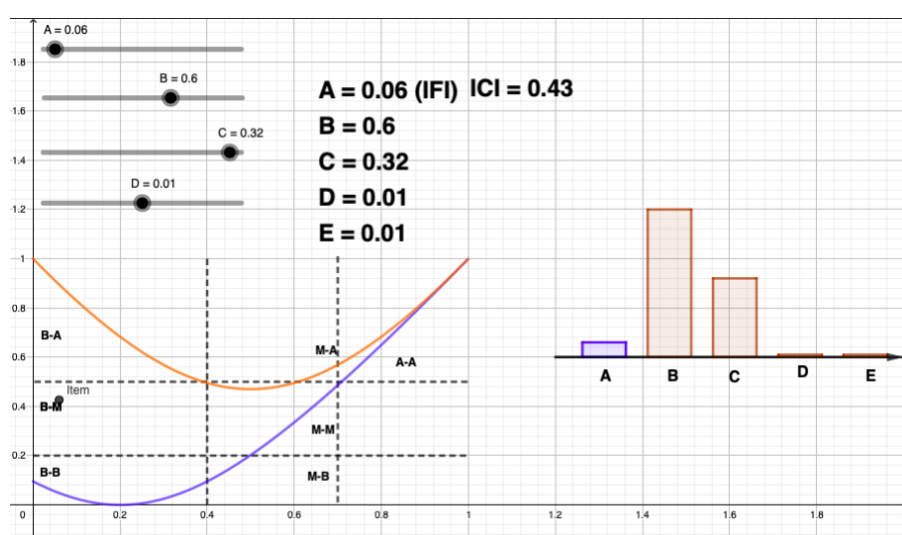
Região de duas respostas

A região dos itens com duas respostas principais é caracterizada por ter itens com média concentração ($0,2 < ICI < 0,5$) e é composta por duas sub-regiões (B-M e M-M).

A sub-região B-M é caracterizada por ter duas respostas (dois modelos) predominantes. Neste sentido, nesta região podem aparecer itens com respostas erradas corretas ou então dois modelos errados predominam.

A Figura 13 ilustra uma situação em que temos duas alternativas de respostas erradas predominantes. Vemos, neste caso, que a escolha dos alunos se concentra em duas respostas diferentes da correta. Esta situação sugere uma situação em que o tópico abordado não está consolidado pelos candidatos e que além disso, por exemplo, coexistem ao menos duas concepções alternativas que atraem os alunos nas alternativas.

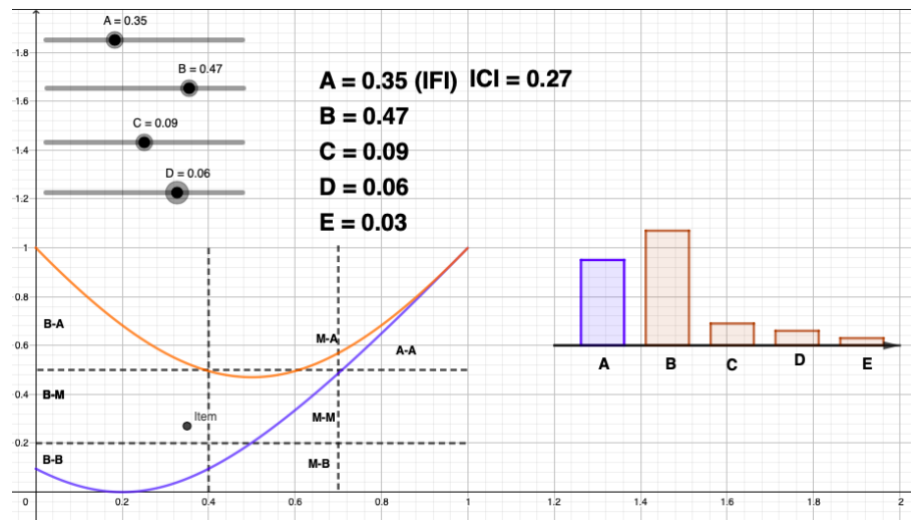
Figura 13: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região B-M com dois modelos errados prevalecendo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 14 ilustra a outra situação em que os candidatos têm preferência por dois modelos, porém agora com o errado predominando e o certo com menor frequência. Esta escolha pode ser feita quando um erro comum importante estiver presente nas alternativas.

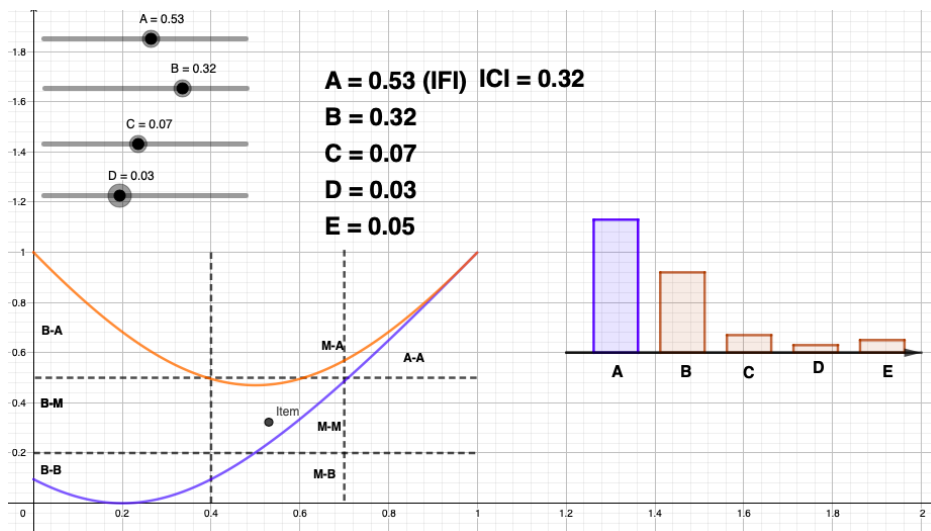
Figura 14: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região B-M com modelo errado e certo prevalecendo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na região de dois modelos temos ainda a sub-região M-M. Nesta região, assim como na região B-M, dois modelos predominam na escolha dos candidatos, porém agora a alternativa correta se sobressai sobre o outro modelo escolhido pelos alunos.

Figura 15: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região M-M.



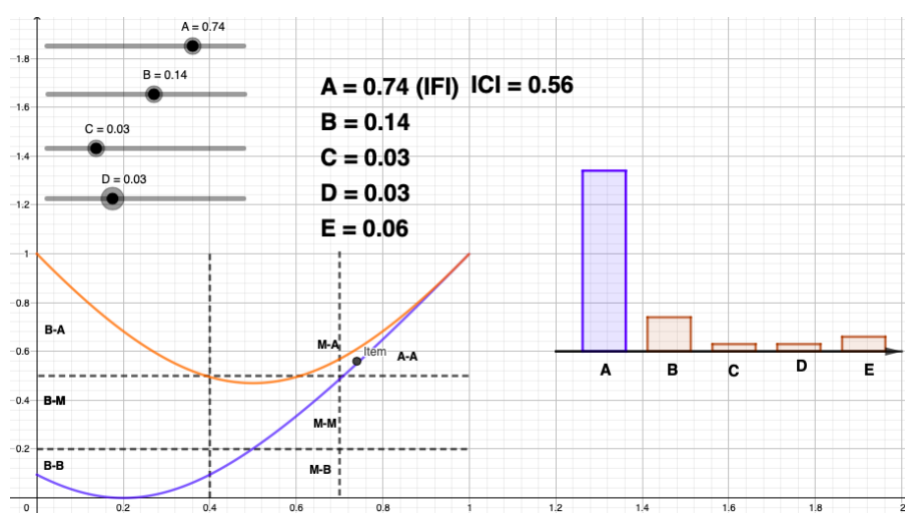
Fonte: Elaborado pelo autor.

Região de Modelo Único

A região de modelo único é caracterizada pelas respostas dos candidatos no item estarem concentradas principalmente em uma alternativa, certa (A-A) ou errada (B-A).

A sub-região A-A é caracterizada por conter itens que os alunos respondem predominantemente no modelo correto, não aparecendo nenhuma outra alternativa com frequência relevante. Esta região contém itens em que os tópicos abordados estão consolidados nos respondentes. Um exemplo de resposta ao item pertencente a esta região é apresentado na Figura 16.

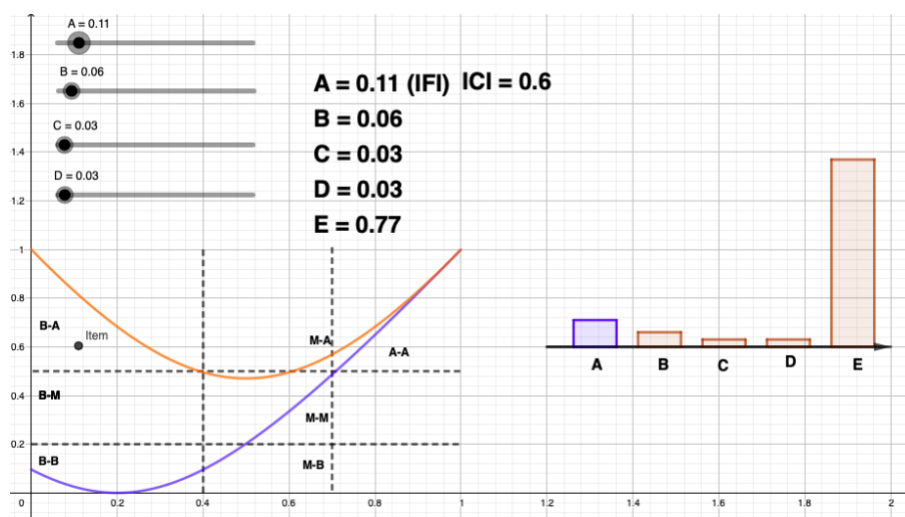
Figura 16: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região A-A.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, a sub-região B-A é caracterizada pela escolha predominante de uma única alternativa contendo o modelo errado. Os itens pertencentes a esta região podem apresentar problema de formulação ou, então, conter entre as alternativas uma concepção alternativa ou dificuldade de aprendizagem enraizada na maioria dos alunos.

Figura 17: Simulação da distribuição das respostas a um item pertencente a sub-região B-A.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como veremos a seguir, não aparecem itens de física no ENEM que pertençam a esta sub-região para os grupos analisados.

4.2.2 Classificação dos itens do ENEM na matriz $ICI \times IFI$

Com as regiões e sub-regiões da matriz $ICI \times IFI$ bem definidas, passamos agora para a etapa de classificar os itens de Física do ENEM de 2012 a 2017 de acordo com estas regiões para os concluintes do Ensino Médio e para os candidatos dos grupos EF, EM e ES.

Inicialmente, determinamos os valores dos índices de facilidade (IFI) e concentração (ICI) para os itens analisados neste trabalho. Além dos concluintes do Ensino Médio, determinamos também os índices para os concluintes do Ensino Médio separados pela escolaridade dos seus pais EF, EM e ES. Desta forma podemos identificar como o nível socioeconômico (utilizando como *proxy* a escolaridade dos pais) impacta na percepção da prova.

Tabela 9: Contagem de itens dos itens de física classificados como fáceis, médios e difíceis para todos os grupos analisados.

IFI	Concluintes do EM		EF		EM		ES	
	Itens	Porcentagem	Itens	Porcentagem	Itens	Porcentagem	Itens	Porcentagem
Difícil ($IFI < 0,4$)	77	83,7%	83	90,2%	77	83,7%	61	66,3%
Médio ($0,4 \leq IFI \leq 0,7$)	15	16,3%	9	9,8%	15	16,3%	25	27,2%
Fácil ($IFI > 0,7$)	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	6	6,5%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Vemos aqui que os itens de física do ENEM são majoritariamente difíceis em todos os grupos analisados; porém, quanto maior a escolaridade dos pais do candidato, mais itens são considerados médios e até fáceis. Mesmo no grupo ES, observamos que a lógica da prova de Física é mais compatível com o objetivo de selecionar do que com objetivo de avaliar. Podemos supor com o resultado do IFI que parte do quartil superior dos concluintes do ensino médio (27% de maior desempenho na prova) é composto por alunos do grupo ES. Vale destacar também que assim como para os concluintes do Ensino Médio, nos grupos EF, EM nenhum dos itens das seis provas analisadas é considerado fácil.

O recorte dos concluintes do ensino médio nos grupos EF, EM e ES torna a amostra mais homogênea, o que é possível ver na Tabela 10. O aumento da concentração das respostas em alternativas (certa ou erradas) é uma evidência deste aumento de coerência no grupo. Apesar disso, o que se observa é uma predominância de itens que estão contidos na região da resposta aleatória em todos os grupos analisados.

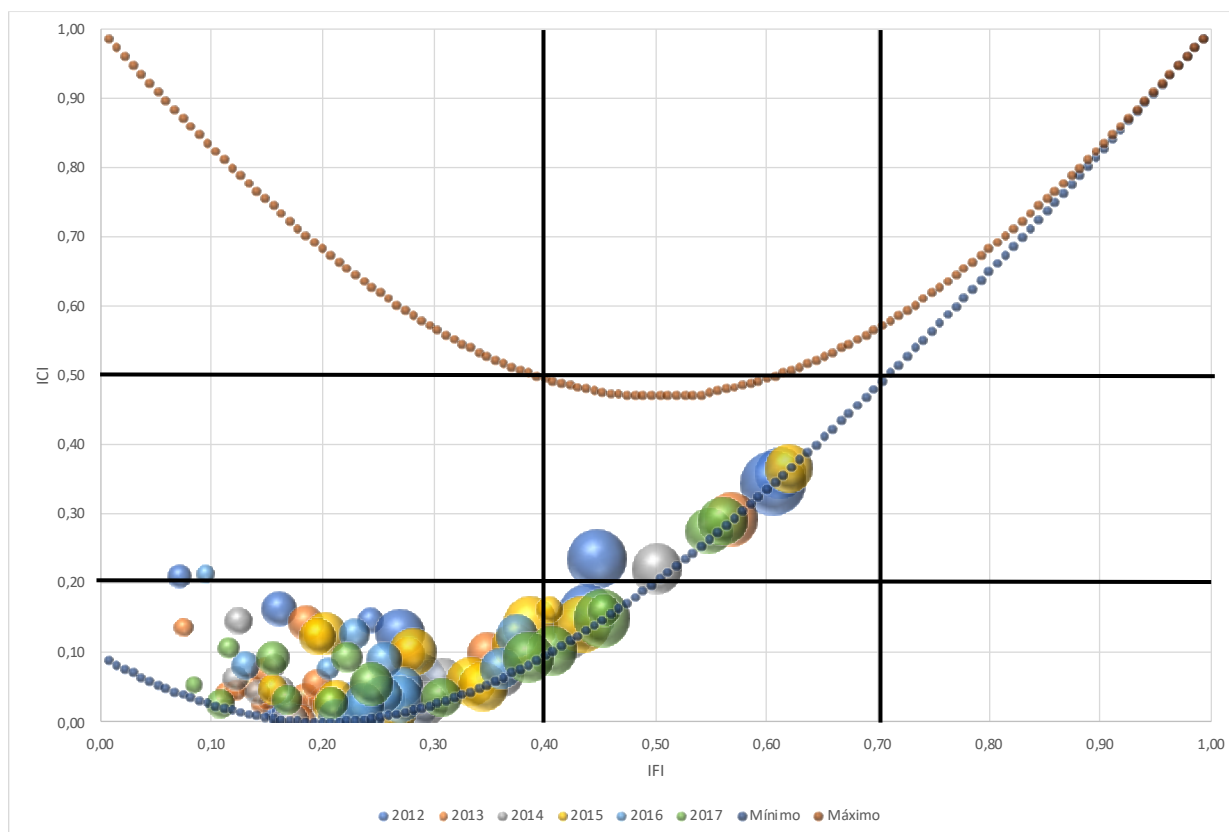
Tabela 10: Contagem de itens dos itens de física classificados como baixa concentração, média concentração e alta concentração dos grupos analisados.

ICI	Concluintes do EM		EF		EM		ES	
	Itens	Porcentagem	Itens	Porcentagem	Itens	Porcentagem	Itens	Porcentagem
Baixo ($ICI < 0,2$)	82	89,1%	85	92,4%	83	90,2%	65	70,7%
Médio ($0,2 \leq ICI \leq 0,5$)	10	10,9%	7	7,6%	9	9,8%	21	22,8%
Alto ($ICI > 0,5$)	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	6	6,5%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando distribuimos os 92 itens de Física analisados neste trabalho no gráfico IFI-ICI conforme proposto na Seção 2, observamos que, para os concluintes do Ensino Médio, as questões de Física se distribuem de acordo com o Gráfico 14.

Gráfico 14: IFI x ICI x IDI (área da bolha) para os concluintes do ensino médio dos anos de 2012 a 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observamos uma concentração dos itens dos seis anos de aplicação do ENEM analisados nesta tese na região caracterizada por respostas dadas aleatoriamente (B-B e M-B), com maior quantidade na região B-B. Além disso, verificamos que estes itens, na sua maioria, têm menor capacidade de discriminação (indicada pela área das bolhas) quando comparados aos itens presentes nas regiões onde as respostas dos candidatos se concentram em dois modelos e que nenhum item encontra-se na região de modelo único (B-A e A-A). Quando contabilizamos a quantidade de itens em cada uma das sub-regiões propostas por Bao e Redish (2001) para os concluintes do Ensino Médio e, posteriormente, para os candidatos pertencentes aos grupos EF, EM e ES, temos os resultados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Classificação dos itens de física de 2012 a 2017 de acordo com as regiões de Bao e Redish (2001)

Concluientes do ensino Médio	Respostas aleatória		Dois modelos		Modelo único	
	Aleatória (B-B)	Múltiplos modelos (M-B)	Errados (B-M)	Certo e errado (M-M)	Certo (A-A)	Errado (B-A)
Total	81,5%	7,6%	2,2%	8,7%	0,0%	0,0%
EF	89,1%	3,3%	1,1%	6,5%	0,0%	0,0%
EM	82,6%	7,6%	1,1%	8,7%	0,0%	0,0%
ES	60,9%	9,8%	5,4%	17,4%	6,5%	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em todos os grupos, podemos ver a predominância de itens na sub-região B-B onde, segundo Bao e Redish (2001), frequentemente, as respostas são dadas de forma aleatória, sendo que 81,5% dos itens de Física dos anos analisados são respondidos pelos concluintes do Ensino Médio de forma aleatória. Quando somamos os itens da sub-região M-B, esta quantidade sobe para 89,1% de itens na região da resposta aleatória. Quando analisamos os grupos separados, verificamos que, dentre aquele cujos pais têm menor escolaridade, 89,1% dos itens estão na sub-região B-B, enquanto no grupo ES, há 60,9% dos itens nesta sub-região.

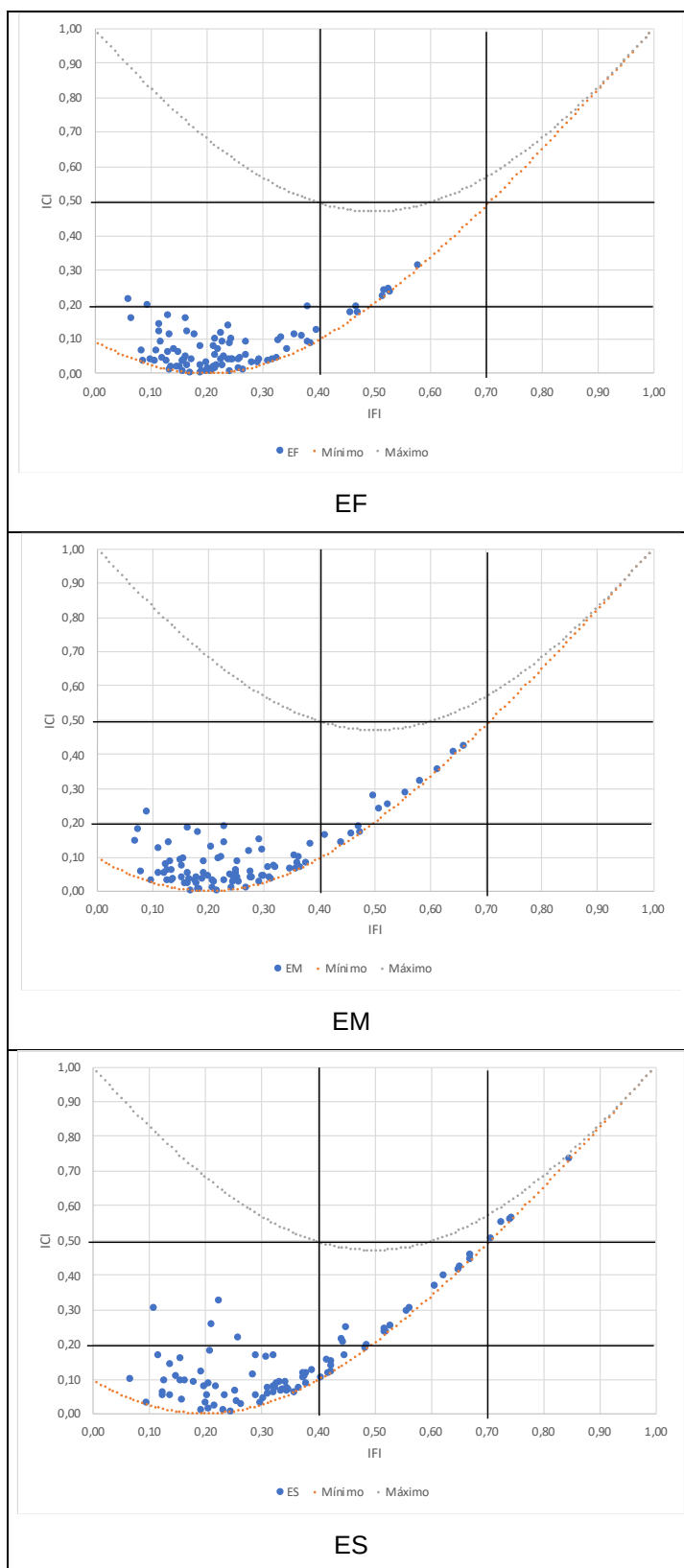
Ainda para o total de concluintes do Ensino Médio, vemos que nenhum item aparece na região de alta concentração das respostas (modelo único), composta pelas sub-regiões A-A e B-A, ou seja, dos tópicos cobrados nos itens presentes na prova, nenhum apresenta um modelo único (certo ou errado) para este grupo. Além disso, podemos notar que, apenas para o grupo ES, existe um pequeno conjunto de itens na região de alta concentração (sub-região A-A), ou seja, que são respondidos de acordo com um modelo único e correto (6,5%).

Quando construímos os gráficos de concentração em função da facilidade dos grupos separados (Figura 18), podemos ver como os mesmos itens de Física se comportam de forma distinta em cada um dos grupos analisados. É possível perceber que, conforme o nível de escolaridade dos pais do candidato aumenta, mais para

direita e para cima (sub-regiões M-M e A-A) os itens se deslocam. Estas regiões são caracterizadas por conter itens com respostas certas sendo assinaladas com frequência, mostrando mais uma evidência da já discutida influência da escolaridade dos pais do candidato (*proxy* para Capital Cultural) no desempenho dos candidatos. Estes itens que sofrem esse deslocamento nos grupos de maior nível socioeconômico evidenciam quais tópicos relacionados à Física estes indivíduos estão, em média, consolidando na etapa escolar.

Apesar de a maioria dos itens ser respondida de forma aleatória em todos os grupos, há seis itens que o grupo ES responde corretamente e que estão classificados na sub-região A-A da matriz *ICIXIFI*, em que o modelo correto predomina na escolha deste grupo. São eles: Q47-2012, Q50-2012, Q71-2012, Q72-2012, Q52-2013 e Q86-2015. A seguir, analisaremos quais são as principais características destes itens que os candidatos do grupo ES assinalam a alternativa correta e poucos indivíduos deste grupo optam pelas demais alternativas.

Figura 18: Gráficos de ICI em função de IFI para os grupos EF (esquerda), EM (centro) e ES (direita).



Fonte: Elaborado pelo autor.

O item Q47-2012 trata de um tópico que aparece exhaustivamente nos livros didáticos da educação básica: a pressão. Para isso, traz uma contextualização não cotidiana para a maioria dos alunos de Ensino Médio, que é a agricultura. Candidatos mais treinados apresentam mais chance, uma vez que têm maior possibilidade de lembrar a relação inversa entre pressão e área de contato e mais, que a pressão é definida como $p = \frac{F}{A}$, ou seja, para diminuir a pressão é necessário ou diminuir o peso ou aumentar a área de contato.

É notável, ainda, que não basta o candidato identificar que o pneu do trator deve ser mais largo, mas também o motivo para tal. Neste sentido, o item apresenta duas perguntas em seu enunciado e, pela resposta dos alunos, podemos perceber que, em todos os grupos analisados, há o entendimento de que se deve reduzir a pressão sobre o solo para diminuir a compactação. Este fato fica evidente pois as alternativas C e D são as menos assinaladas por todos. Desta forma, podemos dizer que o conceito tratado aqui é compreendido de forma parcial pelos candidatos.

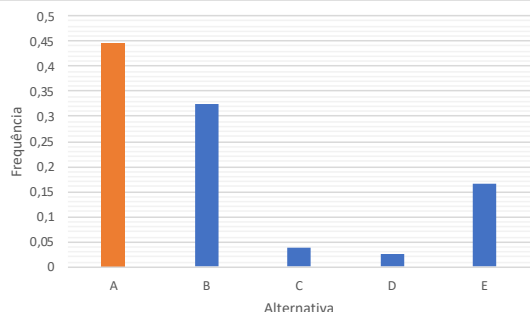
Figura 19: Q47-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.

QUESTÃO 47

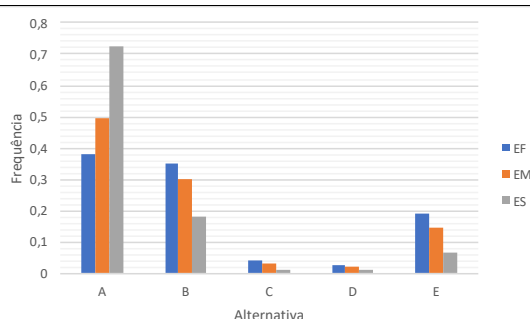
Um dos problemas ambientais vivenciados pela agricultura hoje em dia é a compactação do solo, devida ao intenso tráfego de máquinas cada vez mais pesadas, reduzindo a produtividade das culturas.

Uma das formas de prevenir o problema de compactação do solo é substituir os pneus dos tratores por pneus mais

- ☒ A) largos, reduzindo a pressão sobre o solo.
- ☐ B) estreitos, reduzindo a pressão sobre o solo.
- ☐ C) largos, aumentando a pressão sobre o solo.
- ☐ D) estreitos, aumentando a pressão sobre o solo.
- ☐ E) altos, reduzindo a pressão sobre o solo.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

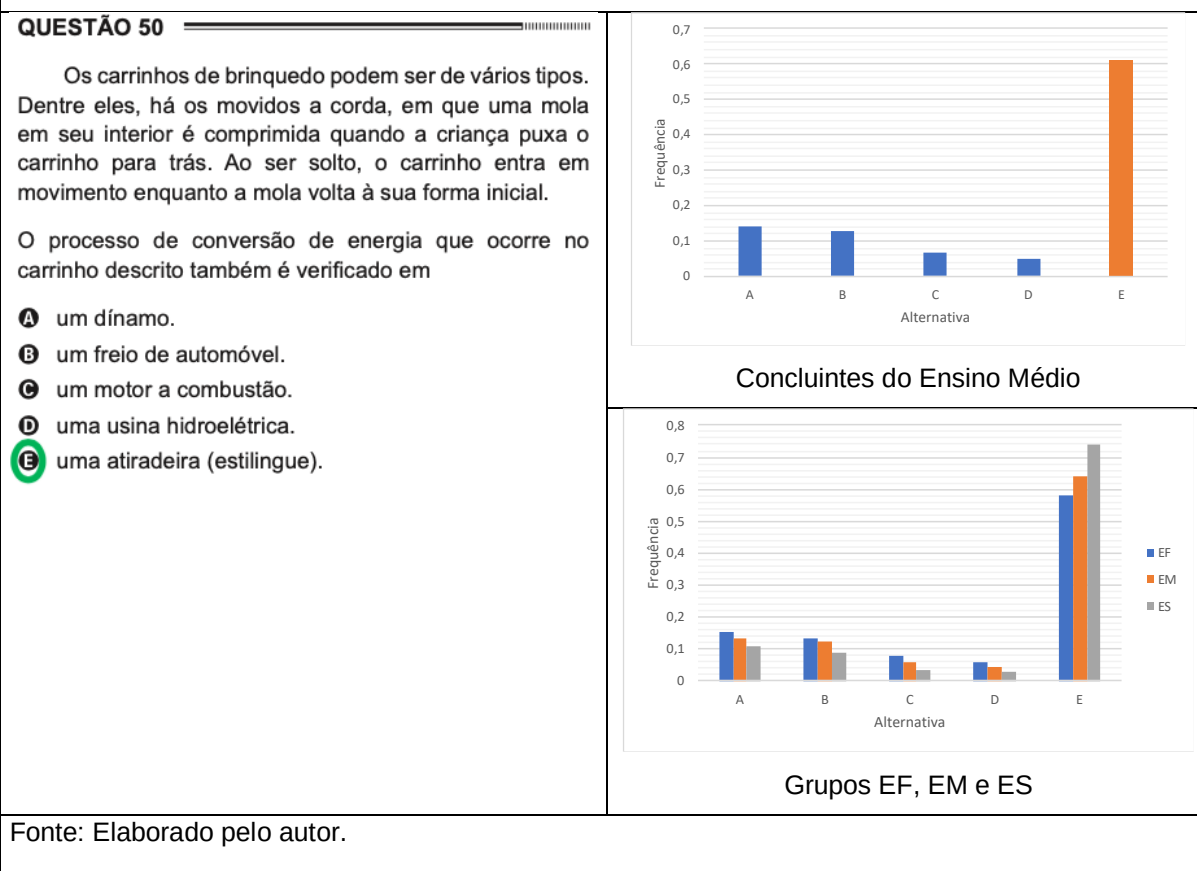
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para este item, observamos que, em todos os grupos a alternativa correta é a mais escolhida, mas apenas no grupo ES as respostas estão concentradas na alternativa A (correta). Neste grupo a alternativa B não chega a ser um distrator relevante. Observamos ainda que, quanto maior a escolaridade dos pais dos candidatos, mais as respostas se concentram na alternativa certa e menos marcantes são os distratores. Isso pode indicar uma influência do capital cultural no desempenho deste tipo de item.

Além disso o item é qualitativo e conceitual de acordo com a taxonomia de Smith (MARCOM, 2019); Kleinke (2017), por sua vez, classifica este item como “exercício de fixação”, já que, segundo o autor, o exercício apresenta características de exercícios de final de capítulo de livros didáticos e apresenta alto IDI, ou seja, apresenta grande diferença na taxa de acerto entre os candidatos com alto e baixo desempenhos na prova.

O item 50-2012 já foi destacado por Kleinke (2017) por ter um alto poder de discriminação (alto valor de IDI) e, portanto, é um ótimo item para avaliar e selecionar. Além disso, o autor classifica este item como “exercício de fixação”, ou seja, é parecido com típicos exercícios de fim de capítulo de livros didáticos e apostilas, sendo, portanto, comuns na educação básica e nos cursinhos preparatórios para acesso ao ensino superior. Por sua vez, Nascimento *et al.* (2018) classificam este item como tendo potencial de compor uma avaliação mais justa aos candidatos por envolver conceitos físicos, e, ao mesmo tempo, ser discriminatório e ter alta taxa de acerto em todos os grupos socioeconômicos. Dessa forma, segundo o autor, é possível separar quem realmente compreende o conceito de quem não compreende, ao invés de separar os mais treinados por terem mais oportunidades do que aqueles que tiveram menos oportunidade. Este item está contextualizado numa situação-problema comum e próxima dos candidatos (brinquedos infantis), o que pode ter influenciado no desempenho. Além disso, trata-se de um item qualitativo e conceitual que não envolve manipulações algébricas, apenas conceitos físicos e interpretação de texto.

Figura 20: Q50-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.

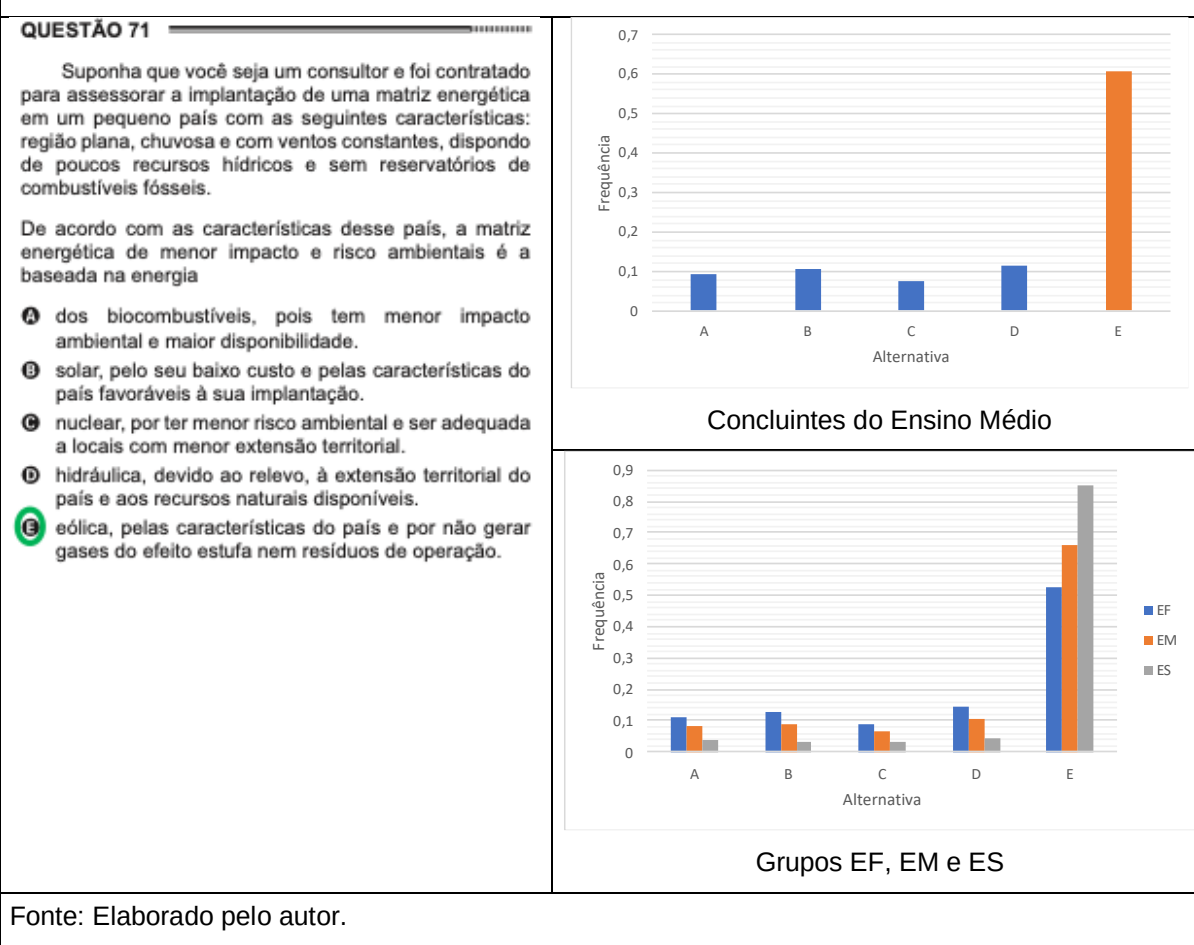


Quanto a este item, observamos que as respostas dos alunos de todos os grupos se concentram na alternativa E (correta), porém apenas no grupo ES os índices atingem os valores de *IFI* e *ICI* para que o item seja classificado na sub-região A-A, de acordo com a classificação proposta por Bao e Redish (2001). Para os demais grupos, este item encontra-se na sub-região M-M, em que existem dois modelos predominantes na resposta dos alunos, porém o modelo correto é o mais assinalado. Mesmo assim, nota-se que não existem distratores relevantes em nenhum dos grupos analisados. Marcom (2019) também classifica este item como sendo qualitativo e conceitual, de acordo com a taxonomia de Smith, ou seja, não é necessário o uso de nenhum algoritmo na resolução do mesmo.

O item Q71-2012 apresenta no seu texto-base uma situação problema hipotética em que se deve avaliar qual das usinas elétricas é a mais adequada para gerar energia em uma região descrita, e da forma mais sustentável. O item não apresenta distratores, mas, assim como os outros itens analisados até aqui, mostra a influência da classe social no desempenho quando são cobrados conhecimentos gerais. Apesar de ser considerada uma questão referente à disciplina de Física, trata-

se de um exercício de conhecimentos gerais na área de Ciências da Natureza, no qual a informação necessária para sua resolução está no enunciado. Para sua resolução, o candidato deve conhecer o funcionamento de cada um dos tipos de usina presente nas alternativas. Este tipo de conhecimento costuma ser tratado não só na disciplina de Física, mas muitas vezes nas outras áreas da ciência, como a Química ou a Geografia.

Figura 21: Q71-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.



Trata-se de um item classificado pela Taxonomia de Bloom Revisada (TBR) como de conhecimento conceitual e referente ao processo cognitivo “aplicar”. Nele, o aluno deve reconhecer o conceito para resolver o problema, não bastando apenas “lembrar” e “entender” o funcionamento das usinas, sendo necessário também interpretar o problema dado e “aplicar” os conceitos básicos em um novo contexto (SILVA; MARTINS, 2014). Kleinke (2017) classifica este item como “exercício de fixação” e sugere que a “resolução desse item requer uma leitura atenta tanto do

enunciado quanto das alternativas” (p. 9).

O item Q72-2012 é o único deste grupo que apresenta manipulações algébricas para sua resolução. Apesar de este tipo de manipulação estar associado a erros comuns de aprendizes (LARKIN *et al.*, 1980), o assunto de cinemática e velocidade média é amplamente discutido nas escolas. Observa-se que, apenas no caso do grupo ES, o item se encontra na sub-região A-A; os demais grupos apresentam um ou mais distratores relevantes associados a erros nas manipulações algébricas em passos intermediários que levam a valores numéricos presentes nas alternativas. Segundo Marcom e Kleinke (2016), os candidatos que escolheram a alternativa D, provavelmente, solucionaram o problema utilizando algum raciocínio lógico ou ideia intuitiva (CLEMENT, 1994). Um possível raciocínio estaria associado à divisão de dois números presentes no enunciado (60 km e 120 km/h), com um resultado igual a um número inteiro ($120/60 = 2$), sem considerar as unidades.

Segundo Kleinke (2017), este item apresenta estrutura semelhante aos exercícios de fixação presentes nos mais diversos livros adotados pela escola. Apesar disso, o autor reforça que

os exercícios de fixação presentes em livros e apostilas costumam apresentar como resposta números inteiros, logo alguns candidatos – provavelmente – dividiram o maior número presente no enunciado pelo menor, obtendo um valor igual a 2. (KLEINKE, 2017, p. 10)

Portanto, o item Q72-2012, assim como os itens Q47-2012, Q50-2012 e Q71-2012, são os mesmos quatro itens da prova de 2012 que Kleinke (2017) classificou como “exercícios de fixação”, e caracterizada por ser discriminadora dos candidatos que sabem dos que não sabem física. Segundo ele,

Essa categoria de itens apresenta como característica comum um alto ID, o qual se reflete em uma grande diferença de desempenho entre as classes sociais, com o desempenho variando fortemente em relação ao Status Socioeconômico no ENEM. (KLEINKE, 2017, p. 11)

O resultado aqui apresentado confirma a previsão de Kleinke (2017) de que itens de fixação, presentes em exaustão nos livros didáticos, apresentam maior poder de discriminação dos candidatos, sendo vantajoso para aqueles mais treinados.

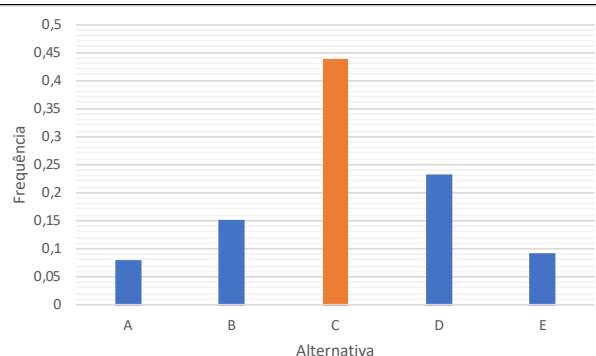
Figura 22: Q72-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.

QUESTÃO 72

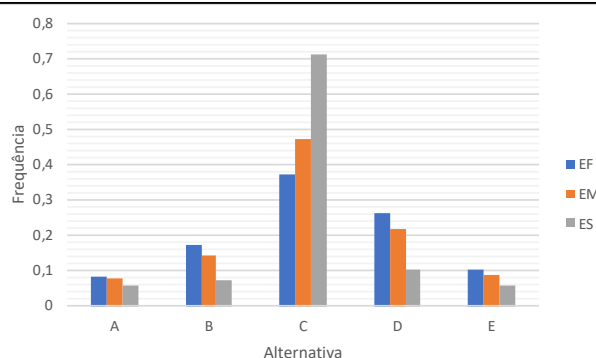
Uma empresa de transportes precisa efetuar a entrega de uma encomenda o mais breve possível. Para tanto, a equipe de logística analisa o trajeto desde a empresa até o local da entrega. Ela verifica que o trajeto apresenta dois trechos de distâncias diferentes e velocidades máximas permitidas diferentes. No primeiro trecho, a velocidade máxima permitida é de 80 km/h e a distância a ser percorrida é de 80 km. No segundo trecho, cujo comprimento vale 60 km, a velocidade máxima permitida é 120 km/h.

Supondo que as condições de trânsito sejam favoráveis para que o veículo da empresa ande continuamente na velocidade máxima permitida, qual será o tempo necessário, em horas, para a realização da entrega?

- ☐ A 0,7
- ☐ B 1,4
- ☒ C 1,5
- ☐ D 2,0
- ☐ E 3,0



Concluintes do Ensino Médio



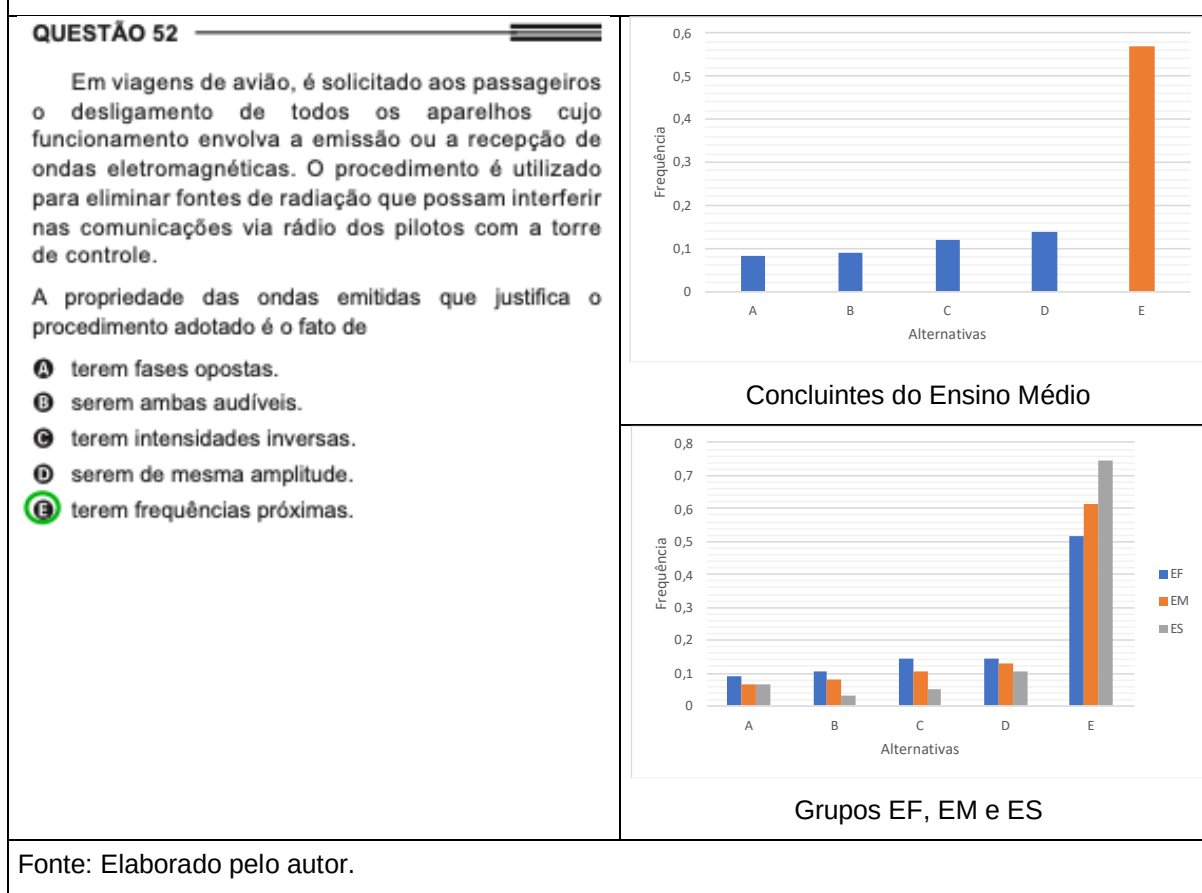
Grupos EF, EM e ES

Fonte: Elaborado pelo autor.

O item Q52-2013 é o único de 2013 que se enquadra na categoria “modelo único correto” para o grupo ES. Apesar disso, em nenhum dos grupos analisados podemos detectar um distrator relevante. Este item também é caracterizado por ser um item qualitativo e conceitual de acordo com a taxonomia de Smith (MARCOM, 2019) que busca trazer uma situação-problema com contexto próximo do aluno.

O item aborda uma propriedade de ondas amplamente discutida na educação básica e no senso comum, a interferência, o que pode explicar, em parte, o alto desempenho dos candidatos neste item. Além disso, muitas pessoas já vivenciaram o fenômeno da interferência, seja numa ligação telefônica, seja ouvindo rádio em casa ou no seu carro. Este resultado sugere que, mesmo não compreendendo profundamente o conceito de interferência, o candidato foi capaz de responder a este item, já que o senso comum coincide com o conceito científico, neste caso.

Figura 23: Q52-2013 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.



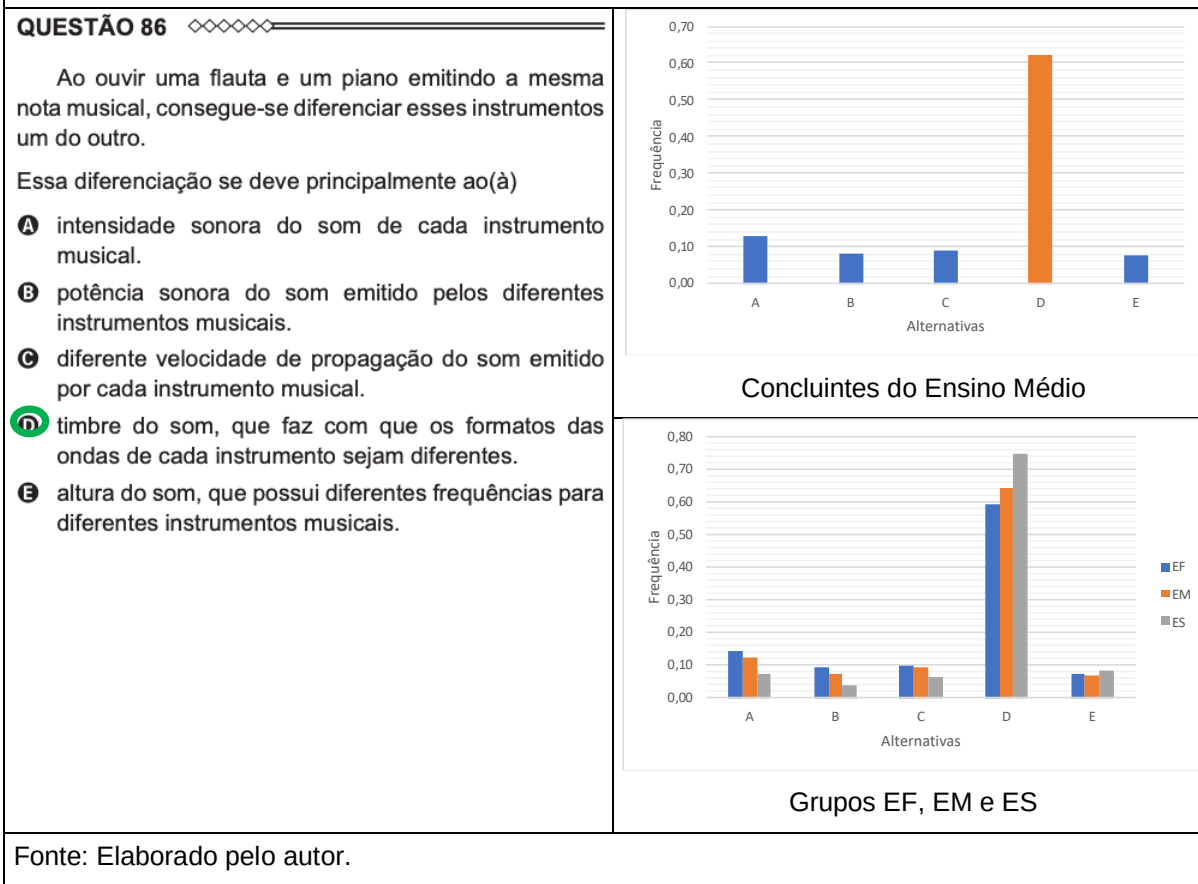
Neste sentido, Rinaldi (2017) afirma que na educação básica, “as características mais mencionadas em relação a fenômenos ondulatórios são a frequência e a intensidade” (p. 19), o que pode explicar a preferência pela alternativa certa em todos os grupos. Por fim, sabemos que não é toda a população que tem acesso a viagens de avião, porém é sabido que houve um aumento significativo do número de pessoas com acesso a este tipo de experiência em períodos recentes.

O último item que pode ser classificado como modelo único correto para o grupo ES aparece no ano de 2015 e é o item Q86-2015. Este item, assim como o Q52-2013, aborda um fenômeno ondulatório de maneira conceitual e qualitativa. Trata-se de um item contextualizado no cotidiano dos candidatos, já que é de se supor que todos tenham tido a experiência de ouvir o som de um piano e de uma flauta, conseguindo, portanto, diferenciar estes sons.

Trata-se de um item com alto poder de discriminação com caráter qualitativo e conceitual de acordo com a taxonomia de Smith (MARCOM, 2019) e, assim com os

demaís itens classificados como A-A para o grupo ES, necessita apenas de leitura de texto, não tendo na sua estrutura gráficos, figuras ou esquemas.

Figura 24: Q86 - 2015 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.



Sobre este item, Nascimento (2019) comenta que

[o item] tem características muito semelhantes ao 50 de 2012, (...) é um item qualitativo e exige domínio de conhecimento específico de Física. Trata-se de uma questão de acústica que aborda diretamente o conceito de timbre. Associar ao timbre o fato de que conseguimos diferenciar instrumentos musicais que emitem a mesma nota musical não é algo trivial (p. 137).

Spazziani (2019), por sua vez, destaca que

a pergunta é direta: ou se sabe, ou não se sabe, não havendo caminhos ou relações físicas que o candidato possa estabelecer para inferir a resposta correta (p. 245).

Pelas características apresentadas aqui, tanto o item Q86-2015 quanto o item Q52-2013 podem ser classificados como “exercícios de fixação”, como proposto por Kleinke (2017) para os itens de 2012.

Podemos notar que, em 2012, temos quatro itens classificados como “modelo único correto” para o grupo ES. Depois disso, apenas um item com esta classificação aparece na prova de 2013, e mais um na prova de 2015. Isso pode indicar que as provas vêm se tornando cada vez mais difíceis, distanciando-se daquilo que é discutido no Ensino Médio e do objetivo de avaliar o desempenho ao final da escolaridade básica. Isso pode ter alguma relação com o aumento do número de candidatos e a ampla concorrência nas universidades e institutos federais, que fizeram com que fossem necessários itens mais elaborados para que fosse possível realizar uma seleção de forma mais eficaz, principalmente nos cursos mais concorridos.

Em suma, podemos eleger algumas características que são comuns aos seis itens que se enquadram na sub-região A-A para o grupo ES:

- a) Apenas um tipo de leitura: todos os itens apresentam em seu texto-base apenas um texto, não sendo necessária a leitura de gráfico ou figura;
- b) Cinco itens são conceituais e qualitativos e apenas um item é quantitativo. O item quantitativo envolve conceitos exaustivamente trabalhados no ensino básico;
- c) “Exercícios de fixação”: todos os itens da prova de 2012 deste são classificados por Kleinke (2017) como “Exercícios de fixação”. Podemos estender esta classificação para o item Q52-2013 e Q86-2015;
- d) Alto poder discriminatório: todos os itens deste agrupamento possuem IDI que os classificam como “bons”, ou seja, eles separam o grupo contendo os alunos de maior desempenho do grupo contendo os alunos de menor desempenho; em outras palavras, separa quem sabe de quem não sabe.

4.3 Identificação dos agrupamentos dos itens de física por AFE

Neste momento, já realizamos a caracterização dos 92 itens de Física do ENEM do ponto de vista quantitativo por meio dos índices da TCT e da análise proposta por Bao e Redish (2001); em relação à abordagem qualitativa, realizamos a resolução dos itens, discutindo os possíveis caminhos que os candidatos tomaram para assinalar as alternativas erradas com altas frequências (distratores); também fizemos uma análise identificando aspectos como contexto, concepções alternativas entre seus distratores, taxonomia, etc. (Apêndice E).

O próximo passo consistiu na aplicação da análise fatorial exploratória (AFE) para os concluintes do Ensino Médio e para os grupos EF, EM e ES com o objetivo de compreender o agrupamento por padrão de resposta semelhante em termos das características levantadas dos itens e buscando similaridades entre os itens de um mesmo fator ou agrupamento. O resultado de todos os agrupamentos está no Apêndice B deste trabalho.

Esta seção dos resultados está dividida em três subseções. Em 4.2.1, apresentamos a análise detalhada do primeiro e do último ano de aplicação da prova do ENEM considerados neste trabalho. Nesta subseção, apresentamos as características qualitativas e quantitativas dos itens e apontamos para as características comuns a todos os itens que fazem parte de um mesmo fator, sugerindo que possíveis traços latentes tenham feito com que os alunos respondessem aquele conjunto de itens de forma semelhante. Na sequência, em 4.2.2, apresentamos as características dos agrupamentos gerados para os concluintes do Ensino Médio, de todas as provas consideradas neste trabalho, discutindo características em comum entre agrupamentos, e buscando identificar se, em provas distintas, os itens se agrupam da mesma forma. Neste sentido, buscamos responder se existe algum traço latente semelhante a todas as provas, ou seja, se existem fatores gerados nas diferentes provas que contém itens com características semelhantes entre si. Por fim, em 4.2.3, aplicamos a AFE para os grupos EF, EM e ES a fim de compreender quais são as semelhanças e diferenças entre os agrupamentos por padrão de respostas nos itens para candidatos de diferentes níveis socioeconômicos, medidos a partir da escolaridade de seus pais.

4.3.1 Provas de 2012 e 2017 como exemplo da análise.

Como forma de ilustrar o trabalho realizado na determinação dos construtos das provas de Física do ENEM, analisaremos as provas de 2012 e 2017, que correspondem à primeira e à última aplicação do ENEM considerados neste trabalho.

Ao aplicarmos a AFE para todos os concluintes do Ensino Médio na prova de Física de 2012 a fim de agrupar os itens que apresentam padrão de respostas semelhantes entre os candidatos, obtivemos três fatores, de acordo com o critério de Guttman-Kaiser ou critério do autovalor maior do que um (LAROS, 2005),

apresentados a Tabela 12. Além disso, apenas o item Q77 - 2012 apresenta carga fatorial próxima do valor limite inferior de 0,32 nos fatores 2 e 3 sendo descartado para análise dos agrupamentos.

Tabela 12: Fatores gerados por análise fatorial exploratória para concluintes do ensino médio da prova de física de 2012 com as respectivas cargas fatoriais de cada item.

Item	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Q71	0,61716	- 0,19714	0,01873
Q72	0,566	0,06062	0,0193
Q47	0,56052	0,04431	0,02065
Q54	0,4985	0,20442	0,06224
Q64	0,48866	0,24817	0,04267
Q61	0,43143	0,14496	0,05326
Q50	0,40795	- 0,28736	0,20863
Q88	0,20214	0,49718	- 0,12078
Q83	0,24555	0,4634	- 0,13345
Q60	- 0,09161	0,46078	0,25059
Q55	0,08965	0,37049	0,07598
Q67	- 0,09259	0,31019	0,17473
Q73	0,00065	0,01385	0,63788
Q78	0,09895	0,01524	0,45905
Q74	0,01072	0,15196	0,42889
Q77	0,24745	- 0,06002	0,29578

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi calculada a variância explicada por cada um dos fatores, ou seja, os autovalores associados aos fatores. Os autovalores são calculados a partir da matriz de correlação, buscando-se obter um conjunto de vetores independentes, não correlacionados, que expliquem a variabilidade dos dados. Cada item, individualmente, apresenta uma variância de 1, ou seja, ele explica apenas a própria variância.

Tabela 13: Variância explicada por cada fator para os itens de física do ENEM de 2012.

Variância explicada por cada Fator (autovalores)		
Fator 1	Fator 2	Fator 3
2.05	1.19	1.07

Fonte: Elaborado pelo autor

O Fator 1, aquele que apresenta maior variância, é composto por sete itens, dos quais quatro são os mesmos discutidos anteriormente na seção 4.1 (Q71-2012, Q72-2012, Q47-2012, Q50-2012) como sendo itens pertencentes a um grupo de itens que o grupo ES responde de forma correta; portanto, estes podem ser considerados itens com características semelhantes aos que os alunos ao final do Ensino Médio são capazes de responder de forma mais ampla. Junto a este agrupamento, encontramos os itens Q54-2012, Q64-2012 e Q61-2012.

A AFE exploratória agrupa itens de acordo com traços latentes, ou seja, alguma(s) característica(s) presente(s) neles faz(em) com que os respondentes respondam os itens similares com um mesmo padrão de respostas. É importante observar que o padrão de resposta não está correlacionado ao índice de acerto do item (Tabela 14). A escala de cores utilizada nesta tabela varia de verde, para o item com maior IFI, até vermelho, com menor IFI, evidenciando assim as questões mais fáceis e mais difíceis. Existem itens nos fatores 2 e 3 que apresentam IFI maiores do que itens do Fator 1, apesar de a média do IFI ser maior neste último fator.

Todos os itens pertencentes ao Fator 1 são os mesmos que compõem as categorias “Problema de lápis e papel” e “Exercícios de fixação” por Kleinke (2017) e, segundo ele, essas duas categorias têm em comum na prova o fato de apresentarem alto índice de discriminação, ou seja, dentre todos os itens de Física, estes são adequados para classificar os candidatos nas provas, separando os grupos com melhor e pior desempenho. Com isso, nomearemos este Fator 1 da prova de 2012 como “Exercícios escolares”.

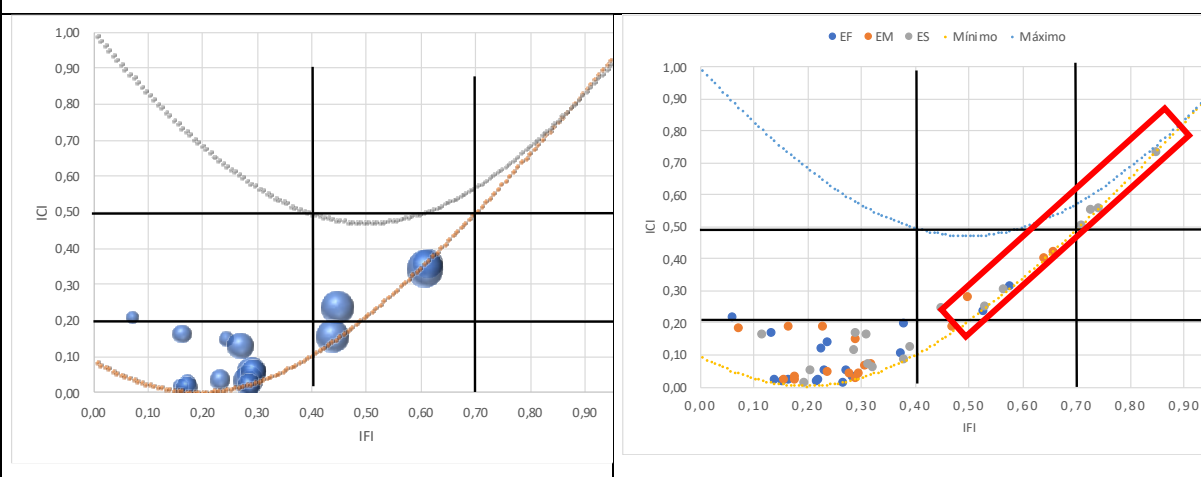
Tabela 14: Agrupamentos dos itens de física por análise fatorial e taxa de acerto para prova de 2012.

Questão	Fator	IFI	IFI médio
Q71	1	0,61	0,42
Q72	1	0,44	
Q47	1	0,45	
Q54	1	0,29	
Q64	1	0,28	
Q61	1	0,27	
Q50	1	0,61	0,19
Q88	2	0,16	
Q83	2	0,17	
Q60	2	0,24	
Q55	2	0,07	
Q67	2	0,29	
Q73	3	0,17	0,23
Q78	3	0,29	
Q74	3	0,16	
Q77	3	0,29	

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos microdados do ENEM

Além disso, os itens que compõem este fator correspondem aos itens que estão localizados nas sub-regiões M-M e A-A para o grupo ES (cinza), conforme destacado com o retângulo vermelho na Figura 25.

Figura 25: IFI x ICI x IDI para os concluintes do ensino médio (esquerda) e IFI x ICI para os grupos EF, EM e ES (direita) com destaque para os itens pertencentes a região Modelo único certo e dois modelos-certo.



Fonte: Elaborado pelo autor

Estes itens do primeiro fator também estão destacados em amarelo na Tabela 15 e correspondem a 41,1% dos itens de Física para este grupo, ou seja, aproximadamente metade dos itens da prova deste ano são respondidos de acordo com a resposta esperada e, no máximo, mais um distrator relevante para o grupo cujos pais têm alta escolaridade. Nos demais grupos analisados (Concluintes do Ensino Médio, EF e EM) menos de 18% dos itens são classificados desta forma de acordo com as respostas dos candidatos.

Tabela 15: Contagem dos itens de acordo com classificação de Bao e Redish (2001) para itens de 2012.

Concluintes do ensino Médio	Respostas aleatória		Dois modelos		Modelo único	
	Múltiplos		Errado	Certo	Certo	Errado
	Aleatória	modelos errados				
Total	12	1	1	3	0	0
EF	14	0	1	2	0	0
EM	13	1	0	3	0	0
ES	10	0	0	3	4	0

Fonte: Elaborado pelo autor

Para compreender os traços latentes (construtos) do Fator 1, analisaremos a seguir os itens que o constituem para buscar, além das características apresentadas em 4.1, alguma informação adicional sobre o traço latente que agrupa estes itens neste fator.

O primeiro item que analisaremos é o item Q54-2012. Este item, apesar de ser contextualizado no cotidiano, mostra a dificuldade dos estudantes em aplicar conceitos físicos relacionados ao cotidiano, ainda mais com a possibilidade de estimativas numéricas. Kleinke (2017) classifica este item como “Problema de lápis e papel”. Segundo o autor, neste tipo de item, as concepções alternativas costumam atrair os alunos de classes mais baixas, o que pode sugerir que “as concepções prévias dos candidatos não foram ressignificadas na passagem pela escola” (KLEINKE, 2017). Já Darroz *et al.* (2015) classificam este item como “questão de

lógica”, que são aquelas em que são apresentados conhecimentos físicos por meio do raciocínio lógico dos estudantes.

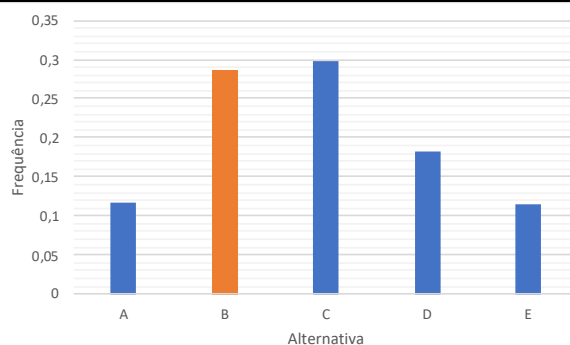
Figura 26: Q54-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.

QUESTÃO 54

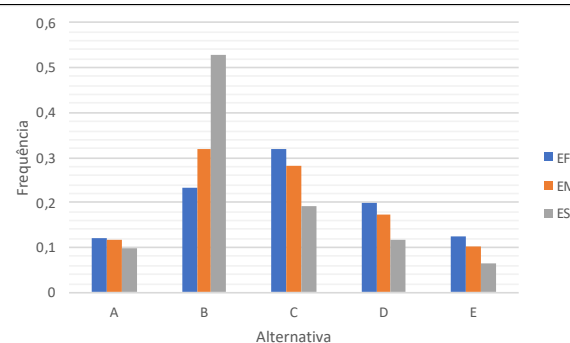
Em um dia de chuva muito forte, constatou-se uma goteira sobre o centro de uma piscina coberta, formando um padrão de ondas circulares. Nessa situação, observou-se que caíam duas gotas a cada segundo. A distância entre duas cristas consecutivas era de 25 cm e cada uma delas se aproximava da borda da piscina com velocidade de 1,0 m/s. Após algum tempo a chuva diminuiu e a goteira passou a cair uma vez por segundo.

Com a diminuição da chuva, a distância entre as cristas e a velocidade de propagação da onda se tornaram, respectivamente,

- ☐ A maior que 25 cm e maior que 1,0 m/s.
- ☒ B maior que 25 cm e igual a 1,0 m/s.
- ☐ C menor que 25 cm e menor que 1,0 m/s.
- ☐ D menor que 25 cm e igual a 1,0 m/s.
- ☐ E igual a 25 cm e igual a 1,0 m/s.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Fonte: Elaborado pelo autor.

O item Q54-2012, apesar de não apresentar índice de acerto tão alto para os concluintes do Ensino Médio (29%) quando comparado com os demais itens deste agrupamento, encontra-se no primeiro fator. Podemos ver o seu poder de discriminação quando comparamos as alternativas assinaladas pelos candidatos de diferentes estratos socioeconômicos. É evidente que este item é respondido corretamente pelos candidatos do grupo ES (maior Capital Cultural), mas apresenta distratores muito fortes e para os demais grupos. A alternativa C é um distrator mais forte do que a resposta correta (alternativa B) para os concluintes do Ensino Médio em geral e para o grupo EF. Em contrapartida, no grupo ES, a alternativa correta é escolhida por mais de 50% dos candidatos.

Este item exige, além da interpretação da situação problema, a manipulação de fórmulas, dificultando os candidatos menos treinados que, por desconhecimento das relações matemáticas, apoiam-se na intuição na hora de buscar uma solução para o problema (CLEMENT, 1994). Pelas características postas e pelo seu alto poder de discriminação, podemos aferir que este assunto é trabalhado no Ensino Médio.

Destacamos, também, que o item apresenta em seu enunciado duas perguntas: o comprimento de onda e a velocidade da onda após as modificações. Quando analisamos as escolhas dos candidatos que erraram o item, não sabemos se o que levou ao erro foi uma das perguntas ou as duas.

Vale destacar, por fim, que existe um erro conceitual nesta questão. Como a distância entre duas cristas da onda é $\lambda = 25\text{cm}$ e a frequência com que a onda é gerada é de 2 ondas/segundo , ou seja, $f = 2\text{Hz}$, temos que a velocidade de propagação é:

$$v = \lambda \cdot f = 0,25 \cdot 2 = 0,5\text{m/s}$$

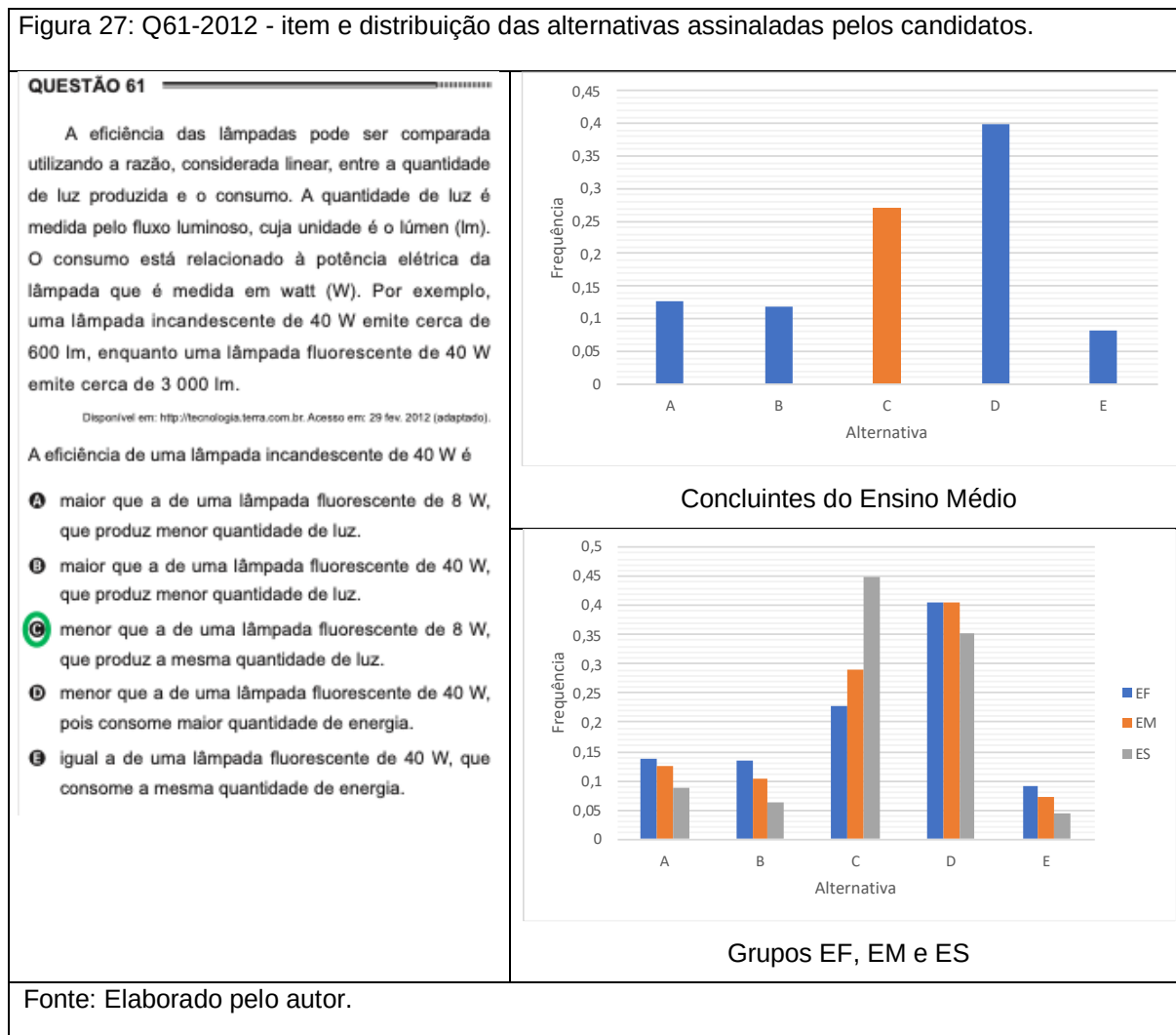
Já o texto-base fornece a velocidade como sendo de 1 m/s . Como não existem alternativas compatíveis com este erro conceitual, supomos que esse erro não tenha interferido na resposta dos alunos, mas reforçamos a necessidade do rigor conceitual na elaboração de itens em um exame como o ENEM.

O item Q61-2012 aborda um problema cotidiano de escolha de lâmpada a partir de sua eficiência. Diferentemente do item Q99-2017, que discutiremos a seguir e que aborda o tema de forma qualitativa, este item discute o tema de forma quantitativa. Assim, tal como acontece com o item Q54-2012, existem duas perguntas a partir do enunciado. Neste sentido, podemos ver que a maioria dos alunos (66,8% dos concluintes do Ensino Médio) percebe que a lâmpada incandescente tem uma eficiência menor do que uma lâmpada fluorescente. Segundo Kleinke (2017), “os alunos sabem que as lâmpadas incandescentes apresentam menor eficiência; por isso escolheram preferencialmente as alternativas C e D” (p. 12). Esta concepção científica é equivalente ao senso comum, o que faz com que parte dos candidatos seja atraída por essas alternativas.

Podemos aferir que a diferença no desempenho aparece quando o candidato busca responder a segunda parte do enunciado que se pede para comprar as potências e luminosidade das lâmpadas. Enquanto os grupos EF e EM optam mais pela alternativa D, na qual a potência apresentada para a lâmpada fluorescente é a

mesma da lâmpada incandescente do enunciado, parte do grupo ES realiza as contas e percebe que, com uma potência menor, a lâmpada fluorescente pode emitir a mesma quantidade de luz. Os candidatos que optam pela alternativa D não percebem que se as lâmpadas têm a mesma potência, elas consomem a mesma quantidade de energia, concluindo que a lâmpada menos eficiente gasta mais energia.

Figura 27: Q61-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.

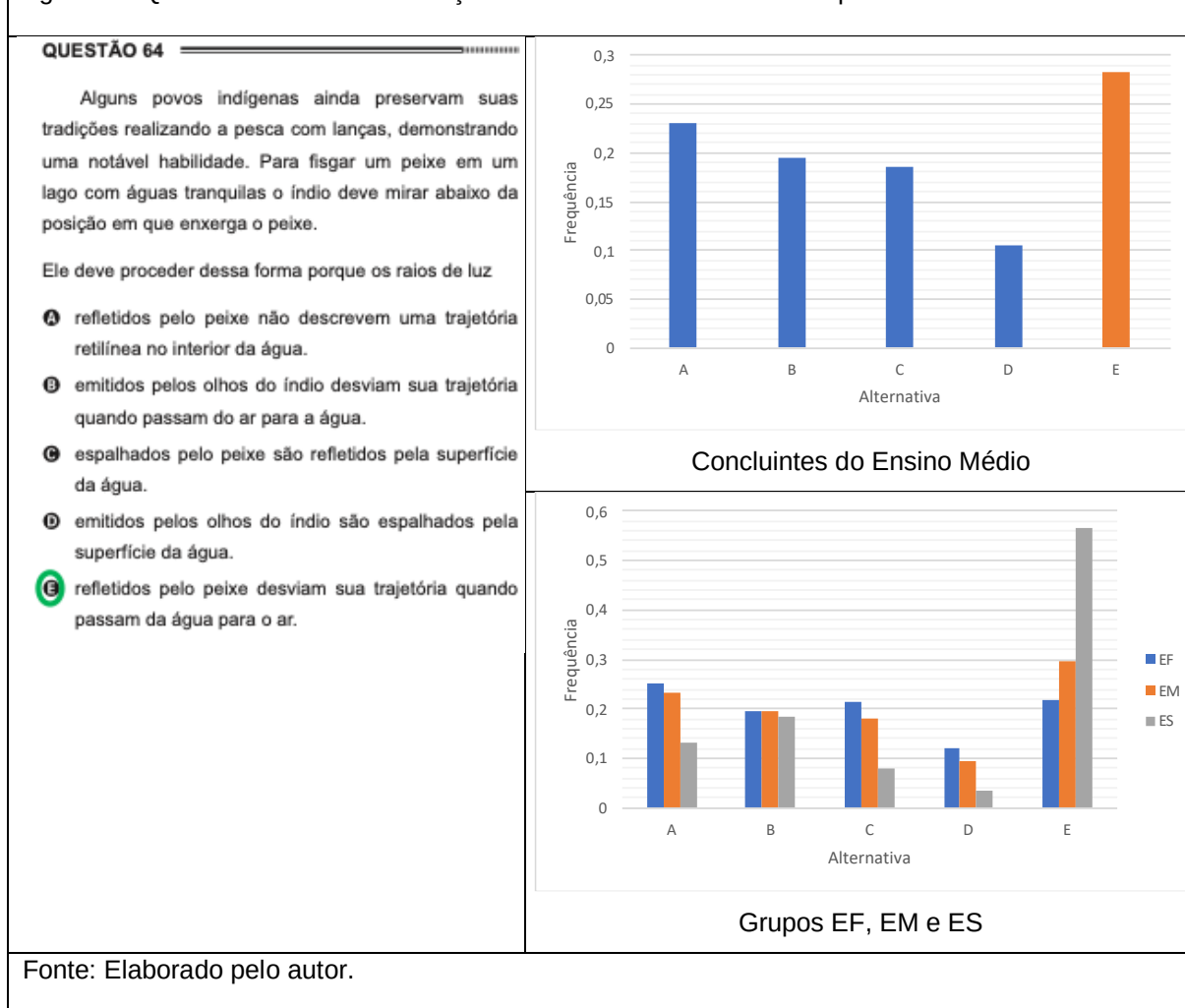


O item Q61-2012 tem a mesma característica dos demais itens deste fator em relação ao poder de discriminação. Podemos ver pelo gráfico que mostra a frequência de escolha pelas escolaridades dos pais, que o grupo ES tem grande vantagem sobre os demais, apesar de o distrator (alternativa D) ser muito assinalado inclusive por este grupo. Podemos ver que a escolha do distrator é mais frequente nos grupos em EM e EF, enquanto a alternativa correta é mais assinalada pelo grupo ES.

Por fim, integrando o Fator 1, temos o item Q64-2012. Diferentemente dos dois

itens que analisamos anteriormente, este item é conceitual e qualitativo, não sendo necessária a manipulação algébrica na sua resolução. Barroso *et al.* (2018) acreditam que a questão é bem apresentada e que o modelo geométrico de propagação da luz é exaustivamente trabalhado na educação básica. Por outro lado, Kleinke (2017) destaca que “poucas pessoas reconhecem os efeitos físicos associados ao comportamento da luz na transição entre distintos meios.” (p. 12).

Figura 28: Q64-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.



O item aborda o fenômeno da refração da luz quando esta muda de meio (água para o ar). Parece existir forte relação entre o Capital Cultural incorporado (escolaridade dos pais do candidato) e o desempenho neste item. Observa-se que, para o grupo EF (menor nível socioeconômico), a escolha entre as alternativas é quase que aleatória (aproximadamente 20% em cada uma das alternativas), o que

sugere que, para este grupo específico, o conteúdo cobrado neste item não foi trabalhado de forma satisfatória ao longo da escolaridade básica, não existindo nem uma concepção alternativa prévia ou há concepções alternativas em todas as alternativas.

O item é parecido com exercício de fixação de final de capítulo e exercício de lápis e papel. Este item tem em suas alternativas, concepções não científicas que são distratores para os grupos EF e EM. Segundo Kleinke (2017) esse item evidencia que, apesar dos esforços dos pesquisadores em Ensino de Física em identificar e corrigir possíveis concepções alternativas durante o período escolar, muitas delas ainda estão presentes nos alunos, em especial naqueles de menor nível socioeconômico. Além disso, o autor também classifica este item como “Problema de lápis e papel”.

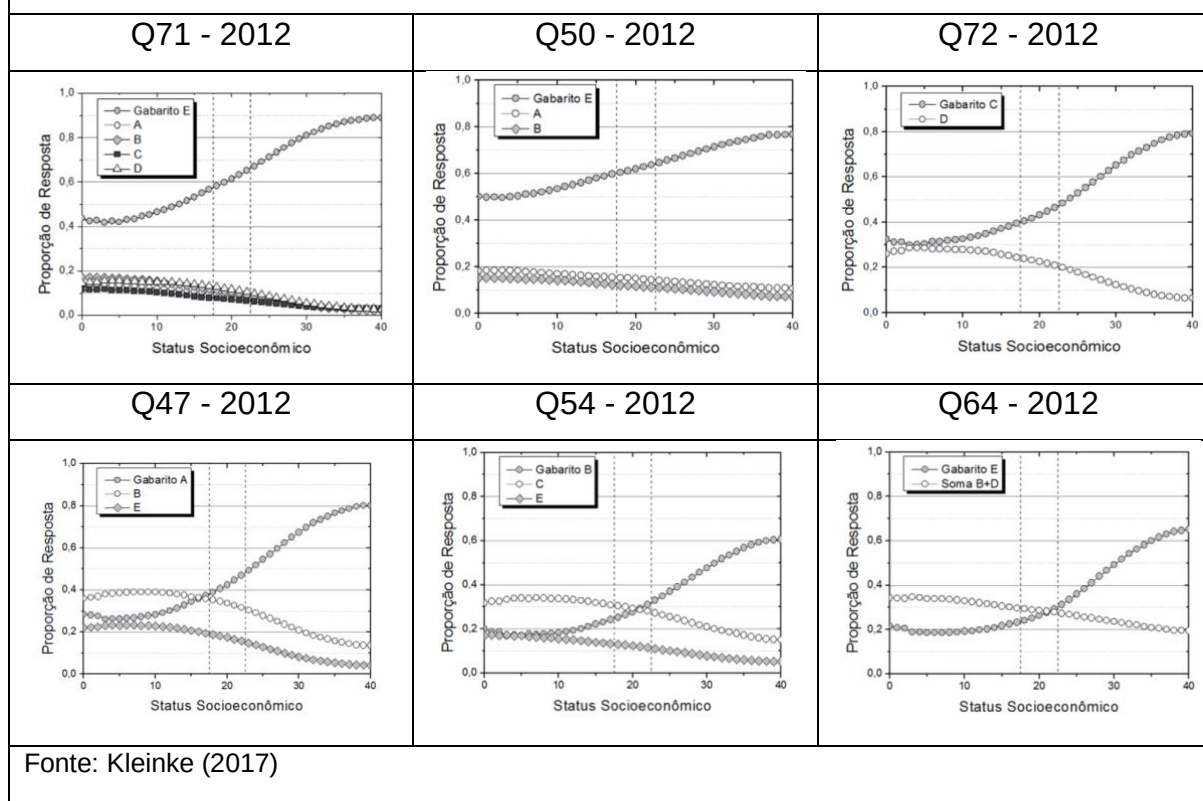
Os três itens (Q54-2012, Q61-2012 e Q64-2012) têm em comum que o grupo ES apresenta grande vantagem em relação aos demais grupos e apresentam altos índices de discriminação. Conforme mencionado anteriormente, estes exercícios são classificados como “problemas de lápis e papel” que são trabalhados nas escolas, apesar da já conhecida dificuldade que os aprendizes têm para resolvê-los.

Outra forma de avaliar este resultado é por meio do exame do gráfico de frequência das alternativas em um item em função de seu status socioeconômico, presente no trabalho de Kleinke (2017). Em seu trabalho o autor determinou o valor médio da frequência dos candidatos em cada alternativa e para cada estrato socioeconômico, os quais foram calculados a partir classificação econômica Brasil (ABEP, 2013). Apresentamos, na Quadro 13, os gráficos com os resultados de Kleinke (2017) para comparar o comportamento das respostas dos alunos nos itens pertencentes ao Fator 1 com os demais fatores.

Quando examinamos os gráficos que relacionam o status socioeconômico do candidato à proporção de resposta em cada uma das alternativas para os itens pertencentes ao Fator 1, temos que, quanto maior o nível socioeconômico do candidato, mais frequentemente a alternativa correta é assinalada. Em todos os casos, vemos que a proporção de escolha pela alternativa correta tem um formato de uma sigmoide, sendo que, no grupo de maior status socioeconômico, a alternativa certa é assinalada sempre por mais de 60% dos candidatos. Este resultado é esperado, uma vez que a análise fatorial agrupa itens por padrão de resposta e, como podemos verificar nos gráficos, os diferentes grupos socioeconômicos respondem aos

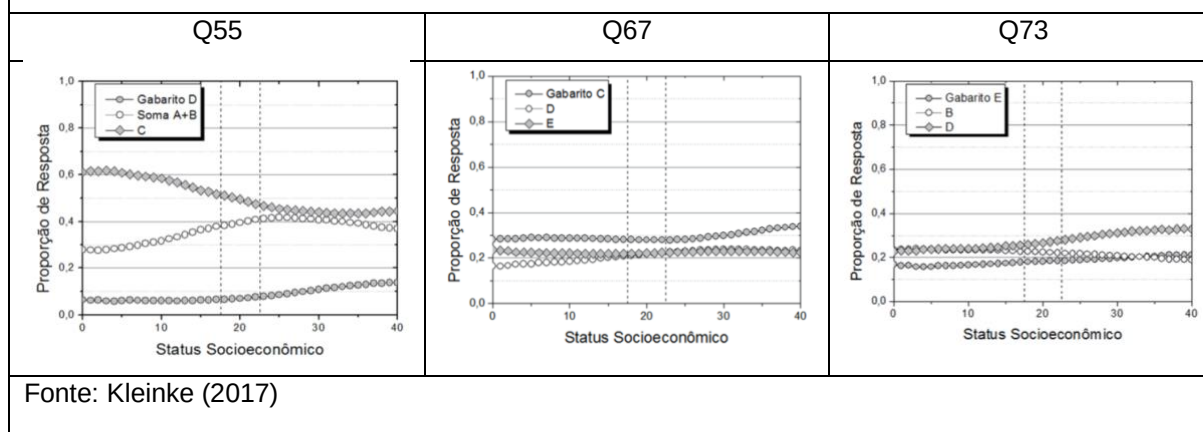
itens deste fator, em média, seguindo um mesmo padrão de respostas.

Quadro 13: Frequência dos itens em função do Status Socioeconômico do ENEM para os itens do fator 1.



Quando verificadas as curvas de frequência nas alternativas dos demais fatores (Quadro 14), temos que o formato da curva da alternativa correta é quase uma reta horizontal, não variando muito nos grupos de diferentes status socioeconômicos, sendo assinalada pela minoria dos candidatos em todos os grupos.

Quadro 14: Frequência dos itens em função do Status Socioeconômico do ENEM para os fatores 2 e 3.



Como podemos notar em relação aos itens Q67-2012 e Q73-2012, a resposta é praticamente aleatória e muito semelhante em todos os grupos socioeconômicos, ou seja, este tipo de questão não diferencia (ou diferencia pouco) os candidatos de maior habilidade dos de menor habilidade e, por isso, não consideramos os itens adequados para uma prova tipo o ENEM. Já em relação ao item Q55-2012 (Figura 29), nenhum grupo socioeconômico apresenta alta frequência de acerto, apesar de tratar de um tema cotidiano dos candidatos que é dobradiça de porta. Marcom (2015) sugere que

(...) os alunos apresentam sérias dificuldades em transpor o conhecimento aprendido na escola para situações problemas presentes no cotidiano. Mesmo quando o problema está contextualizado, os alunos tendem a transportá-lo para o mundo ideal ignorando fatores reais ou interpretando-os de forma equivocada. (p. 135)

A alternativa C, que atraiu a maioria os candidatos de todos os grupos socioeconômicos, é a única alternativa em que as forças nas dobradiças são unicamente contrárias a força peso, como se a porta fosse um ponto material. Segundo Kleinke (2017),

é uma concepção não científica provavelmente induzida pelos exercícios de fixação dos materiais didáticos, com o uso da expressão ‘um corpo pontual’ em um grande número de exercícios e problemas. (p. 14)

A alternativa certa deste item é a menos assinalada junto com a alternativa E que apresentam a mesma ideia, porém forças contrárias. Percebe-se que os candidatos optam, em sua grande maioria, por forças horizontais ou verticais, mas com pouca frequência diagonais. Este comportamento descrito aqui é o contrário encontrado em relação aos itens presentes no primeiro fator discutido até aqui.

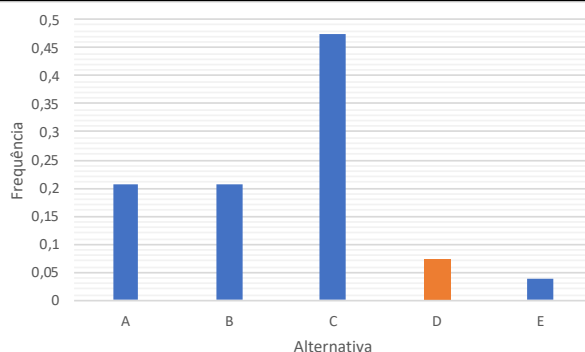
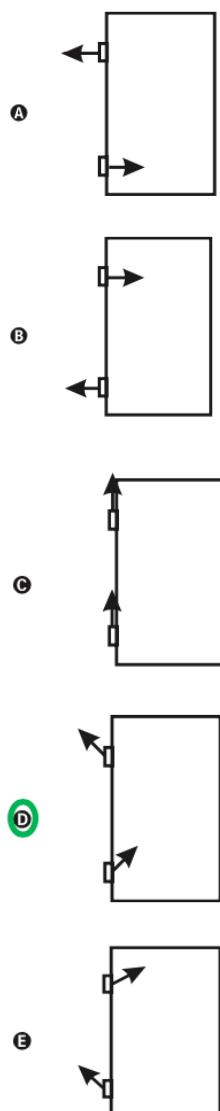
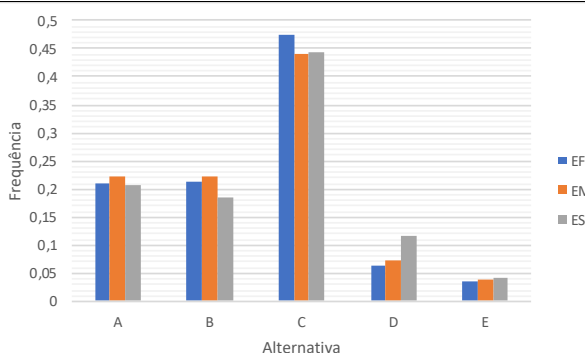
Neste sentido, para a prova de 2012, a análise fatorial, ao separar os itens por padrão de respostas, possibilitou identificar qual tipo de item é mais adequado para identificar conceitos mais trabalhados no Ensino Médio e que discrimina os alunos que sabem dos que não sabem o tópico abordado dos itens. Além disso, a análise fatorial agrupou itens mais voltados para especialistas que, diferentes daqueles que abordam conceitos trabalhos no ensino médio, são respondidos corretamente por um grupo mais restrito de candidatos. Estes itens são carregados de concepções alternativas mais presentes do que o conceito científico, ou até apresentam erros conceituais na sua formulação.

Figura 29: Q55-2012 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.

QUESTÃO 55

O mecanismo que permite articular uma porta (de um móvel ou de acesso) é a dobradiça. Normalmente, são necessárias duas ou mais dobradiças para que a porta seja fixada no móvel ou no portal, permanecendo em equilíbrio e podendo ser articulada com facilidade.

No plano, o diagrama vetorial das forças que as dobradiças exercem na porta está representado em

**Concluintes do Ensino Médio****Grupos EF, EM e ES**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como forma de ilustrar de maneira complementar a abordagem utilizada na determinação dos fatores gerados a partir de AFE para as provas de Física, apresentamos, também, a interpretação dos agrupamentos gerados por análise fatorial para os itens de Física da prova de 2017.

Para separar os itens por padrão de resposta semelhante, aplicamos a AFE para a prova de Física do ano de 2017, e observamos que, quando considerados todos os candidatos concluintes do Ensino Médio, os 13 itens podem ser reduzidos a 4 agrupamentos de itens (fatores), de acordo com o critério de Guttman-Kaiser, apresentados a Tabela 16. Estes agrupamentos são fruto de padrões de respostas semelhantes dentro do conjunto analisado. Além disso, todos os itens apresentam carga fatorial maior do que 0,32, sendo que apenas o item Q125-2017 apresenta carga fatorial próxima do limite inferior. Este item apresenta carga fatorial próxima do valor limite inferior nos fatores 2 e 3 e, por esta razão, não será agrupado em nenhum dos fatores.

Tabela 16: Fatores gerados por análise fatorial exploratória para concluintes do ensino médio da prova de física de 2017 com as respectivas cargas fatoriais de cada item.

Item	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Q103	0,52511	0,10195	0,02369	0,02475
Q93	0,51087	0,00709	0,10023	0,04502
Q99	0,50016	0,11015	0,02586	0,0576
Q123	0,45663	0,28201	0,05199	0,1779
Q130	0,13769	0,524	0,19222	0,11758
Q127	0,17241	0,47654	0,10218	0,05638
Q111	0,16137	-0,61902	0,16593	0,02773
Q134	0,03538	0,03149	0,6499	0,04263
Q101	0,07185	0,07791	0,56883	0,0732
Q125	0,19716	0,30702	0,33709	0,05305
Q113	0,17839	0,09548	0,0033	0,76494
Q124	0,13369	0,22329	0,20083	0,419
Q108	0,29065	0,05885	0,2421	-0,44915

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como o realizado no caso da AFE para a prova de 2012, foi calculada a variância explicada por cada um dos fatores para a prova de 2017. O maior número de fatores e, conseqüente menor quantidade de itens por fator na existência de mais traços latentes demonstram uma menor correlação entre os itens da prova.

Tabela 17: Variância explicada por cada fator para os itens de física do ENEM de 2017

Variância explicada por cada Fator (autovalores)			
Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
1.25	1.15	1.05	1.03

Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar de baixa a variância de cada fator, cada um deles explica ligeiramente melhor o construto do agrupamento do que cada um dos itens isoladamente. Vale destacar que o item Q111-2017 apresenta carga fatorial negativa para o Fator 2 e o item Q108-2017 apresenta este mesmo comportamento no Fator 4, ou seja, ambos os itens apresentam impacto inverso nos seus respectivos fatores. Isto quer dizer que o grupo de alunos que acerta os itens do fator erram este item, e vice e versa.

Com a finalidade de facilitar a leitura da Tabela 18, utilizou-se um código de cores dado por uma escala do item com maior taxa de acerto (verde escuro) até o item com menor taxa de acerto (vermelho).

Tabela 18: Agrupamentos dos itens de física por análise fatorial e taxa de acerto para prova de 2017.

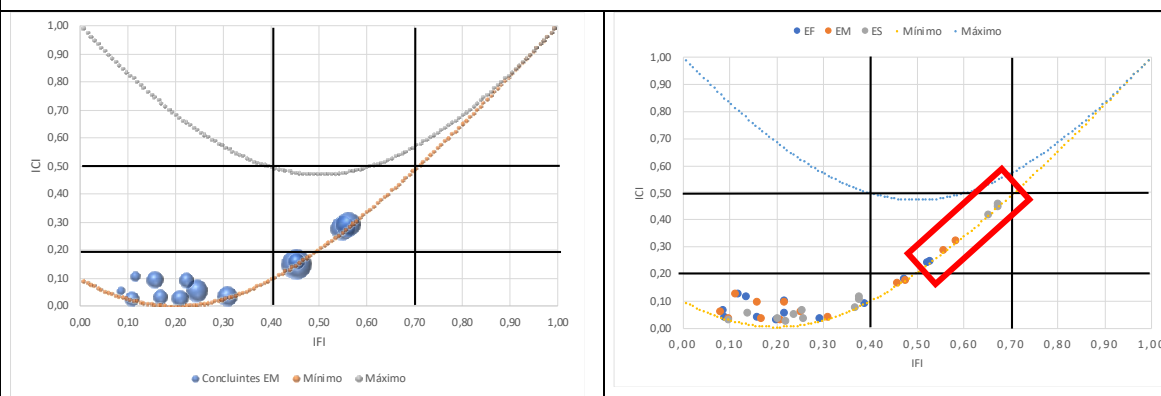
Questão	Fator	IFI	IFI médio
Q103	1	0,407	0,475
Q93	1	0,548	
Q99	1	0,560	
Q123	1	0,385	
Q130	2	0,108	0,239
Q127	2	0,156	
Q111	2	0,453	
Q134	3	0,222	
Q101	3	0,168	0,158
Q125	3	0,085	
Q113	4	0,209	
Q124	4	0,116	0,210
Q108	4	0,307	

Fonte: Elaborado pelo autor

Diferentemente da análise feita para a prova de 2012, para a prova de 2017 faremos a análise dos quatro fatores, buscando identificar as características em

comum entre os itens que compõem cada um dos fatores. Desta forma, buscamos identificar os traços latentes (construtos) que cada um dos fatores representa, do ponto de vista para os candidatos concluintes do ensino médio.

Figura 30: Distribuição dos itens no gráfico de IFI x ICI para os concluintes do ensino médio (esquerda) e para os grupos EF, EM e ES (direita).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como no caso anterior, classificamos os itens nas regiões e sub-regiões de Bao e Redish (2001) para os concluintes do Ensino Médio e para os grupos EF, EM e ES, separadamente. Nesta prova, em nenhum dos grupos que analisamos encontramos itens de física que se enquadram na sub-região A-A, o que significa que, em média, todos os candidatos analisados apresentam dificuldades em todos os itens.

De forma distinta ao que ocorre todos os anos, este é o único ano em que o número de questões classificadas como resposta aleatória é igual no grupo de alunos ES, quando comparado a todos os concluintes do Ensino Médio ou ao grupo EM. Apesar disso, o número de questões classificadas como “dois modelos – certo” ainda é maior neste grupo do que nos demais. Este resultado se deve, entre outras coisas, ao fato de o item Q111-2017 apresentar um comportamento contrário ao esperado, ou seja, quanto menor o nível socioeconômico do candidato, maior a chance de acertá-lo.

Tabela 19: Contagem dos itens em cada região proposta por Bao e Redish (2001) da prova de 2017.

Concluintes do ensino Médio	Respostas aleatória		Dois modelos		Modelo único	
	Aleatória	Múltiplos modelos errados	Errado	Certo	Certo	Errado
Total	9	2	0	2	0	0
EF	10	1	0	2	0	0
EM	9	2	0	2	0	0
ES	9	0	0	4	0	0

Fonte: elaborado pelo autor.

Com um panorama geral da prova definido, passamos agora para a análise dos itens que compõem cada um dos fatores separadamente com o propósito de identificar algumas características em comum entre eles, bem como os construtos que cada um dos fatores representa, do ponto de vista para os candidatos concluintes do ensino médio.

O primeiro fator é composto por quatro itens (Q103-2017, Q93-2017, Q99-2017 e Q123-2017) e é caracterizado por conter itens com acerto médio superior a 47% e nenhuma das alternativas com um distrator mais forte do que a alternativa correta. Isso demonstra uma proximidade entre a proficiência média dos candidatos nestes itens. Apesar disso, não podemos dizer que o IFI do item é condição suficiente para que um item pertença a este fator. O item Q111-2017, por exemplo, apresenta um dos maiores IFI da prova, mas pertencente, com carga fatorial negativa, ao Fator 2.

Além disso, assim como o Fator 1 da prova de 2012, o primeiro fator desta prova também é composto pelos itens com maior índice de discriminação da prova e os quatro itens podem ser classificados na sub-região M-M de Bao e Redish (2001) para o grupo ES, conforme destacado com o retângulo vermelho na Figura 30.

O item Q99-2017, por exemplo, apresenta a maior taxa de acerto entre todos os itens de Física. A questão envolve uma comparação entre os espectros de emissão dos diferentes tipos de lâmpada e pergunta qual das lâmpadas apresenta a maior eficiência, sendo a resposta correta a lâmpada LED (mesma proposta de Q61-2012). Apesar de espectro de emissão ser um conceito físico complexo, a alternativa correta coincide com uma ideia do senso comum (cotidiana), já que é de conhecimento geral

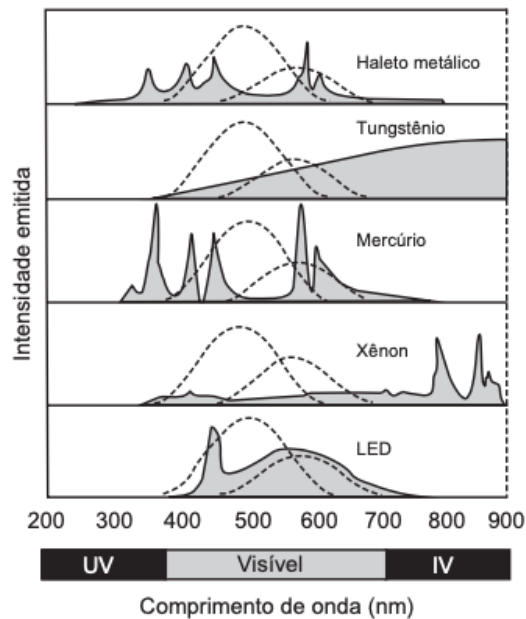
que lâmpadas de LED são mais econômicas e eficientes do que as demais, não sendo necessária sequer a leitura do gráfico para resolução da questão. Sugerimos que, quando isso acontece, o “distrator principal” passa a ser a própria alternativa certa.

Figura 31: Q99-2017 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.

QUESTÃO 99

A figura mostra como é a emissão de radiação eletromagnética para cinco tipos de lâmpada: haleto metálico, tungstênio, mercúrio, xênon e LED (diodo emissor de luz). As áreas marcadas em cinza são proporcionais à intensidade da energia liberada pela lâmpada. As linhas pontilhadas mostram a sensibilidade do olho humano aos diferentes comprimentos de onda. UV e IV são as regiões do ultravioleta e do infravermelho, respectivamente.

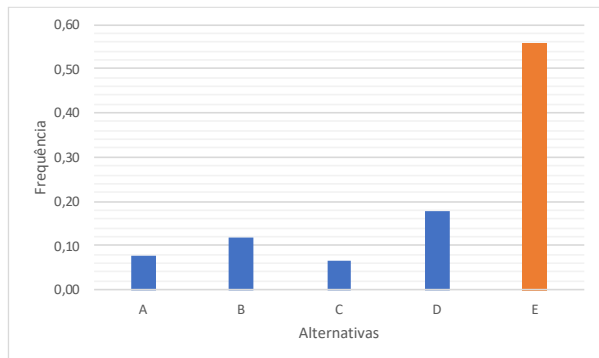
Um arquiteto deseja iluminar uma sala usando uma lâmpada que produza boa iluminação, mas que não aqueça o ambiente.



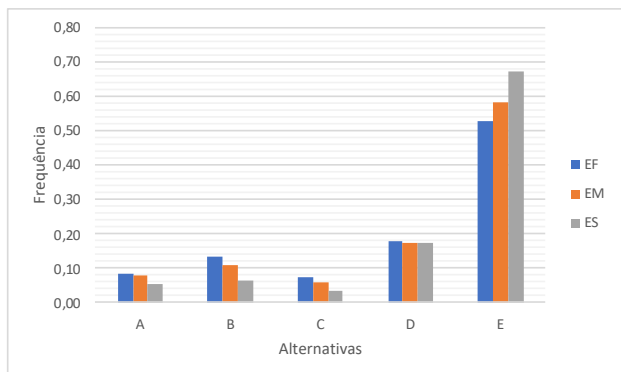
Disponível em: <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu>. Acesso em: 8 maio 2017 (adaptado).

Qual tipo de lâmpada melhor atende ao desejo do arquiteto?

- ☐ A Haleto metálico.
- ☐ B Tungstênio.
- ☐ C Mercúrio.
- ☐ D Xênon.
- ☒ E LED.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

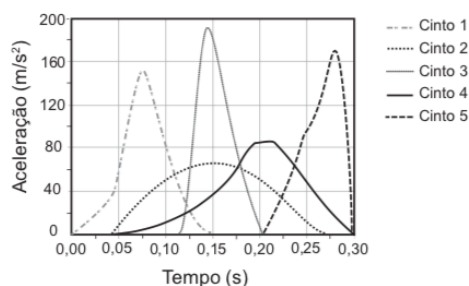
Fonte: Elaborado pelo autor.

O item Q93-2017 (Figura 32) traz como contexto o uso de cinto de segurança. O texto-base apresenta todas as informações necessárias para resolver o item, sendo necessário que o candidato saiba apenas a relação entre aceleração e força, já que se cobra a menor força aplicada no motorista, e é fornecido um gráfico de desaceleração. Como estas grandezas são diretamente proporcionais, mesmo o aluno não perceba esta relação, ele consegue assinalar a alternativa correta. Apesar da clara vantagem do grupo ES sobre os demais, percebe-se que, quando comparado ao que ocorre com o item Q123-2017, por exemplo, o Capital Cultural exerce menos influência neste caso.

Figura 32: Q93-2017 - Item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.

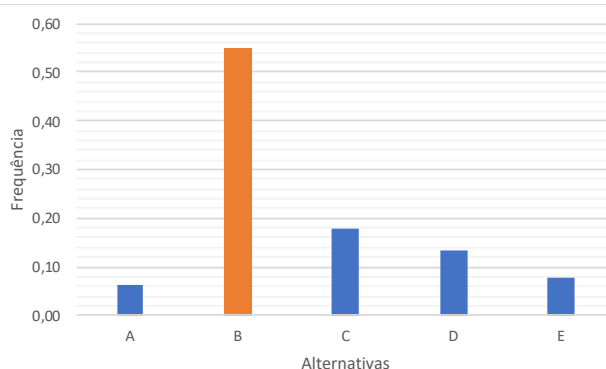
QUESTÃO 93

Em uma colisão frontal entre dois automóveis, a força que o cinto de segurança exerce sobre o tórax e abdômen do motorista pode causar lesões graves nos órgãos internos. Pensando na segurança do seu produto, um fabricante de automóveis realizou testes em cinco modelos diferentes de cinto. Os testes simularam uma colisão de 0,30 segundo de duração, e os bonecos que representavam os ocupantes foram equipados com acelerômetros. Esse equipamento registra o módulo da desaceleração do boneco em função do tempo. Os parâmetros como massa dos bonecos, dimensões dos cintos e velocidade imediatamente antes e após o impacto foram os mesmos para todos os testes. O resultado final obtido está no gráfico de aceleração por tempo.

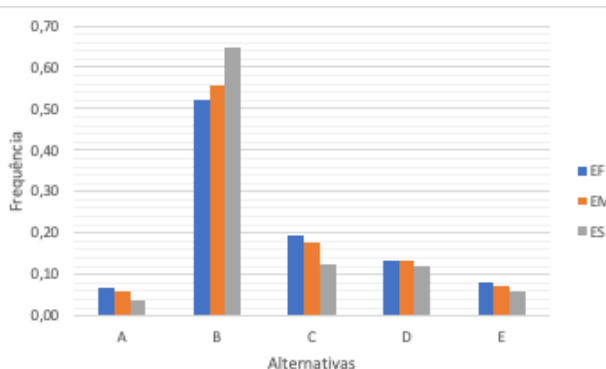


Qual modelo de cinto oferece menor risco de lesão interna ao motorista?

- A 1
- ☒ B 2
- C 3
- D 4
- E 5



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Fonte: Elaborado pelo autor.

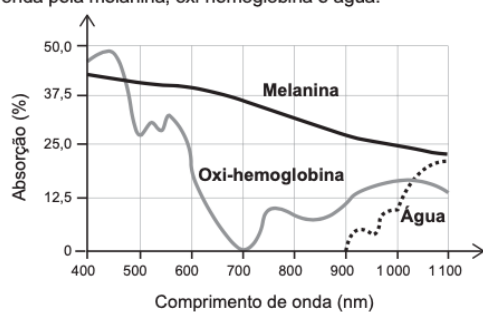
Além disso, mesmo o candidato desconhecendo a relação entre força e aceleração, se o candidato fizer a leitura que o gráfico com menor amplitude é o de menor força ele acertará o item já que essas grandezas são diretamente proporcionais. Neste caso, assim como em Q99-2017, o senso comum e o conceito científico são equivalentes, o que possivelmente faz com que grande parte dos alunos que não conhece formalmente os conceitos físicos consiga resolver o item de forma correta.

O item Q123-2017 (Figura 33), assim como ocorre com os dois anteriores, apresenta em seu texto-base as informações necessárias para a resolução do item. Neste caso, basta a interpretação de texto e gráfico para a resolução do item, não sendo necessário qualquer conteúdo específico da disciplina de Física para a resolução. O contexto, apesar de poder ser considerado cotidiano, isso é verdade para um grupo privilegiado de candidatos, já que o acesso a depilação a laser não deve ser realidade para todos os candidatos que prestam o ENEM.

Figura 33: Q123-2017 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.

QUESTÃO 123

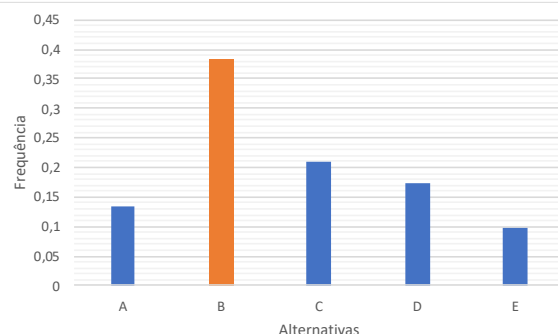
A epilação a *laser* (popularmente conhecida como depilação a *laser*) consiste na aplicação de uma fonte de luz para aquecer e causar uma lesão localizada e controlada nos folículos capilares. Para evitar que outros tecidos sejam danificados, selecionam-se comprimentos de onda que são absorvidos pela melanina presente nos pelos, mas que não afetam a oxi-hemoglobina do sangue e a água dos tecidos da região em que o tratamento será aplicado. A figura mostra como é a absorção de diferentes comprimentos de onda pela melanina, oxi-hemoglobina e água.



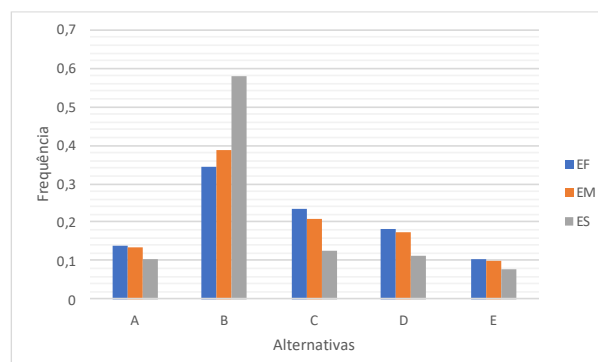
MACEDO, F. S.; MONTEIRO, E. O. Epilação com *laser* e luz intensa pulsada. *Revista Brasileira de Medicina*. Disponível em: www.moreirajr.com.br. Acesso em: 4 set. 2015 (adaptado).

Qual é o comprimento de onda, em nm, ideal para a epilação a *laser*?

- A 400
- ☒ B 700
- C 1 100
- D 900
- E 500



Concluantes do Ensino Médio

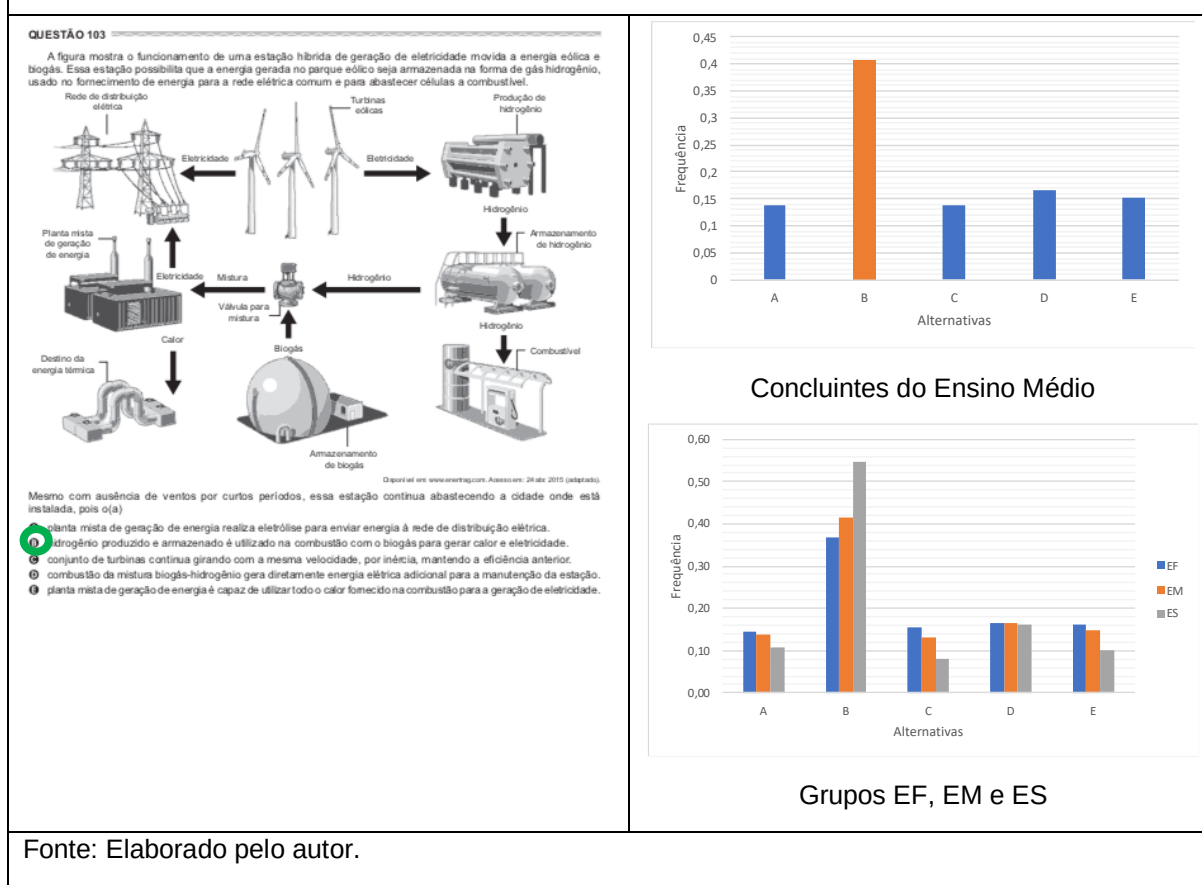


Grupos EF, EM e ES

Fonte: Elaborado pelo autor.

De forma distinta do que acontece com os itens Q99-2017 e Q93-2017, este item apresenta um distrator mais forte (Alternativa C), principalmente para os grupos cujos pais têm menor escolaridade. Esta alternativa sugere que o comprimento de onda ideal para a realização da depilação a laser é o comprimento de onda em que a água apresenta maior absorção e a melanina apresenta menor absorção. O candidato que não conseguir interpretar corretamente o texto pode escolher aquele comprimento de onda que é absorvido tanto pela água, quanto pela melanina e a oxi-hemoglobina. Além disso, a melanina pode ser associada a algo “ruim” por causa de tipos de câncer difundidos como o “melanoma”, gerando uma ideia errada de que, quanto menor absorção tiver na melanina, melhor.

Figura 34: Q103-2017 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O último item pertencente ao Fator 1 é o item Q103-2017 (Figura 34). O item apresenta um contexto técnico de geração de energia elétrica por usina eólica com geração de hidrogênio combustível. É um item conceitual e qualitativo para o qual é necessária a leitura de texto e figura, mas não é necessário nenhum conhecimento prévio, dado que todas as informações estão dadas no texto-base. O item exige

interpretar a figura a partir do esquema da geração de energia. Apesar disso, conhecer procedimentos como hidrólise, inércia e combustão podem favorecer o candidato a excluir as alternativas incorretas, o que talvez explique a diferença no desempenho dos grupos analisados.

Em suma, podemos dizer que o primeiro fator é composto de quatro itens que apresentam uma estrutura híbrida com texto e gráfico/figura no seu texto base (VILLAR; KLEINKE, 2020). Outra característica comum em todos eles é que, para sua resolução, o candidato deve interpretar o texto e o gráfico, mobilizando conhecimentos de Física nesta interpretação. Todos os itens têm caráter qualitativo e, segundo Nascimento (2018), quando o item tem essa característica e exige conhecimento específico de Física, ele gera menor desigualdade entre grupos sociais, apesar de ter um alto poder de discriminação entre os candidatos que sabem e os que não sabem o conteúdo.

Três das quatro questões deste fator buscam uma aproximação com o cotidiano dos candidatos, já que envolvem eficiência de lâmpadas (Q99-2017), depilação a laser (Q123-2017) e uso do cinto de segurança em veículos (Q93-2017). Quando isso ocorre, os candidatos tendem a apresentar maior acerto do que quando o contexto do item é mais próximo de especialistas (VILLAR; KLEINKE, 2018). Além disso, o nível socioeconômico medido a partir da escolaridade dos pais parece exercer mais influência neste tipo de item, gerando maior diferença na taxa de acerto entre os candidatos dos grupos EF, EM e ES. Por tudo apresentado até aqui chamaremos este fator de “Interpretação de texto e figura/gráfico”.

Por fim, podemos dizer que o Fator 1 da prova de 2017 apresenta características semelhantes ao Fator 1 da prova de 2012, discutido anteriormente. São características dos itens dos dois fatores apresentarem um alto poder de discriminação e pertencente a mesma classificação na matriz de Bao e Redish (2001) para o grupo ES. Todos os itens aqui presentes são qualitativos e apresentam maior índice de discriminação na prova, o que reforça que carregam características de tópicos trabalhados no Ensino Médio e que diferenciam os alunos que sabem, dos que não sabem Física. Neste sentido, uma sugestão seria propor que as prova de Física do ENEM fossem feitas por itens como os dos fatores 1 destas provas.

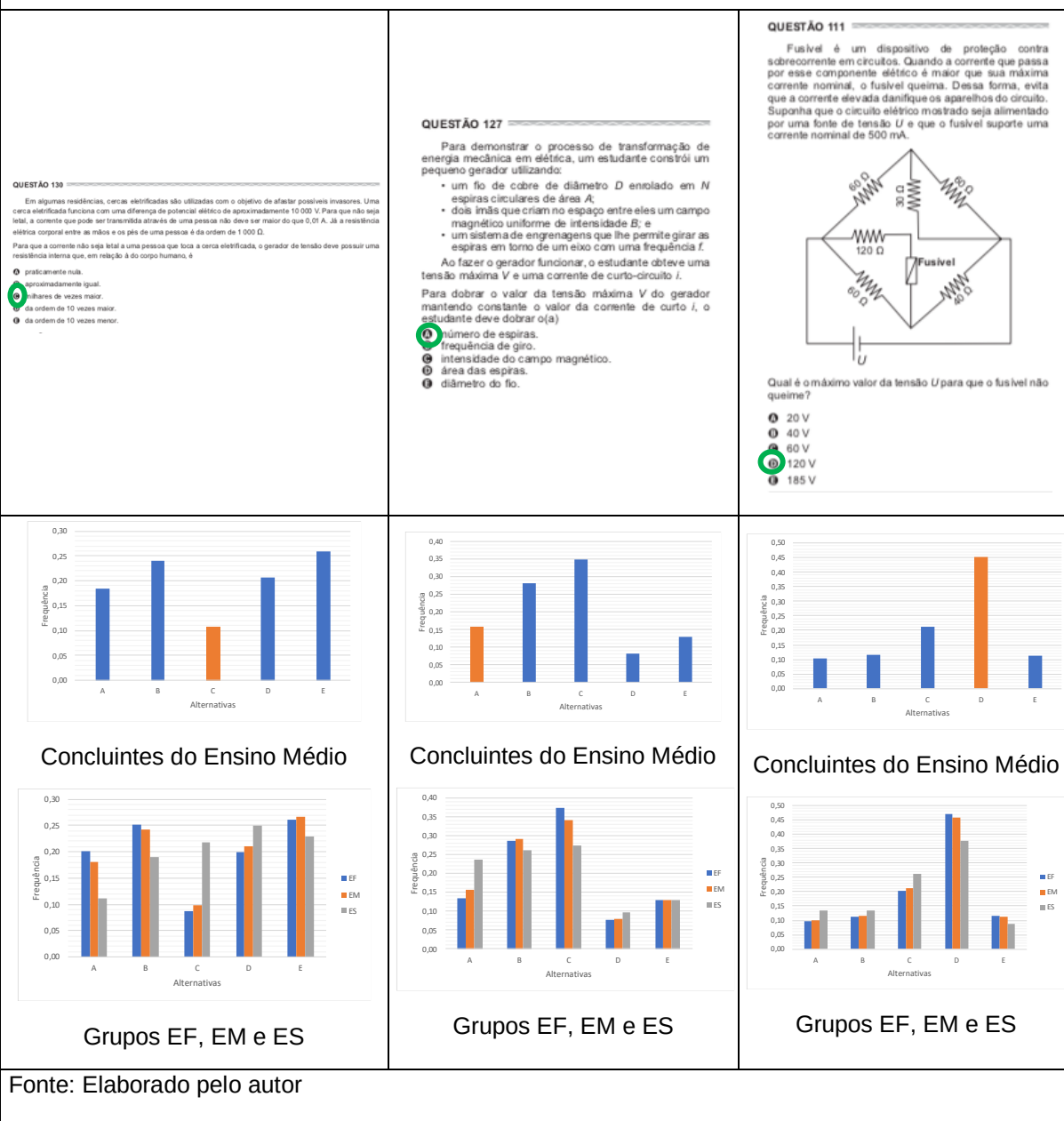
O Fator 2 é composto por três itens (Q130-2017, Q127-2017 e Q111-2017) e, diferentemente do Fator 1, a taxa de acerto média dos itens deste fator está na faixa

de 24%, o que a aproxima de um “chute” em provas de múltipla escolha com 5 alternativas (20%). Este fator será denominado “Física eletricidade”, já que todos os itens do fator tratam de um campo específico, a eletricidade, como veremos a seguir.

O primeiro item que analisaremos do Fator 2 é o item Q111-2017 que apresenta carga fatorial negativa. Isso implica que o grupo de alunos que acertou as demais questões tem menos chance de acertar esta questão do que os candidatos que mais erram as demais questões. Este fenômeno se confirma quando separamos os estudantes por níveis de escolaridades de seus pais, observando-se então uma inversão nos grupos que mais acertam este item. Como podemos perceber pela distribuição das respostas, a chance de assinalar a alternativa certa é maior nos grupos cujos pais têm menor escolaridade, o que pode ser explicado pelo grau de complexidade da sua resolução enquanto raciocínios intuitivos, sem nenhum embasamento científico, levam rapidamente ao valor numérico da alternativa correta.

Vemos que o principal distrator de todos os grupos é a alternativa C, a que atraiu principalmente o grupo ES. Quando analisamos a resolução deste item (Quadro 15) observamos que ele necessita de, ao menos, 4 passos algébricos em sua resolução e que, no primeiro passo encontramos o valor de 60V, valor este presente na alternativa C, aquela que atraiu grande parte dos candidatos com maior proficiência já que, em função do imediatismo, tende-se a assinalar uma alternativa que contenha algum valor presente no cálculo.

Figura 35: Itens e distribuições das alternativas assinaladas pelos candidatos dos itens do fator 2 da prova de 2017



Nakamura (2020) sugere para o item Q111-2017 que todos os grupos escolhem esta alternativa (C) como distrator e que esta escolha está associada à concepção alternativa de que a corrente elétrica se divide igualmente num nó. Já a alternativa correta coincide com o valor numérico da resistência do resistor ao lado do fusível, possivelmente atraindo os candidatos que buscaram formas intuitivas de resposta ao invés de buscar a resolução numérica (CLEMENT, 1994).

Quadro 15: resolução do item Q111-2017 com distratores nos passos intermediários.

Resolução Q111-2017:

Para calcular a diferença de potencial (tensão da fonte) entre os extremos do circuito, temos que calcular a corrente que passa entre estes pontos.

Pelo fusível deve passar uma corrente de $0,5A$ a tensão aplicada no resistor de $120\ \Omega$ e, portanto, no fusível deve ser de $120 \cdot 0,5 = 60V$

Esta diferença de potencial é a mesma que a aplicada no resistor de 60Ω que está em paralelo, a corrente i_1 que deve passar por este resistor deve ser de

$$60 = 60 \cdot i_1 \Rightarrow i_1 = 1A$$

Sendo assim, a corrente máxima total que passa por esta ramificação é de $i_{total} = i_{fusível} + i_1 = 1,5A$

Como a resistência equivalente neste ramo é de $R_{eq} = \frac{120 \cdot 60}{120 + 60} + 40 = 80\Omega$ e os ramos estão em paralelo, podemos calcular U como:

$$U = 80 \cdot 1,5 = 120V$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já o item Q127-2017 aborda um experimento de bancada de laboratório de Física (especialista) em que um estudante propõe a construção de um mini gerador com imã e bobina. Villar e Kleinke (2018) mostram em seu trabalho que, quando o item tem caráter experimental próximo da realidade de especialistas, o desempenho dos candidatos é baixo em todos os grupos socioeconômicos. O enunciado pede para que o candidato avalie o que deve ser alterado no experimento para que a tensão elétrica máxima gerada dobre e a corrente elétrica permaneça constante.

Por fim, o item Q130-2017 também aborda conteúdos de eletricidade e trata de uma situação cotidiana de instalação e funcionamento de uma cerca elétrica para proteção de casas contra possíveis invasores. O texto-base fornece as condições necessárias para que o choque da cerca elétrica não seja letal e pede a resistência interna do gerador de forma a respeitar a condição dada no texto. Nakamura (2020) aponta que o item aborda um conteúdo não adequado ao currículo escolar e que as escolhas erradas estão associadas à busca por soluções intuitivas que evitem a manipulação algébrica. Segundo a autora, os candidatos fazem divisões por inteiros ou buscam valores em evidência no texto-base para responder o item. Pensamos que o candidato pode acreditar que “milhares de vezes maior” não é um valor possível para resistência interna de um gerador, o que pode afastar o candidato que resolve por intuição.

Podemos concluir, portanto, que nos itens deste fator é preciso dominar os conceitos físicos relacionados a eletricidade e/ou manipulação de equações, o que exige do candidato um maior nível de abstração e estratégia mais próxima da dominada por especialistas para sua resolução. Todos os itens abordam conteúdos

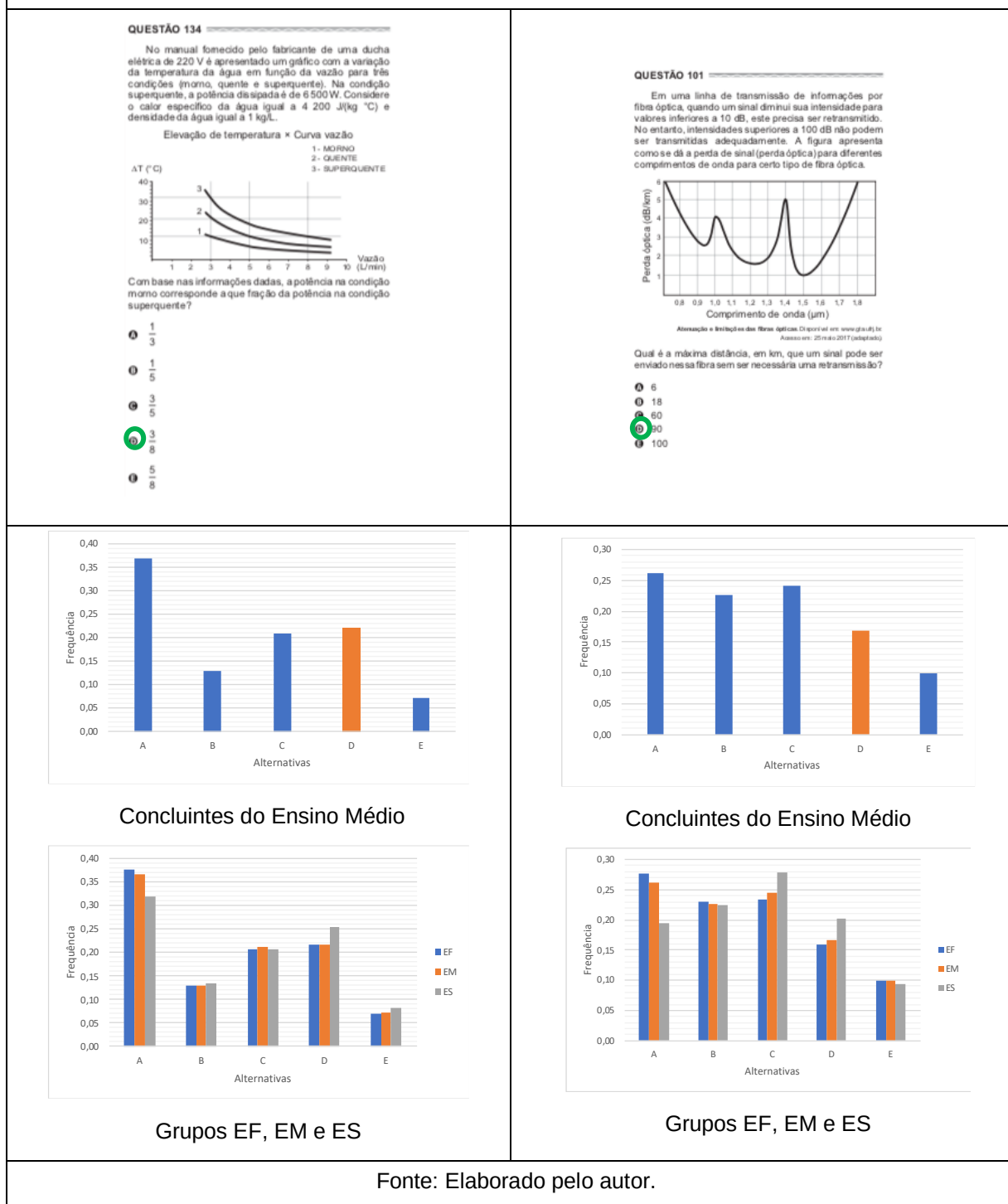
de eletricidade previstos no currículo do Ensino Médio e estão associados ao objetivo 5 de conhecimentos da matriz de referência do ENEM.

O Fator 3 é composto por dois itens (Q134-2017, Q101-2017). Estes itens abordam temáticas da Física de altíssima complexidade, seja pelo conteúdo exigido, mais próximo de uma Física de 3º grau (Q101-2017), ou por conter “pegadinha” no enunciado (Q134-2017), o que pode confundir até o candidato mais preparado que, em função do curto espaço de tempo e da necessidade imediata de uma resposta, acaba assinalando a alternativa errada. O índice de acerto médio deste fator é menor do que 16% para o grupo analisado, ou seja, em média, a quantidade de alunos que acertam esses itens é menor do que a taxa de acerto associada ao “chute”. Ademais, os itens são relacionados a objetivos de conhecimentos distintos: Q134-2017 com o objetivo 7 e Q101-2017 com o objetivo 6.

As questões deste fator apresentam uma ou mais alternativas que atraíram os candidatos mais fortemente do que a alternativa correta (distratores fortes). Questionamos a pertinência deste tipo de item em uma prova como o ENEM que se propõe avaliar alunos ao final da escolaridade básica. Este fator será denominado “Física do 3º grau”.

O Item Q134 apresenta um distrator que está associado ao que chamaremos de “pegadinha” no enunciado, uma vez que, para a resolução do item, é necessário realizar a leitura do gráfico e nele, o valor da variação de temperatura para uma vazão de 3 L/min , em um olhar desatento, parece ser de 10°C na função “morno” e 30°C na função “superquente”, quando na verdade são de 12°C e 32°C , respectivamente. Se as contas forem feitas utilizando os primeiros valores, a alternativa correta é 1/3, ou seja, a alternativa A.

Figura 36: Itens e distribuições das alternativas assinaladas pelos candidatos dos itens do fator 3 da prova de 2017



Este tipo de “pegadinha” é um forte distrator para os novatos menos treinados, ou seja, com menor proficiência, e diferentemente do Q111-2017, apresenta-se como um distrator mais forte do que a alternativa correta; ainda, é possível observar que os estudantes com maior proficiência têm mais chance de acertar o item do que os demais grupos.

Este fator, composto por itens com baixo índice de acerto e que não discriminam os candidatos que apresentam alto desempenho dos que apresentam baixo desempenho na prova, será nomeado como “Física do 3º grau”. Com base em todos estes fatos, os autores levantam os seguintes questionamentos: Estes itens são adequados para medir ou aferir conhecimento de estudantes de Ensino Médio? Estes itens são adequados para selecionar os candidatos mais aptos para as vagas no Ensino Superior? Em suma, estes itens estão adequados para atender aos objetivos propostos pelo ENEM? Entendemos que este tipo de item nem seleciona, tampouco avalia de forma correta e, portanto, não deveria fazer parte deste exame.

Os itens dos fatores 2 e 3 se assemelham muito aos itens presentes nos vestibulares tradicionais “conteudistas” que valorizam mais os conteúdos do que as habilidades e competências dos candidatos propostas nos documentos oficiais. Este é um resultado esperado e já apontado por Costa-Beber e Maldner (2015).

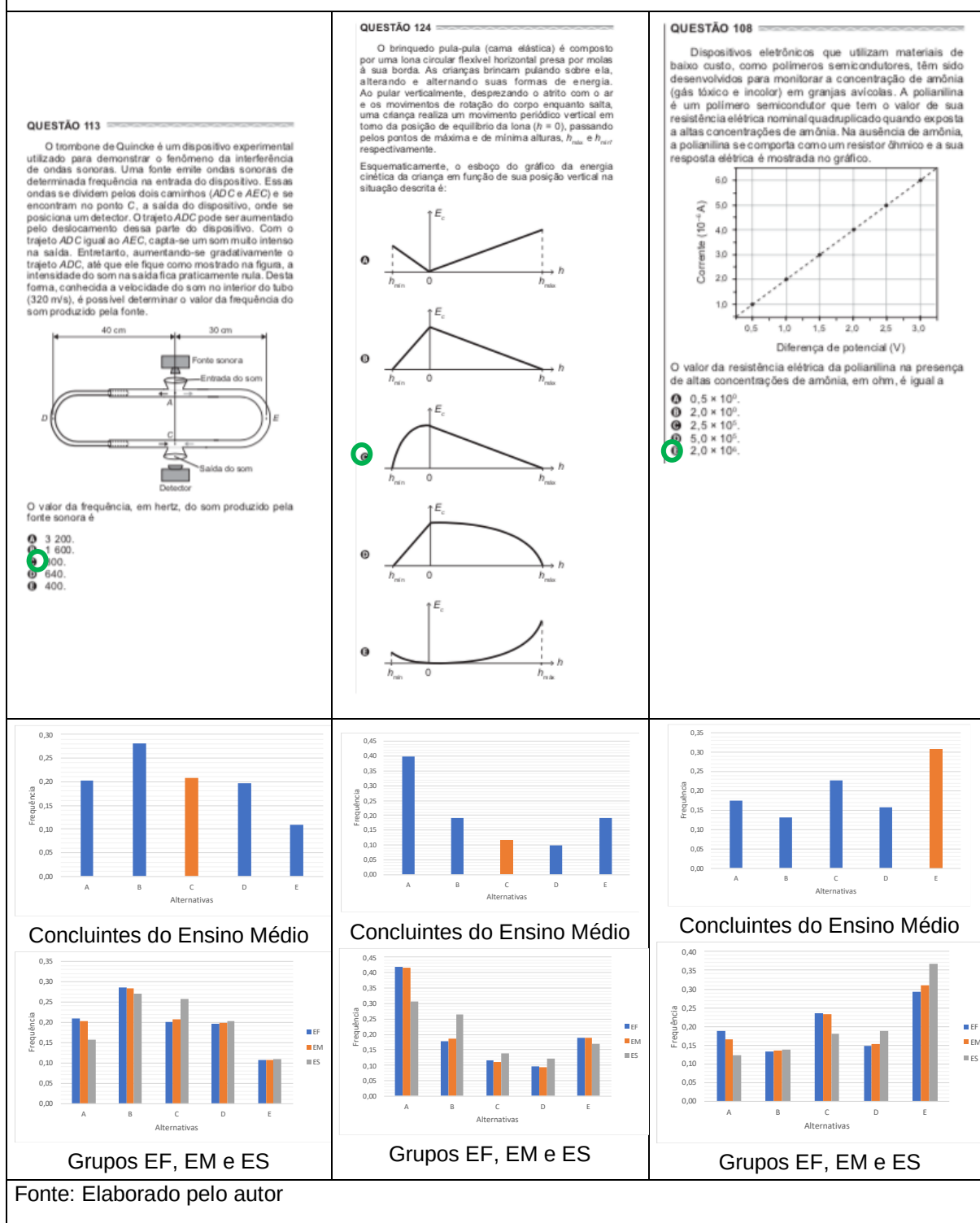
Por fim, o quarto fator, também composto por 3 itens (Q113-2017, Q124-2017 e Q108-2017), contém itens com conteúdos de Física tratados no ensino médio (ondulatória, energia e leis de Ohm) e necessitam um conhecimento prévio como ponto de partida para resolução. Nestes itens, não é possível o uso de intuição ou concepções não científicas para sua resolução. Este tipo de item apresenta menor acerto de acordo com Barroso *et al.* (2018). Além disso, para sua resolução, é necessário a memorização de fórmulas e de conceitos físicos, sem os quais não é possível resolver o item pelo senso comum ou por lógica.

Todos os itens deste fator exigem do candidato interpretação de texto e figura ou gráfico, além da manipulação algébrica de fórmula, sendo impossível resolver o item apenas com uma destas 3 habilidades:

- Interpretar texto com situação problema;
- Interpretar figura ou gráfico e associar com a situação problema; e
- Lembrar e manipular algebricamente fórmula.

Isto posto, chamaremos este fator de “três habilidades em física”.

Figura 37: Itens e distribuições das alternativas assinaladas pelos candidatos dos itens do fator 4 da prova de 2017



O item com maior acerto deste fator, mas que apresenta carga fatorial negativa para o fator é o item Q108-2017. Verifica-se que, além ser necessária a leitura de gráfico, é preciso que o candidato lembre a relação entre resistência, tensão e corrente elétrica (lei de Ohm) e a realização de uma operação algébrica. Este item apresenta

um forte distrator na alternativa C, que pode estar associado a um erro cometido por aqueles alunos menos atentos e menos preparados e que não percebem no texto-base o seguinte trecho: “(...) tem o valor de sua resistência elétrica nominal **quadruplicado** quando exposta a altas concentrações de amônia.”. Desta forma, se o candidato não perceber que a resistência é quadruplicada na presença da amônia e fizer a conta utilizando apenas o gráfico, terá a alternativa C como resposta. Consideramos que este item contém uma “pegadinha”, dado que o conceito físico associado foi corretamente utilizado pelos candidatos que assinalaram a alternativa C, mas o imediatismo associado ao pouco tempo que o candidato tem para a realização de cada item faz com que ele assinale a alternativa incorreta (MARCOM; KLEINKE, 2017).

O item Q124-2017 aborda uma situação cotidiana de brinquedo de crianças ou academia que não é de fácil acesso a grande parte das pessoas. O enunciado pede para que o candidato identifique qual gráfico representa melhor a variação de energia cinética em função da altura da criança pulando na cama elástica. Para isso, é necessário analisar os movimentos e escrever as equações da conservação de energia isolando o termo da energia cinética.

O item da cama elástica apresenta ao menos três alternativas mais escolhidas do que a alternativa correta em todos os grupos analisados; enquanto os grupos de menor nível socioeconômico preferem a alternativa A, o grupo ES fica dividido entre A e B. A escolha da alternativa A pode estar associada à leitura equivocada do texto-base e à tentativa de resolução por intuição. O texto-base fala que a criança realiza um movimento periódico em torno de uma posição de equilíbrio, que foi chamado de $h = 0$, e passa pela altura máxima e mínima. Seria uma tentativa enxergar o gráfico como uma foto do movimento (BEICHNER, 1994). Já a escolha pela alternativa B depende de o candidato conseguir resolver parcialmente o item já que aparentemente consegue perceber que a energia cinética da criança deve se anular nos pontos de altura mínima (com a cama elástica esticada ao máximo) e máxima (altura máxima do pulo), mas não conseguiram isolar o termo de energia cinética para escolher a curva que melhor represente esta função.

Por fim, o item Q113-2017 apresenta como contexto um experimento de bancada (especialista) que é utilizado para o estudo de interferência de ondas sonoras. Villar e Kleinke (2018) e Oliveira (2014) apontam que o desempenho de

todos os níveis socioeconômicos é mais baixo quando o item apresenta este tipo de contexto. Além disso, ele necessita de dois tipos de leitura: texto e figura, e múltiplos passos algébricos em sua resolução. É necessário que o candidato conheça a equação fundamental da ondulatória e as condições necessárias para que haja interferência construtiva e destrutiva entre ondas.

As escolhas erradas neste item podem estar associadas à interpretação errada do texto e evidenciam a busca de formas intuitivas que evitem as soluções matemático-dedutivas (CLEMENT, 1994). Além disso, outra fonte de erro é o uso de formas simbólicas que gerem valores numéricos presentes nas alternativas em passos intermediários da resolução do item *multistep* associados ao imediatismo dos candidatos (MARCOM; KLEINKE, 2017).

Excluído de todos os fatores, o item Q125 apresenta carga fatorial próximo ao limite inferior para o Fator 2 e Fator 3, e será analisado de forma independente.

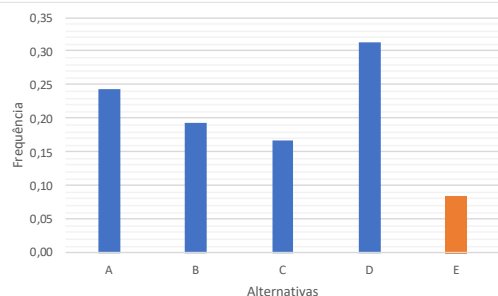
Figura 38: Q125-2017 - item e distribuição das alternativas assinaladas pelos candidatos.

QUESTÃO 125

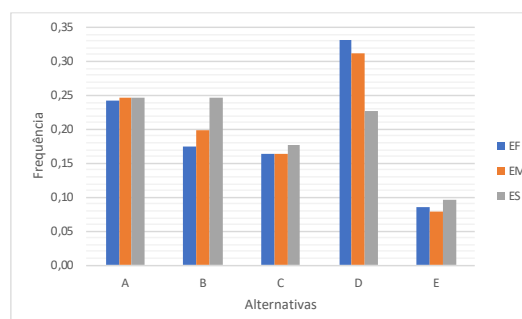
Um motorista que atende a uma chamada de celular é levado à desatenção, aumentando a possibilidade de acidentes ocorrerem em razão do aumento de seu tempo de reação. Considere dois motoristas, o primeiro atento e o segundo utilizando o celular enquanto dirige. Eles aceleram seus carros inicialmente a $1,00 \text{ m/s}^2$. Em resposta a uma emergência, freiam com uma desaceleração igual a $5,00 \text{ m/s}^2$. O motorista atento aciona o freio à velocidade de $14,0 \text{ m/s}$, enquanto o desatento, em situação análoga, leva $1,00$ segundo a mais para iniciar a frenagem.

Que distância o motorista desatento percorre a mais do que o motorista atento, até a parada total dos carros?

- ☐ A 2,90 m
- ☐ B 14,0 m
- ☐ C 14,5 m
- ☐ D 15,0 m
- ☒ E 17,4 m



Concluientes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar de ser um assunto trabalhado exaustivamente no Ensino Médio, o que pode ter feito com quem ele apresente carga fatorial próxima ao limite inferior para o fator 2 é o fator dele necessitar de, ao menos, 9 etapas para sua resolução, sendo que todas as alternativas apresentam valores numéricos iguais às etapas intermediárias e que apenas os candidatos que chegam até a última etapa atingem o valor esperado, conforme indicado na resolução no Quadro 16.

Quadro 16: Resolução e distratores do item Q125-2017 com indicação de possíveis distratores presentes nos passos intermediários da resolução do item.

Resolução e distratores Q125
Temos que determinar a distância percorrida pelo motorista atento e o motorista distraído para determinar a diferença entre as distâncias percorridas. Para o motorista atento, temos primeiro que determinar o tempo e a distância percorrida até atingir 14 m/s a partir do repouso $v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow 14 = 0 + 1 \cdot t \Rightarrow t = 14 \text{ s} \text{ (valor numérico igual ao da alternativa B)}$ $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \Rightarrow 14^2 = 0^2 + 2 \cdot 1 \cdot \Delta s_1 \Rightarrow \Delta s_1 = 98 \text{ m}$ Após o início da frenagem, temos agora que determinar a distância percorrida até parar: $0^2 = 14^2 + 2 \cdot (-5) \cdot \Delta s_2 \Rightarrow \Delta s_2 = 19,6 \text{ m}$ Logo, a distância total percorrida pelo motorista atento foi de $\Delta s_{total_1} = 98 + 19,6 = 117,6 \text{ m}$ O motorista que utiliza o celular passou 1 s a mais do que o motorista atento acelerando antes de frear, portanto, levando, portanto, 15 s até começar a frear. Logo, a velocidade atingida e distância percorrida por ele neste intervalo de tempo a partir do repouso foi de: $v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow v = 0 + 1 \cdot 15 \Rightarrow v = 15 \text{ m/s} \text{ (Valor numérico igual ao da alternativa D)}$ $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \Rightarrow 15^2 = 0^2 + 2 \cdot 1 \cdot \Delta s_3 \Rightarrow \Delta s_3 = 112,5 \text{ m}$ Assim, a distância percorrida durante a frenagem até parar foi de $0^2 = 15^2 + 2 \cdot (-5) \cdot \Delta s_4 \Rightarrow \Delta s_4 = 22,5 \text{ m}$ A distância total percorrida pelo motorista desatento foi de $\Delta s_{total_2} = 112,5 + 22,5 = 135 \text{ m}$ Portanto, a distância percorrida a mais pelo motorista desatento é de: $\Delta s_{diferença} = 135 + 117,6 = 17,4 \text{ m} \text{ (Alternativa E - Correta)}$ Outros distratores: Se o candidato subtrair as distâncias percorridas pelos motoristas até começar a frear: $\Delta s_A = 22,5 - 19,6 = 2,9 \text{ m} \text{ (Alternativa A)}$ Se o candidato subtrair as distâncias percorridas pelos motoristas durante as frenagens: $\Delta s_A = 112,5 - 98 = 14,5 \text{ m} \text{ (Alternativa C)}$

Fonte: Elaborado pelo autor

O fato de cinemática ser trabalhado em exaustão nos cursos de física do ensino médio faz com que os estudantes tenham tido contato com este assunto e provavelmente consigam realizar algumas operações, buscando uma resposta plausível para o problema. Pelo item exigir a manipulação de muitas etapas algébricas, quando o aluno encontra algum valor presente nas alternativas, pela falta de tempo e experiência, tende a assinalar como alternativa, sendo atraído facilmente por um dos quatro distratores presentes no item, ou seja, todas as alternativas são distratores relevantes. Nascimento (2019) não concorda com a presença deste tipo de item na prova do ENEM.

Dessa forma, questionamos a necessidade de colocar na prova de Física questões que exigem um formalismo matemático mais avançado, afinal, esses itens acabam inadvertidamente servindo para favorecer estudantes com condições socioeconômicas mais privilegiadas. (NASCIMENTO, 2019, p.138)

Este resultado também está de acordo com Marcom e Kleinke (2016). Logo, além de não estar associado com nenhum fator fortemente, este item não está associado com a prova como um todo.

Em suma, podemos dizer que dos quatro fatores gerados por AFE na prova de 2017, em um deles encontramos os itens com alto poder de discriminação agrupados. Identificamos que o que eles têm em comum é o fato de serem itens predominantemente de interpretação de texto e que são apresentados em seu texto-base com texto e figura/gráfico. Este fator também tem como característica a classificação dos itens na matriz *ICIXIFI* proposta por Bao e Redish (2001) para o grupo ES. Assim como o fator 1 de 2012, este fator que envolve o que chamaremos de “Física escolar” para o grupo ES identificamos que a resposta dos candidatos se concentra em uma alternativa correta ou na alternativa correta e em mais uma alternativa. Nos demais fatores, encontramos itens semelhantes aos presentes em vestibulares tradicionais, nos quais o único propósito é selecionar os candidatos ao invés de avaliar a proficiência do aluno.

Seguindo esta metodologia, determinamos para as demais provas (2013, 2014, 2015 e 2016) as características dos itens agrupados por AFE do ponto de vista do grupo composto pelos concluintes do Ensino Médio e procuramos características em comum para sugerir um possível traço latente que tenha feito com que os itens se agrupem em um mesmo fator. Este resultado está apresentado na seção 4.2.2.

Além de analisar os fatores gerados por análise fatorial para os concluintes do ensino médio, podemos também nos perguntar se estes agrupamentos são comuns em qualquer grupo de candidatos, quando analisados separadamente, ou seja, se o padrão de respostas dos estudantes para um mesmo grupo de itens é diferente em cada um dos grupos analisados.

Uma forma de analisar isso é aplicar a análise fatorial exploratória para os diferentes grupos analisados (EF, EM e ES) e comparar os agrupamentos, observando quais itens permanecem agrupados de forma semelhante e quais itens passam a fazer parte de novos agrupamentos, buscando entender o que faz com que

um determinado item passe a fazer parte de um fator diferente em cada grupo. Esta análise está apresentada na seção 4.2.3 deste trabalho.

4.3.2 Agrupamentos dos itens de física por AFE para os concluintes do Ensino Médio

Seguindo a mesma análise apresentada em 4.3.1 para os anos de 2012 e 2017, buscamos compreender os possíveis traços latentes que possam ter levado os candidatos a responderem os itens agrupados com um mesmo padrão de respostas por AFE para os outros quatro anos considerados neste trabalho. Desta forma, buscamos identificar os construtos das provas de Física do ponto de vista dos alunos a partir das características em comum dos itens agrupados que foram respondidos de forma semelhante.

Apresentamos a seguir os agrupamentos com o nome dado ao fator e as características comuns aos itens. Os itens estão ordenados sequencialmente, indo do que apresenta maior carga fatorial (verde) para o que apresenta menor carga fatorial (vermelho) para o fator em que estão agrupados. Quanto maior a carga fatorial do item em um determinado fator, maior sua correlação com o fator. Com isso, este item expressa os traços latentes do fator de forma mais explícitas. Itens que apresentam carga fatorial negativa, mas alta para o fator, estão apresentados com grifo e apresentam alta correlação, porém traços latentes opostos ao do fator. As cargas fatoriais de cada um dos itens estão em cada agrupamento apresentadas no Apêndice D.

Quadro 17: Agrupamentos dos itens de física do ENEM de 2012 por análise fatorial com determinação das características em comum e o traço latente (nome do fator)

2012			
Fator	Itens	Nome do fator	Características
1	Q71; Q72; Q47; Q54; Q64; Q61; Q50	Exercícios escolares	- Itens classificados como A-A ou M-M para o grupo ES. - Concepções alternativas ou dificuldades de aprendizagem entre as alternativas. - Alto poder discriminatório (itens bons ou bons com necessidade de ajuste). - Exercícios de fixação e problemas de lápis e papel (exercícios escolares) - Física escolar
2	Q88; Q83; Q60; Q55; Q67	Senso comum Física do cotidiano	- Concepção alternativa predominante. - Física aplicada ao cotidiano. - $IFI_{\text{médio}} < 0,2$
3	Q73; Q78; Q74	Física de Especialistas.	- Leitura de texto e figura/gráfico. - Contextos técnicos/especialistas.
Nenhum	Q77	-	- Erros conceituais na formulação do item. - Contexto experimental absurdo. - <i>Multistep</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme já discutido em 4.3.1, os itens da prova de 2012 se agrupam em três fatores para os concluintes do Ensino Médio e o item Q77–2012 não está agrupado em nenhum dos fatores, apresentando características próprias que o tornam diferente dos demais itens da prova como, por exemplo, erros conceituais na formulação que podem ter levado os candidatos a raciocínios corretos e respostas erradas. A média dos índices IFI, ICI e IDI para cada um dos fatores é apresentado na Tabela 20.

Tabela 20: IFI, ICI e IDI médio para os agrupamentos (fatores) obtidos para a os itens de Física do ENEM de 2012

Fator	IFI Médio	ICI Médio	IDI Médio
1	0,42	0,19	0,40
2	0,19	0,11	0,11
3	0,23	0,03	0,16

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por sua vez, quando aplicamos a análise fatorial nos itens de Física de 2013, obtemos cinco fatores, o que indica que não existe muita coerência entre os erros e acertos dos itens como um todo e que a prova é composta por diversos construtos do ponto de vista dos respondentes. Os itens são pouco relacionados entre si e observamos três itens com carga fatorial negativa para os fatores, no máximo quatro itens em um fator e fatores com apenas dois itens. Esse cenário faz com que a identificação dos traços latentes seja mais difícil, conforme já previsto por Hair *et al.* (2009) “Se muitos fatores são mantidos a interpretação se torna mais difícil quando os resultados são rotacionados.” (p. 115)

Quadro 18: Agrupamentos dos itens de física do ENEM de 2013 por análise fatorial com determinação das características em comum e o traço latente (nome do fator)

2013			
Fator	Itens	Nome	Características
1	Q75; Q65; Q61; Q72	Concepções alternativas culturais e sensoriais	- Concepções alternativas ou dificuldades comuns
2	Q52; Q48; Q46; Q87	Qualitativas conceituais	- Dois itens com carga fatorial negativa. A chance de aluno com menor proficiência acertar é maior. - Física de especialista. - Duas perguntas no enunciado (3 itens) - Qualitativas e conceituais
3	Q66; Q85; Q57; Q82	Especialista	- Física do Ensino Superior
4	Q83; Q89	“Pegadinha”	- Quantitativa - Multistep - Algorítmicas na taxonomia de Smith - TBR: Aplicar conhecimento procedural. - “Pegadinha” e concepção alternativas marcantes.
5	Q79; Q76	Concepções alternativas de origem escolar	- Concepções alternativas de origem escolar entre as alternativas. - Leitura e interpretação de texto. - Sem figura de apoio.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que a prova de Física de 2013 é a mais difícil quando comparada às dos outros anos analisados. Este fato pode explicar, em parte, a grande quantidade

de fatores e a dificuldade de agrupar os itens por padrão de respostas. Chama a atenção para o fato de o fator 5 ser composto de dois itens Q79-2013 e Q76-2013 que contém entre as alternativas concepções alternativas de origem escolar. Isso é evidenciado quando grande parte dos candidatos do grupo ES optam por esta alternativa. Temos a média dos índices de cada um dos fatores na Tabela 21.

Tabela 21: IFI, ICI e IDI médio para os agrupamentos (fatores) obtidos para a os itens de Física do ENEM de 2013.

Fator	IFI Médio	ICI Médio	IDI Médio
1	0,17	0,08	0,09
2	0,26	0,12	0,15
3	0,20	0,05	0,13
4	0,26	0,08	0,07
5	0,20	0,04	0,10

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observamos que a prova de 2014 apresenta três agrupamentos (fatores) quando aplicada a AFE. O primeiro fator contém oito itens, sendo que todos são resolvidos por interpretação de texto com aplicação de conceitos de Física. Vale destacar que o Fator 3, por nós denominado de “Contexto experimental de especialistas”, contém itens com experimentos de bancada de laboratório de Física próximo a especialistas. Villar e Kleinke (2018) destacam que, quando isso ocorre, o desempenho dos candidatos de todos os grupos analisados é menor do que quando os itens são contextualizados no cotidiano dos alunos. Isso explica o $IFI_{médio} = 0,17$ e a baixa concentração e poder discriminatório para os itens deste fator.

O Fator 2 contém itens que apresentam uma situação-problema em que o candidato deve levantar uma hipótese para explicar esta situação ou descrever o que aconteceria se uma pequena mudança fosse feita no experimento proposto. Todos os itens são qualitativos e conceituais.

Quadro 19: Agrupamentos dos itens de física do ENEM de 2014 por análise fatorial com determinação das características em comum e o traço latente (nome do fator)

2014			
Fator	Itens	Nome do fator	Características
1	Q76; Q87; Q55; Q90; Q57; Q72; Q50; Q84	Interpretação de texto + conceitos de física	- Interpretação de texto - Não há a necessidade de uso de fórmulas decoradas - Maior poder de discriminação - Conceituais
2	Q67; Q46; Q82; Q66	Levantamento de hipótese a partir de situação problema.	- Descrevem uma situação problema e pergunta o que aconteceria caso houvesse uma pequena alteração ou determinar a causa de um problema. - Levantamento de hipóteses. - Conhecimento de leis da física: Inércia, força centrípeta, pêndulo simples, troca de calor. - Qualitativas e conceituais na taxonomia de Smith
3	Q62; Q64; Q68	Contexto experimental de especialistas.	- Experimentais especialista. - Interpretação de experimento. - Qualitativas – sem manipulação algébrica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se grande proximidade dos três índices para os fatores 2 e 3 nesta prova. O ICI médio da prova como um todo é muito baixo para todos os fatores, mas o IFI e o IDI médios são relativamente maiores no Fator 1. Temos a média dos índices psicométricos dos fatores da prova de 2014 na Tabela 22.

Tabela 22: IFI, ICI e IDI médio para os agrupamentos (fatores) obtidos para a os itens de Física do ENEM de 2014.

Fator	IFI Médio	ICI Médio	IDI Médio
1	0,33	0,08	0,26
2	0,15	0,06	0,08
3	0,17	0,06	0,14

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a prova de 2015, obtivemos três agrupamentos, sendo que dois deles (Itens discriminadores e Física de Especialista) apresentam características muito semelhantes com dois agrupamentos da prova de 2012; por conta disso, e utilizamos os mesmos nomes já escolhidos anteriormente para os fatores.

Quadro 20: Agrupamentos dos itens de física do ENEM de 2015 por análise fatorial com determinação das características em comum e o traço latente (nome do fator)

2015			
Fator	Itens	Nome do fator	Características
1	Q68; Q82; Q86; Q63; Q49; Q85; Q75	Exercícios de fixação.	- IFI médio para o grupo ES. - Itens com maiores IDI para os concluintes do Ensino Médio - Treino e exercícios de fixação
2	Q79; Q50; Q57; Q65; Q88; Q53	Física de Especialista	- Contexto técnico especialista - Distratores fortes
3	Q64; Q70	Energia	- Mecânica/Energia - Interpretação/leitura de texto - Algorítmicas na Taxonomia de Smith - Distratores fortes (na alternativa certa ou não)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Destacamos ainda o agrupamento de duas questões que englobam o conceito de energia e transformação de energia. Trazemos a média dos índices psicométricos dos fatores da prova de 2014 na Tabela 23.

Tabela 23: IFI, ICI e IDI médio para os agrupamentos (fatores) obtidos para a os itens de Física do ENEM de 2015.

Fator	IFI Médio	ICI Médio	IDI Médio
1	0,40	0,14	0,32
2	0,19	0,06	0,17
3	0,34	0,09	0,11

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 21: Agrupamentos dos itens de física do ENEM de 2016 por análise fatorial com determinação das características em comum e o traço latente (nome do fator)

2016			
Fator	Itens	Nome do fator	Características
1	Q57; Q74; Q88; Q84; Q49	Duas perguntas no enunciado	- Qualitativas/conceituais - Duas perguntas no enunciado (é possível o candidato saber responder parcialmente) - Vantagem do grupo ES com exceção do Q49-2016 que apresenta carga fatorial negativa. - Itens com maior poder de discriminação (exceção Q49-2016) - Interpretação de texto + conceito de física
2	Q86; Q55; Q66; Q59	Experimental especialista	- Experimental especialista (laboratório de física) - Distratores fortes
3	Q54; Q47; Q77; Q63; Q82	Algorítmicos	- Quantitativos - Memorização de fórmulas da física - Física Mecânica (Potência, gráfico <i>vxd</i>, quantidade de movimento e polias) - Algorítmico Taxonomia de Smith

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observamos que a carga fatorial negativa indica que o padrão de respostas do item é o inverso do padrão de respostas dos demais itens do fator. No caso do item Q49-2016, temos uma pequena vantagem do grupo EF sobre os grupos EM e EF, o que é contra intuitivo, já que não é de se esperar que o grupo de menor proficiência leve vantagem sobre os demais grupos.

Os dois itens de maior carga fatorial para o Fator 3 abordam a temática de usinas geradoras de energia e envolvem os conceitos de potência e vazão.

Tabela 24: IFI, ICI e IDI médio para os agrupamentos (fatores) obtidos para a os itens de Física do ENEM de 2016.

Fator	IFI Médio	ICI Médio	IDI Médio
1	0,26	0,04	0,21
2	0,17	0,08	0,11
3	0,28	0,09	0,17

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os agrupamentos gerados por análise fatorial para os itens de Física de 2017 foram apresentados e discutidos em maiores detalhes, anteriormente. Mais uma vez, o Fator 1 deste item é composto por itens que necessitam interpretação de texto e conceitos de Física bem estabelecidos. Chama atenção também que esta prova gerou um agrupamento contendo apenas itens de Física elétrica, o que mostra que este traço latente (construto) pode ser mais determinante na hora de responder estes itens do que outros fatores.

Quadro 22: Agrupamentos dos itens de física do ENEM de 2017 por análise fatorial com determinação das características em comum e o traço latente (nome do fator)

2017			
Fator	Itens	Nome do fator	Características
1	Q103 ; Q93; Q99; Q123	Interpretação de texto e figura	- Qualitativo - Interpretação de texto + Figura/Gráfico - Média de acerto acima de 47% - Alto poder discriminatório
2	Q130 ; Q127; Q111	Física Elétrica	- <i>Multistep</i> - Manipulação de equações. - Quantitativo - Eletricidade - Acerto médio inferior a 24%
3	Q134 ; Q101	Física do 3º grau.	- Pegadinha/distratores fortes - <i>Multistep</i> - Acerto médio inferior a 16%
4	Q113 ; Q124; Q108	Três habilidades em física	- Interpretar texto com situação problema. - Interpretar figura ou gráfico e associar com a situação problema. - Lembrar e manipular algebricamente fórmula.
Nenhum	Q125	-	- Se aproxima mais do fator 3 - <i>Multistep</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 25: IFI, ICI e IDI médio para os agrupamentos (fatores) obtidos para a os itens de Física do ENEM de 2017.

Fator	IFI Médio	ICI Médio	IDI Médio
1	0,475	0,191	0,312
2	0,239	0,093	0,123
3	0,158	0,060	0,088
4	0,210	0,057	0,127

Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos notar que, apesar dos agrupamentos não serem os mesmos nas diferentes provas, existem fatores com características semelhantes entre as provas. Identificamos que, com exceção do ano de 2013, todos os outros anos apresentam um fator que agrupa os itens com maior índice de discriminação. Este fator apresenta características do que chamamos de “Física escolar” na seção 4.3.1. Estes itens geralmente apresentam as seguintes características:

- Alto poder de discriminação.
- Sub-região M-M ou A-A e Bao e Redish (2001) para o grupo ES.
- Interpretação de texto.
- Exercícios de fixação ou problemas de lápis e papel.
- Qualitativos ou quantitativo com poucos passos.

Os fatores que compõem este agrupamento com características de “Física escolar” são:

- Fator 1 de 2012 - “Exercícios escolares” (Q71-2012; Q72-2012; Q47-2012; Q54-2012; Q64-2012; Q61-2012; Q50-2012);
- Fator 1 de 2014 - “Interpretação de texto com conceito de Física” (Q76-2014; Q87-2014; Q55-2014; Q90-2014; Q57-2014; Q72-2014; Q50-2014; Q84-2014);
- Fator 1 de 2015 - “Exercícios de fixação.” (Q68-2015; Q82-2015; Q86-2015; Q63-2015; Q49-2015; Q85-2015; Q75-2015);
- Fator 1 de 2016 - “Duas perguntas no enunciado”, com exceção do item Q49-2016 (Q57-2016; Q74-2016; Q88-2016; Q84-2016);
- Fator 1 de 2017 - “Interpretação de texto e figura/gráfico” (Q103-2017; Q93-2017; Q99-2017; Q123-2017).

Além disso, observamos que existe um agrupamento frequente nas provas que

une os itens com contextualização de especialista ou Física de Ensino Superior. Este agrupamento geralmente apresenta os itens com os menores índices de facilidade da prova (itens mais difíceis) e com menor poder de discriminação, o que significa que o item não é bom para classificar e selecionar os candidatos ao Ensino Superior.

Apesar disso, conforme prevíamos, o padrão de resposta dos alunos não depende de uma única variável. Como vimos nesta seção, notamos que os agrupamentos não ocorrem em função de um único critério. Os itens se agrupam por contextualização como propõe Oliveira (2014) e Kleinke (2017), ou se agrupam por tipo de leitura (GIORDANO, 2019) e, em outras ocasiões, em função do objeto de conhecimento (MARCOM; KLEINKE, 2016; BARROSO *et al.*, 2018), por ser qualitativa ou quantitativa (GOLÇALVES JR; BARROSO, 2014; NAKAMURA *et al.*, 2021), ou por taxonomia (SILVA; MARTINS, 2014; MARCOM, 2019; VILLAR *et al.*, 2021), ou ainda por concepções alternativas e dificuldades de aprendizagem (YAGUTI; GEBARA, 2015; NAKAMURA, 2020).

Neste sentido, a análise fatorial exploratória (AFE) se mostrou uma ferramenta viável para separar os itens por padrão de resposta e identificar *a posteriori* os construtos da prova de Física do ENEM.

Apesar de o grupo dos concluintes do Ensino Médio apresentar o padrão de respostas e as leituras da prova analisadas nesta seção, apresentam padrões de resposta diferentes do grupo como um todo quando são subdivididos em grupos mais homogêneos entre si pelo grau de escolaridade dos pais. Enquanto temos grande parte dos alunos do grupo EF entre os alunos com menor desempenho na prova, existe uma parcela significativa dos alunos do grupo ES que acerta os itens com maior frequência. Isso é possível perceber pelos gráficos de frequência dos itens.

Neste sentido, apresentamos na seção 4.3.3 quais são as semelhanças e diferenças dos agrupamentos gerados por AFE para os itens de Física nos grupos separados (EF, EM e ES).

4.3.3 Influência da escolaridade dos pais nos agrupamentos dos itens de física por AFE

Buscando responder se os agrupamentos por análise fatorial são os mesmos em todos os grupos analisados (EF, EM e ES), realizamos a AFE para todos os grupos, buscando identificar características comuns e diferentes destes agrupamentos. A título de exemplo, utilizaremos novamente a prova de 2017 para ilustrar os principais resultados obtidos (VILLAR; KLEINKE, 2020). Os demais agrupamentos são encontrados no Apêndice D deste trabalho.

Na busca por compreender como, entre os grupos analisados, variam os itens que compõem os agrupamentos, aplicou-se a análise fatorial para as respostas aos itens de Física do ENEM nos grupos EF, EM e ES (Tabela 26).

Tabela 26: Fatores gerados por análise fatorial exploratória para os grupos EF (esquerda), EM (centro) e ES (direita) da prova de física de 2017 com as respectivas cargas fatoriais de cada item.

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4			Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4			Fator 1	Fator 2	Fator 3
Q99	0,51351	0,06373	0,03659	0,11211		Q103	0,52404	0,07431	0,05072	0,03898		Q93	0,55021	0,06346	0,11075
Q103	0,49742	0,00723	0,00234	0,03191		Q99	0,50299	0,12852	0,0568	0,09559		Q99	0,53114	0,20844	0,09527
Q93	0,45258	0,04313	0,24611	0,17969		Q93	0,50152	0,00379	0,15657	0,03364		Q103	0,52951	0,14926	0,04789
Q108	0,39754	0,07053	0,24056	0,17361		Q123	0,44812	0,28124	0,04149	0,17515		Q123	0,46043	0,34146	0,15711
Q130	0,04525	0,53401	0,02887	0,11165		Q130	0,11159	0,55513	0,11713	0,07359		Q108	0,33392	0,17724	0,14435
Q127	0,1982	0,53368	0,17904	0,13425		Q127	0,17236	0,47011	0,12489	0,02969		Q111	0,13974	0,64354	0,10355
Q125	0,12835	0,3412	0,21297	0,07335		Q111	0,15573	-0,58838	0,08793	0,04467		Q113	0,07422	-0,2218	0,02709
Q111	0,18264	-0,5203	0,03886	0,02129		Q101	0,10438	0,08322	0,64074	0,07217		Q127	0,1934	-0,37167	0,02045
Q101	0,1331	0,05035	0,65088	0,14979		Q134	0,02954	0,02357	0,6189	0,04745		Q130	0,2559	-0,6372	0,33179
Q134	0,03886	0,08688	0,57467	0,19868		Q125	0,17029	0,30379	0,32358	0,09142		Q101	0,18308	0,32666	0,53339
Q113	0,07188	0,13221	0,02902	0,73479		Q113	0,20083	0,07522	0,01787	0,7336		Q134	0,05166	0,0935	0,53088
Q123	0,405	0,18044	0,00324	0,45397		Q124	0,15771	0,22776	0,20753	0,36892		Q125	0,05613	0,15035	0,46645
Q124	0,15658	0,25857	0,27663	0,32652		Q108	0,24836	0,05352	0,1596	-0,53121		Q124	0,1148	0,24005	0,4652

Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos observar que o nível de instrução dos pais interfere nos agrupamentos (fatores). Podemos verificar que, enquanto no grupo ES existem apenas três fatores, nos grupos EF e EM temos quatro fatores, assim como para os concluintes do Ensino Médio. Quanto menor o número de fatores, maior a quantidade de itens por fator e, portanto, mais correlacionados são os itens da prova do ponto de vista dos respondentes. Por outro lado, quanto maior a quantidade de fatores, menor o número de itens de física agrupados no mesmo fator e, conseqüentemente, menos correlação entre os itens existe. Neste caso, existem muitos traços latentes diferentes que fazem com que os alunos respondam os itens de forma independente um do outro.

No limite de na análise fatorial ser gerado apenas um fator, poderíamos dizer que os alunos enxergam a prova com um único traço latente, que poderia ser, por

exemplo, “Física do Ensino Médio”. No outro limite, temos o caso de termos o mesmo número de fatores e de itens, o que significaria que cada item apresenta um traço latente próprio e único e não existem características em comum que possam agrupar estes itens por padrão de respostas.

Além disso, a separação dos itens por fator no grupo ES sugere seguir uma lógica de agrupamento por nível de dificuldade dos itens, onde o Fator 1 representa as questões fáceis, o Fator 2 as intermediárias e o Fator 3 as difíceis. Dos quatro itens que constituíam o fator “leitura de gráfico/figura e texto”, três deles estão presentes no Fator 1 de todos os grupos, quando analisados separadamente. Apenas o item Q123-2017 não está presente no grupo EF. Analisando o padrão de respostas, observa-se que, no grupo EF, apesar de a alternativa B ser a mais escolhida entre os candidatos, o item apresenta padrão de resposta mais próximo de aleatório, já que a diferença entre a escolha pelas alternativas B, C e D é pequena.

Tabela 27: Agrupamentos dos itens de física por análise fatorial e taxa de acerto dos grupos EF, EM e ES, respectivamente.

EF	Fator	IFI	IFI médio	EM	Fator	IFI	IFI Médio	ES	Fator	IFI	IFI Médio
Q99	1	0,526	0,426	Q103	1	0,414	0,484	Q93	1	0,65	0,563
Q103	1	0,369		Q99	1	0,581		Q99	1	0,672	
Q93	1	0,519		Q93	1	0,555		Q103	1	0,548	
Q108	1	0,292		Q123	1	0,386		Q123	1	0,579	
Q130	2	0,087	0,194	Q130	2	0,098	0,237	Q108	1	0,368	0,272
Q127	2	0,134		Q127	2	0,156		Q111	2	0,376	
Q125	2	0,085		Q111	2	0,457		Q113	2	0,257	
Q111	2	0,471		Q101	3	0,166		Q127	2	0,235	
Q101	3	0,159	0,188	Q134	3	0,217	0,154	Q130	2	0,218	0,173
Q134	3	0,216		Q125	3	0,078		Q101	3	0,202	
Q113	4	0,2		Q113	4	0,208		Q134	3	0,254	
Q123	4	0,342		Q124	4	0,11		Q125	3	0,097	
Q124	4	0,117	0,22	Q108	4	0,309	0,209	Q124	3	0,138	

Fonte: Elaborado pelo autor.

É notável que o agrupamento dos itens de física para o grupo EM é o mesmo que encontramos para os concluintes do Ensino Médio com diferenças apenas nas cargas fatoriais de dos itens. Além disso, podemos observar a entrada do item Q108-2017 no Fator 1 dos grupos EF e ES. Este item apresenta distratores diferentes para

grupos diferentes, o que faz com que o padrão de resposta em cada grupo seja distinto. Mostramos anteriormente que este item contém uma “pegadinha” e exige, além da leitura de gráfico e texto, a aplicação da relação entre tensão e corrente em um circuito simples e perceber que o enunciado pede o quádruplo da resistência calculada a partir do gráfico. Observamos nas frequências das escolhas dos itens que ocorre uma inversão de preferência (padrão de respostas) entre os diferentes grupos, o que faz com que a análise fatorial agrupe este item em diferentes fatores nos diferentes grupos analisados. Além disso, este item exige a manipulação de equações, o que faz com que ele apresente diferentes níveis de dificuldades entre os grupos EF, EM e ES. Na busca por itens potencialmente não geradores de desigualdades sociais, Nascimento (2018) já destacava este fato.

Realizamos esta análise para todos os outros anos e podemos concluir que, quando olhamos para todos os agrupamentos gerados por análise fatorial exploratória no caso dos grupos separados, algumas características do agrupamento gerado para o Ensino Médio são mantidas e outras são alteradas.

A primeira característica que vale destacar é que a quantidade de fatores não é igual em todos os grupos. Observa-se em todos os anos analisados que a quantidade de fatores gerados pela AFE no grupo ES é sempre menor. Isso indica que, para este grupo, existe mais correlação entre os itens e menos traços latentes ou construtos que explicam a resposta dos alunos, indicando maior coerência nas respostas em comparação com os demais grupos. Em contrapartida, para o grupo EF, o número de fatores é sempre maior, chegando a ter seis fatores no ano de 2013. Isso indica menor correlação entre os itens da prova.

Outro ponto que podemos notar é sobre como os mesmos itens se agrupam nos fatores nos diferentes grupos. É notável que alguns itens se mantêm agrupados em todos os grupos analisados, enquanto outros itens mudam de agrupamento para os diferentes grupos. A mobilidade de um item em diferentes agrupamentos para diferentes grupos de respondentes indica que enquanto para os alunos de um determinado nível socioeconômico as repostas dos candidatos estão atreladas a um determinado traço latente, para outro grupo de candidatos há um outro traço latente que explica o padrão das respostas.

Neste sentido, quando analisamos os itens separadamente, identificamos que existem distratores contendo, por exemplo, concepções alternativas de origem

sensoriais que atraem os grupos de menor nível socioeconômico enquanto outra alternativa contendo concepções alternativas de origem escolar ou dificuldades comuns estão presentes em grupos de maior nível socioeconômico (POZO; CRESPO, 2009).

A análise fatorial exploratória auxilia no processo de elucidar as diferentes dificuldades dos diferentes grupos ou até possíveis problemas na elaboração de itens. Como exemplo, temos o Q108-2017 que, para o grupo ES, é respondido com mesmo padrão de resposta dos demais itens do Fator 1, o que não ocorre para os demais grupos.

5. CONCLUSÕES

O desempenho de um candidato nos itens do ENEM depende, fundamentalmente, das características socioeconômicas da família do candidato e de fatores relacionados ao item. Neste sentido podemos dizer que o ENEM não leva em consideração vieses econômicos, sociais, culturais e políticos em sua elaboração o que torna o exame pouco inclusivo, diferente do que aparecem nos documentos oficiais. A determinação de variáveis que influenciam o desempenho de candidatos nos itens de física do ENEM está presente na literatura. Diferentes grupos de pesquisa têm estudado a relação do desempenho de um candidato no ENEM com fatores socioeconômico e outras variáveis relacionadas com a pesquisa de Ensino de Física, tais como contexto, taxonomia, concepções alternativas, objeto de conhecimento (conteúdo), entre outros (OLIVEIRA, 2014; SILVA; MARTINS, 2014; VILLAR; KLEINKE, 2018; MARCOM, 2019, NAKAMURA, 2020).

Observamos, na literatura, que o desempenho dos candidatos está associado, em média, a cada uma dessas variáveis de forma isolada, porém, no caso de determinados itens, o desempenho não segue o padrão esperado. Nesta situação, uma combinação de variáveis pode influenciar mais o desempenho. Nosso trabalho foi analisar esta combinação de variáveis simultaneamente, utilizando a Análise Fatorial Exploratória (AFE) como ferramenta estatística de análise multivariada e buscar compreender em cada prova qual destas variáveis interfere de forma mais latente no desempenho dos candidatos.

Neste sentido, vimos que conhecer características do item (nível taxonômico; contextualização; presença de concepções alternativas; tipo de leitura; objeto de conhecimento; caráter quali-quantitativo; quantidade de passos na resolução, entre outros) de forma isolada resulta em informações necessárias, porém não suficientes para prever o desempenho de um aluno.

Como forma de caracterizar os itens quantitativamente, além das características já mencionadas, calculamos os índices de facilidade (IFI), discriminação (IDI) e concentração (ICI) relacionados com a Teoria Clássica dos Testes (TCT).

Ao analisar os 92 itens selecionados para o presente trabalho, vimos que 83,7%

dos itens podem ser considerados difíceis para os concluintes do Ensino Médio; os outros 16,3% são considerados médios, de acordo com os critérios propostos por Bao e Redish (2001). Desta forma, nenhum dos itens analisados pode considerado fácil. Este resultado corrobora a ideia de “vestibularização” do ENEM, uma vez que, segundo Pasquali (2011), a seleção dos itens para elaboração uma prova deve ser feita de acordo com seus objetivos. Se o exame tiver como objetivo principal selecionar os alunos de maior proficiência, os itens devem apresentar o nível de dificuldade do patamar que se quer como critério de seleção. Neste sentido, esta é a primeira evidência que nos faz acreditar que o objetivo de selecionar parece ter mais relevância do que o de avaliar o candidato ao final da escolaridade básica.

Porém, em um exame que visa classificar e selecionar os candidatos como é o caso do ENEM, espera-se que a quantidade dos alunos que acertam um item seja maior para o grupo com melhor desempenho. Neste sentido, Rabelo (2013) destaca que, em uma avaliação educacional, o IDI deve ser superior a 0,4 para que o item possa ser classificado como “bom” do ponto de vista de discriminação. Porém, observa-se que quase 80% dos itens apresentam problemas em sua estrutura ou em sua compreensão por parte dos alunos, pois são classificados como deficientes ou marginais nos critérios de Rabelo (2013). Como resultado, em torno de 20% dos itens apresentam uma discriminação adequada, sendo que apenas 5,4% dos itens não têm necessidade de uma revisão.

Quando classificamos os itens de Física do ENEM na matriz proposta por Bao e Redish (2001), identificamos que, para os concluintes do Ensino Médio, quase 90% dos itens são respondidos de forma aleatória e que nenhum item é respondido de acordo com a resposta esperada sem a presença de, ao menos, um distrator com frequência elevada. Apenas quando calculamos os índices para o grupo formado por concluintes do ensino médio, e cujos pais têm Ensino Superior completo (maior nível socioeconômico), aparecem itens que são respondidos, em média, de acordo com a alternativa esperada e no máximo um distrator.

Estes resultados sugerem que itens respondidos corretamente pelo grupo ES podem revelar qual Física está sendo trabalhada e compreendida pelos candidatos ao longo da educação básica. Encontramos como características:

- Apenas um tipo de leitura (texto);

- Conceituais e qualitativos;
- Compõe os “Exercícios de fixação” de final de capítulo propostos por Kleinke (2017);
- Têm alto poder de discriminação.

Ainda sobre esta seleção de itens, identificamos que o objeto de conhecimento (conteúdo) não é único. Dentre eles, encontramos itens que versam sobre os seguintes tópicos da Física:

- Ondulatória;
- Cinemática do movimento e velocidade média;
- Formas de geração de energia;
- Conservação de energia.

Isso mostra que o conteúdo em si não influenciou diretamente o desempenho, mas o formato e o contexto em que eles são apresentados.

Sobre o uso da matriz *ICIxIFI*, notamos que há regiões características no gráfico de *ICIxIFI* em que é possível identificar com facilidade itens com distratores fortes. Destacamos que saber apenas a taxa de acerto de um item através da IFI não nos fornece informação suficiente para aferir lacunas de aprendizagem, ou possíveis falhas na elaboração do item. Neste sentido, podemos concluir que a relação entre os índices ICI e IFI pode contribuir para sinalizar a existência de distratores fortes nos itens de múltipla escolha.

O uso desta matriz permite identificar quando o item apresenta uma ou mais escolhas entre os candidatos. Itens que apresentam um distrator muito forte (sub-região B-A do gráfico) não estão presentes entre os itens do ENEM analisados neste trabalho. Itens na sub-região B-M apresentam um ou mais distratores mais fortes do que a alternativa correta, porém a escolha está distribuída entre as alternativas. Já na sub-região A-A, observamos alta concentração nas respostas, assim como na região B-A, porém, ao invés de um distrator forte, a escolha pelo modelo correto é predominante. Apenas quando classificamos os itens nos grupos separados encontramos itens nesta região para o grupo ES. Outra sub-região que contém itens

com a resposta correta assinalada com frequência é a M-M, em que os itens apresentam alta frequência na alternativa correta, mas distratores igualmente procurado de múltipla escolha das escolas a fim de identificar possíveis lacunas de aprendizagem ao longo do processo da escolarização básica ou problemas na elaboração dos itens.

Quando aplicamos a Análise Fatorial Exploratória (AFE), obtemos agrupamentos dos itens de Física por padrão de respostas nos diferentes grupos analisados. Estamos interessados em compreender o que o padrão de respostas dos concluintes do Ensino Médio pode nos revelar sobre a Física da educação básica.

Identificamos existir uma relação entre o Fator 1 gerado para os itens da prova de 2012 e as categorias “Exercícios de Fixação” e “Problema de lápis e papel” utilizadas por Kleinke (2017). Identificamos também que os outros fatores agrupam itens que estão mais alinhados com o conhecimento esperado para especialistas em Física, e não por aprendizes concluintes do Ensino Médio. Estes itens não discriminam os candidatos, além de apresentarem baixas taxas de acerto em todos os grupos. Este resultado sugere que o ENEM é um exame que se destina selecionar candidatos para o ensino superior contém itens com conteúdos mais de ensino superior o que pode ser entendido como uma contradição.

Ainda sobre a prova de 2012, encontramos o Fator que foi nomeado “Senso comum” ou “Física cotidiana”. Diferentemente do que apontam trabalhos como o de Oliveira (2014), o fato de estes itens apresentarem contextualização cotidiana não faz com que eles apresentem as maiores taxas de acerto na prova. Associamos isso a ideias alternativas que os alunos apresentam quando o item envolve temas cotidianos não superados ao longo da escolarização básica.

Fatores com menor variância apresentam maior dificuldade na identificação dos traços latentes associados. Quando olhamos as demais provas, identificamos que diferentes variáveis parecem influenciar no padrão de resposta dos alunos em cada caso. Encontramos itens que se agrupam por objeto de conhecimento, quando na mesma prova diversos itens cobram conteúdos de uma mesma grande área da física. Observamos, também, agrupamentos de itens que abordam temáticas de Física experimental de especialista, ou até itens que se agrupam por serem todos algorítmicos, de acordo com a taxonomia de Smith.

Identificamos que itens que apresentam carga fatorial negativa para um determinado fator, em geral, apresentam problemas na sua formulação, seja por erros conceituais, seja por conterem um distrator na alternativa certa. Assim, grupos de menor proficiência tendem a acertar o item por intuição, não significando, porém, que eles dominam o conteúdo, enquanto os alunos que buscam resolver o item de acordo com o raciocínio científico tendem a errar.

Quando relacionamos as regiões de Bao e Redish (2001) com os fatores gerados por AFE, identificamos que, no caso dos itens da região de respostas aleatórias, eles se espalham entre os fatores de menor variância. Quando os itens se encontram na região de duas respostas ou resposta única, principalmente para o grupo ES, estes itens se agrupam no Fator 1. Os itens classificados nas regiões M-M e A-A pelo grupo ES se agrupam, constituindo fatores contendo os itens que chamamos de “Física escolar” (Fator 1).

Observa-se ainda que, apesar de existir uma relação forte entre a taxa de acerto e o agrupamento dos itens, a taxa de acerto não é a característica que faz com que as questões se agrupem em um mesmo fator.

Além do fator “Física Escolar”, em todas as provas foi possível identificar o agrupamento de itens que cobram conteúdos mais próximos de especialistas e do ensino superior. Estes itens compõem, na verdade, a maioria dos itens das provas. Entendemos que cobrar conteúdos relacionados ao ensino superior (física para especialista) em um exame de seleção para o ensino superior é uma contradição. Afinal, o que se quer selecionar com este exame?

É possível observar ainda que, quanto menor a escolaridade dos pais dos candidatos, maior o número de fatores gerado por AFE e, portanto, menor a quantidade de itens que apresentam correlação entre si no padrão de respostas. Isso sugere que, para este grupo, existem diversos construtos que explicam a prova e os alunos percebem os itens quase de forma independente, não conseguindo fazer relação entre diferentes itens.

Trazemos por fim como contribuição a análise detalhada dos 92 itens que compõem o escopo deste trabalho (Apêndice E). Sugerimos que o professor que queira utilizar os itens do ENEM na sala de aula com seus estudantes pode fazer uso das análises apresentadas e comparar o desempenho de seus candidatos com o desempenho dos concluintes do Ensino Médio, olhando para as alternativas erradas

e reconhecendo possíveis caminhos que seus estudantes fizeram para assinalar as alternativas erradas.

Com tudo isso, identificamos que o ENEM vem cumprindo seu papel como mecanismo único, alternativo ou complementar para o acesso à educação superior, porém esta não é a única nem a primeira função do exame. Segundo o edital do ENEM de 2017 (BRASIL, 2017),

Art. 2º Constitui **objetivo primordial do ENEM** aferir se aqueles que dele participam demonstram, ao final do ensino médio, individualmente, domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna e se detêm conhecimento das formas contemporâneas de linguagem.

Art. 3º Os resultados do ENEM deverão possibilitar:

I - **a constituição de parâmetros para a autoavaliação do participante, com vistas à continuidade de sua formação e a sua inserção no mercado de trabalho;**

II - a criação de referência nacional para o aperfeiçoamento dos currículos do ensino médio;

III - **a utilização do Exame como mecanismo único, alternativo ou complementar para acesso à educação superior, especialmente a ofertada pelas instituições federais de educação superior;**

IV - o acesso a programas governamentais de financiamento ou apoio ao estudante da educação superior;

V - a sua utilização como instrumento de seleção para ingresso nos diferentes setores do mundo do trabalho; e

VI - o desenvolvimento de estudos e indicadores sobre a educação brasileira. (p.40 - Grifo do autor.).

Neste sentido, caso queiramos uma prova que se proponha a cumprir os incisos I e III do Art. 3º simultaneamente, precisamos de itens que sejam capazes tanto de avaliar, quanto de selecionar. Apesar de essas lógicas serem contraditórias, de acordo com Perrenoud (2007) e Pasquali (2011), sugerimos que a prova pode ser composta por mais itens com características dos fatores que agrupamos como “Física escolar”. Apenas desta forma os candidatos poderão se autoavaliar ao término da educação básica.

Esta proposta é complementar àquela apresentada por Nascimento *et al.* (2019), na qual os autores buscam itens de Física nas provas de Ciências da Natureza do ENEM que estejam pouco associados ao nível socioeconômico dos estudantes, mas que ainda assim garantam a sua discriminação por proficiência.

Por fim, concluímos que a análise fatorial exploratória (AFE) se mostrou uma ferramenta importante para separar os itens por padrão de resposta e identificar a *posteriori* os construtos da prova de Física do ENEM. Entendemos que nenhum dos critérios utilizados a *priori* respondem sozinho todos os agrupamentos, sendo

necessário olhar para os itens de uma forma holística para compreender os agrupamentos gerados por AFE.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados deste trabalho sugerimos possíveis caminhos que podem ser desenvolvidos por pesquisadores na investigação do ENEM e o Ensino de Física no Brasil. Neste sentido, encerramos o texto apresentando algumas possibilidades de trabalhos futuros que podem ser realizados a partir dos dados e resultados extraídos aqui.

Vimos que o ENEM surge a partir de políticas públicas como a LDB de 1996 com o objetivo de avaliar os candidatos ao final da escolaridade básica e o exame passa por diversas mudanças ao longo do tempo, tornando-se o segundo maior exame de seleção do mundo. Neste sentido, cabe investigar como as outras políticas públicas (nacionais e internacionais) relacionadas ao currículo interferem nesta prova e nestas mudanças. Neste sentido, investigar se existe alinhamento entre o que está sendo cobrado no ENEM e o que se espera das escolas a partir da BNCC. Como órgãos internacionais (PISA, Banco Mundial, etc.) influenciam neste exame?

Observamos neste trabalho uma forte relação entre o estrato socioeconômico do candidato e a escolaridade de seus familiares. Vimos que candidatos que pertencem a famílias com maior escolaridade (maior Capital Cultural) apresentam desempenho, em média, maior do que aqueles que são de famílias menos estudadas. Sabemos também que o desempenho no ENEM está associado a treino de resistência e resolução de exercícios com em curto espaço de tempo. Neste sentido, uma possibilidade de estudo seria investigar se o desempenho em Física dos candidatos que já encerraram o Ensino Médio há pelo menos 1 ano e pertencem a famílias dos grupos de menor nível socioeconômico (EM e EF) se aproxima do desempenho dos concluintes do Ensino Médio que pertencem ao grupo ES. A hipótese que levantamos aqui é que a persistência e o treino podem superar as diferenças geradas pelo Capital Cultural.

Vimos que diversos aspectos influenciam no desempenho de um candidato na realização do ENEM. Neste sentido, caberia investigar quais conteúdos/habilidades/competências presentes nos editais estão sendo privilegiados no exame e se estes têm relação com os demais fatores aqui trabalhados. Além disso, investigar a relação entre os currículos de diferentes estados e o que está sendo

cobrado no ENEM. Estados cujos currículos se aproximam mais do que é privilegiado no ENEM apresentam maior desempenho do que aqueles estados que o currículo diverge mais do esperado no ENEM? O ENEM está realmente avaliando aquilo que é trabalhado pelas escolas? Em quais currículos encontramos as habilidades e competências esperadas no ENEM?

Identificamos neste trabalho itens que poderiam ser utilizados em um exame de seleção que também cumpra o papel de avaliar o candidato ao final da escolaridade básica (Física Escolar). Neste sentido, para testar os resultados obtidos nesta tese, uma sugestão de trabalho seria elaborar provas com estes itens e outras provas com os itens dos demais fatores e comparar a efetividade na seleção e na avaliação de alunos no final da escolaridade básica ou nos primeiros anos dos cursos de Ensino Superior.

Vimos que os fatores gerados pela AFE para os diferentes estratos socioeconômicos apresentam semelhanças e diferenças entre si. Investigar as diferenças pode revelar características importantes dos grupos analisados.

7. REFERÊNCIAS

- AIRASIAN, P. W.; MIRANDA, H. The Role of Assessment in the Revised Taxonomy. **Theory into practice**, v. 41, n. 4, Autumn, 2002.
- ALAGUMALAI, S.; CURTIS, D. D. Classical test theory. In: **Applied Rasch measurement: A book of exemplars**. Springer Netherlands, 2005. p. 1-14.
- ALI, M; TALIB, C. A.; ISMAIL, N. An overview of research on experts and novice problem solvers in physics. **Buletin Persatuan Pendidikan Sains dan Matematik Johor**. 25. 70-75. 25: Bil. 1, 2015
- ALVES, M. T. G.; SOARES, J. F.; XAVIER, F. P. Índice socioeconômico das escolas de educação básica brasileiras. **Ensaio: aval. pol. públ. Educ.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 84, p. 671-703, Set. 2014 .
- ANDERSON, L. W.; KRATHWOHL, K. R. A. **Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: a revision of Bloom's taxonomy or educational objectives**. New York: Longman, 2001.
- ANDRADE, E.; SOIDA, I. A qualidade do ranking das escolas de ensino médio baseado no ENEM é questionável. **Estudos Econômicos (São Paulo)**; 45(2); 253-286, 2015.
- ANDRADE, G. G. A Metodologia do Enem: uma reflexão. **Séries - Estudos**, Campo Grande, n. 33, p. 67-77, jan./jul. 2012.
- ANDRADE, J. M. de. Concepções alternativas em ótica. 144f. Dissertação de Mestrado em Educação. - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, SP. 1995
- ANDRADE, J. M. de. Concepções alternativas em ótica. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, SP. 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA (ABEP), **Critério de Classificação Econômica Brasil**. 2013. Disponível em: <<http://www.abep.org/criterio-brasil>>, acessado em jun/2020.
- AZEVEDO, H. L.; JUNIOR, F. N. M.; SANTOS, T. P.; CARLOS, J. G.; TANCREDO, B. N., O uso do experimento no ensino da física: tendências a partir do levantamento dos artigos em periódicos da área no brasil. In: VII ENPEC, Anais, Florianópolis, SC. **Anais...** ABRAPEC. Novembro de 2009.

- BANI-SALAMEH, H. N. Using the method of dominant incorrect answers with the FCI test to diagnose misconceptions held by first year college students. **Physics Education**, v. 52, n. 1, p. 015006, 2017.
- BAO, L.; REDISH, E. F. Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. **American Journal of Physics**, v. 69, n. S1, p. S45-S53, 2001.
- BARROS, A. da S. X. Vestibular e Enem: um debate contemporâneo. **Ensaio: aval. pol. públ. Educ.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 85, p. 1057-1090, Dec. 2014.
- BARROSO, M. F.; RUBINI, G.; SILVA, T. da. Dificuldades na aprendizagem de Física sob a ótica dos resultados do Enem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. e4402, 2018.
- BASSALO, J. M. F. Questões de Física do ENEM/2009. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 325-355, 2011.
- BAUER, A.; ALAVARSE, O. M.; OLIVEIRA, R. P. de. Avaliações em larga escala: uma sistematização do debate. **Educação e Pesquisa**, v. 41, n. SPE, p. 1367-1384, 2015.
- BEICHNER, R. J. Testing student interpretation of kinematics graphs. **American Journal of Physics**, College Park, v. 62, n. 8, p. 750-762, ago. 1994.
- BLOOM, B. S.; KRATHWOHL, D. R. **Taxonomy of educational objectives: Handbook 1: Cognitive domain**. New York: Longmans. 1956.
- BONAMINO, A.; ALVES, F.; FRANCO, C.; CAZELLI, S. Os efeitos das diferentes formas de capital no desempenho escolar: um estudo à luz de Bourdieu e de Coleman. **Revista Brasileira de Educação**, v. 15, n. 45, p. 487-499, 2010.
- BOURDIEU, P. A. **Escritos de educação**. NOGUEIRA, M. A.; CATANI, A. (org.). 16. ed. – Petrópolis, RJ: Vozes, 2015
- BOURDIEU, P. Les trois états du capital culturel. **Actes de la recherche en sciences sociales**, v. 30, n. 1, p. 3-6, 1979.
- BOURDIEU, P.; PASSERON, J. A reprodução: Elementos para uma teoria do sistema de ensino. Tradução Reynaldo Bairão. 7a ed. Petrópolis, RJ: Vozes. 2016.
- BRASIL, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). Portaria nº 109, de 27 de maio de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 de maio de 2009. p. 56-63
- BRASIL, M.E.C. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional-LDB. Lei n. 9.394/96. **Ministério da Educação**, 1996.
- BRASIL, Ministério da Educação (MEC). Gabinete do Ministro. Portaria nº 468, de 03

de abril de 2017. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 04 de abril de 2017. p. 40-63

BRITO, B. R. **As concepções alternativas em exames de larga escala: uma análise das questões de biologia do ENEM**. Dissertação de Mestrado. Programa Multiunidades de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática — UNICAMP, IFGW, Campinas, 2015.

BROWN, T. A. **Confirmatory Factor analysis for applied research**. New York: The Guilford Press. 2006.

CHAGAS, E. A. **Desempenho em itens de matemática do ENEM: carga cognitiva e sexo**. 2019. Tese de Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática. Programa Multiunidades de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Campinas, SP.

CHEN, Q.; ZHU, G.; LIU, Q.; HAN, J.; FU, Z.; BAO, L. Development of a multiple-choice problem-solving categorization test for assessment of student knowledge structure. **Physical Review Physics Education Research**, v. 16, n. 2, p. 020120, 2020.

CHI, M. T. H.; FELTOVICH, P. J.; GLASER, R. Categorization and representation of physics problems by experts and novices. **Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal**, 5(2), 121 - 152. 1981.

CLEMENT, J. Misconceptions in Graphing. In: **Proceedings of the Ninth Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education**. Netherlands. pp. 1 – 7. 1985.

CLEMENT, J. Use of physical intuition and imagistic simulation in expert problem solving. In D. Tirosh (Ed.), **Human development**, Vol. 6, p. 204–244. 1994.

COLEMAN, J. S. Equality of educational opportunity. **Integrated Education**, v. 6, n. 5, p. 19-28, 1968.

Comissão permanente para os vestibulares (COMVEST). **Manual do Candidato: Vestibular Nacional da UNICAMP 2000**. Campinas. SP. 1999

COMVEST. Comissão Permanente para os Vestibulares. **Análise e caracterização estatística das provas: Vestibular UNICAMP 2012**. Campinas, 2012.

CORTI, A. P. As diversas faces do ENEM: análise do perfil dos participantes (1999-2007). **Estudos em Avaliação Educacional**, v. 24, n. 55, p. 198-221, 2013.

COSTA-BEBER, L. B.; MALDANER, O. A. Um Estudo sobre as Características das

- Provas do Novo ENEM: Um Olhar para as Questões que Envolvem Conhecimentos Químicos. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 1, p. 44-52, 2015.
- COSTA, S. S. C., MOREIRA, M. A. Resolução de problemas: diferenças entre novatos e especialistas. **Investigações em Ensino de Ciências** – v. 1(2), p.176-192, 1996.
- CROCKER, L.; ALGINA, J. **Introduction to classical and modern test theory**. CENGAGE Learning: Mason – Ohio. 2008.
- CUNHA, M. A. A. O conceito “capital cultural” em Pierre Bourdieu e a herança etnográfica. **Perspectiva**, Florianópolis, v. 25, n. 2, 503-524, jul./dez. 2007
- DAMÁSIO, B. F. Uso da análise fatorial exploratória em psicologia. **Avaliação Psicológica: Interamerican Journal of Psychological Assessment**, v. 11, n. 2, p. 213-228, 2012.
- DARROZ, L. M.; DA ROSA, C. W.; PELEGRINI, M. Dificuldades encontradas por estudantes do ensino público do Rio Grande do Sul nas questões de Física do ENEM: um estudo de caso. **Revista Ibero-americana de Educação**, v. 69, n. 3, p. 133-156, 201
- DE JONG, T.; FERGUSON-HESSLER, M. G. M. Cognitive structures of good and poor novice problem solvers in physics. **Journal of Educational Psychology**, 78(4), 279-288. 1986.
- DE SINGLY, François. A apropriação da herança cultural. **Educação & Realidade**, v. 34, n. 1, p. 9-32, 2009.
- DEVELLIS, R. F. **Scale development: Theory and applications**. Third Edition. Sage publications, Inc. 2012.
- Diretoria de Avaliação da Educação Básica (DAEB), **Guia de Certificação do Exame Nacional do Ensino Médio**. Ministério da Educação. Brasília – DF. 2015.
- DRIVER, R. (Ed.); RUSHWORTH, P.; SQUIRES, A.; WOOD-ROBINSON, V. **Making Sense of Secondary Science: Support material for teachers**. Routledge, 2004.
- DRIVER, R.; ASOKO, H.; LEACH, J.; MORTIMER, E.; SCOTT, P. Construindo conhecimento científico na sala de aula. **Química nova na escola**, v. 9, n. 5, p. 31-40, 1999.
- EBEL, R. L. Procedures for the analysis of classroom tests. **Educational and Psychological Measurement**, v. 14, n. 2, p. 352-364, 1954.
- ESPÍRITO SANTO, A. de. Técnicas empregadas na análise de itens. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 1, n. 2, p. 37-42, 1978.

FERNANDES, C. S.; MARQUES, C. A. Noções de contextualização nas questões relacionadas ao conhecimento químico no Exame Nacional do Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 4, p. 294-304, 2015.

FIGUEIREDO, E.; NOGUEIRA, L.; SANTANA, F. L. Igualdade de Oportunidades: Analisando o Papel das Circunstâncias no Desempenho do ENEM. **Rev. Bras. Econ.**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 3, p. 373-392, Set. 2014.

FLETCHER, P. R. Da teoria clássica dos testes para os modelos de resposta ao item. **Rio de Janeiro: Escola Nacional de Ciências Estatísticas**, Rio de Janeiro – RJ. 2010.

GASPAR, A., **Experiências de ciências**. Ed. 2, São Paulo: Livraria da Física, 2014.

GIORDANO, L. V. O. **Panorama da competência estatística no ensino médio brasileiro: das ideias e práticas dos professores ao desempenho dos alunos no ENEM**. Tese de doutorado. Programa Multiunidades de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Campinas, SP. 2017.

GONÇALVES JR, W. P.; BARROSO, M. F. As questões de física e o desempenho dos estudantes no ENEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1-16, 2014.

GRAVINA, M. H.; BUCHWEITZ, B. Mudanças nas concepções alternativas de estudantes relacionadas com eletricidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 16, n. 1/4, p. 110–119, 1994.

HAIR, J. F., BLACK, W. C., BABIN, B. J., A., R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6a ed. Porto Alegre: Bookman Editora. 2009.

HEER, R. **A Model of Learning Objectives**. In: IOWA STATE UNIVERSITY, center for excellence in learning and teaching. 2012. Disponível em <<http://www.celt.iastate.edu/wp-content/uploads/2015/09/RevisedBloomsHandout-1.pdf>>, acessado em 20/07/2017.

HERNANDES, J. S.; MARTINS, M. I. Categorização de questões de física do novo ENEM. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 30, n. 1: p. 58-83, abr. 2013.

HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force concept inventory. **The physics teacher**, v. 30, n. 3, p. 141-158, 1992.

INEP. **ENEM: Documento Básico**. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.pu->

blicacoes.inep.gov.br/porta1/download/265>. Acesso em: 2 jan. 2019.

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **NOTA TÉCNICA: Teoria de Resposta ao Item**. Ministério da Educação – Brasília. Disponível em:

<https://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/nota_tecnica/2011/nota_tecnica_tri_enem_18012012.pdf> , acesso em jan/2021

INEP. **ENEM: Histórico**. 2019 Disponível em: < <http://inep.gov.br/ENEM/historico>>, acesso, 26 fev. 2019.

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Guia de Elaboração e revisão de Itens** – vol. I, MEC/INE, Brasília, 2010

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Sinopse Estatística da Educação Básica** 2019, Brasil. INEP, 2020.

INEP. Matriz de referências para o ENEM 2009. **Ministério da educação** (MEC). Brasília, 2009. Disponível em: <http://download.inep.gov.br/download/ENEM/matriz_referencia.pdf >, acessado em 10/07/2019.

KELLEY, T. L. The selection of upper and lower groups for the validation of test items. **Journal of educational psychology**, v. 30, n. 1, p. 17, 1939.

KLEINKE, M. U; GEBARA, M. J. F. Física: Capital Cultural e Treinamento. VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (VI ENPEC) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC. 2007 **Anais...** Disponível em: < http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/vienpec/CR2/p919.pdf>, acesso em jun2019.

KLEINKE, M. U; GEBARA, M. J. F. Gráficos em Ciências Naturais, Vestibulares e preditores socioeconômicos. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (VII ENPEC), Florianópolis, 2009. Disponível em: < <https://sites.ifi.unicamp.br/kleinke/files/2014/01/graficos-em-ciencias-naturais-vestibulares-e-preditores-socioeconomicos.pdf>> acesso em jun/2019.

KLEINKE, M. U. Influência do status socioeconômico no desempenho dos estudantes nos itens de física do Enem 2012. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 2, 2017.

LABURU, C. E.; BARROS, M. A.; KANBACH, B. G., A relação com o saber profissional

- do professor de física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências** – v.12(3), p.305-320, 2007
- LARKIN, J. H., MCDERMOTT, J., SIMON, D. P., & SIMON, H. A. Expert and Novice Performance in Solving Physics Problems. **Science**, 208(4450), 1335-1342. 1980.
- LAROS, J. A. **O uso da análise fatorial: algumas diretrizes para pesquisadores**. Análise fatorial para pesquisadores, v. 1, p. 145, 2005
- MARCELINO, L. V.; RECENA, M. C. P. Possíveis influências do novo ENEM nos currículos educacionais de química. **Estudos em avaliação educacional**, v. 23, n. 53, p. 148-177, 2012.
- MARCOM, G. S. O ENEM como indicador qualitativo do ensino: uma aplicação às questões de Física. Dissertação de Mestrado. Programa Multiunidades de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas. 2015.
- MARCOM, G. S. **O ENEM, indicadores formativos e ensino de Física**. 2019. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências de Matemática (PECIM). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Campinas, SP.
- MARCOM, G. S.; KLEINKE, M. Questões do ENEM e suas relações com o ensino de Física. Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (X ENPEC). Águas de Lindóia: Abrapec. **Anais...** 2015. Disponível em <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R0903-1.PDF>>, acesso em jun/2019.
- MARCOM, G. S.; KLEINKE, M. U. Análises dos distratores das questões de Física em Exames de Larga Escala. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 72-91, 2016.
- MARCOM, G. S.; KLEINKE, M. U. Contributions of "Problems Solving Strategies" in Physics Issues of ENEM. **International Journal of Physics & Chemistry Education**, v. 9, n. 2, p. 13-16, 2017.
- MARCOM, G. S.; KLEINKE, M. U. Mapeamento dos itens de Física do ENEM entre 2009 e 2017. XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (XVII EPEF), Florianópolis (Online), SC. **Anais...**, 2020.
- MARCOM, G. S.; KLEINKE, M. U. O ENEM Como Instrumento De Análise Do Ensino De Física. XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2014, São Sebastião. 2014,

São Sebastião. **Anais...** Disponível em: <
<https://sec.sbfisica.org.br/eventos/epef/xv/sys/resumos/T0147-1.pdf>>, acesso em
 dez/2019.

MARCOM, G. S.; KLEINKE, M. U. Os erros dos candidatos nos itens de Física do ENEM e possíveis relações com a falta de professores. XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (XVII EPEF), Campos do Jordão, SP. **Anais...**, 2018. Disponível em: < <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/epef/xvii/sys/resumos/T0232-1.pdf>>, acesso em jun/2020.

MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. Análise Fatorial. Escola Nacional de Administração Pública (ENAP). Brasília: Enap, 2019.

MCDERMOTT, L. C.; SHAFFER, P. S. Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. part I: Investigation of student understanding. **American journal of physics, American Association of Physics Teachers**, v. 60, n. 11, p. 994–1003, 1992.

Ministério da Educação (MEC). **Proposta à Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior**. Assessoria de Comunicação Social. Brasília – DF. 2009. Disponível em:
http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=768-proposta-novovestibular1-pdf&category_slug=documentos-pdf&Itemid=30192.

Acesso em: Jul. 2020.

MOEDINGER, F. da S. As Questões de Física no ENEM – 2014. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Física, Universidade Federal Fluminense (UFF). Rio de Janeiro, 2017

MOURA, J. H. C. de. **A integração curricular no ENEM: o caso das ciências da natureza**. 2014. 130 p. Dissertação de Mestrado. - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, SP.

MOURA, J. H. C.; IGLESIAS, J. de O. V.; ROSA, M. I. P. A reformulação do ENEM e as questões de Física—um estudo a partir das tradições curriculares. In: XI ENPEC Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2017 **Anais...** Disponível em < <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R1371-1.pdf>>, acesso em jun/2019.

NAKAMURA, T. M. **Concepções alternativas nas questões sobre circuitos elétricos do ENEM**. 2020. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em

Ensino de Ciências de Matemática (PECIM). Instituto de Física Gleb Wathagin. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas – SP.

NAKAMURA, T. M.; VILLAR, R. P.; KLEINKE, M. U. Identificando concepções alternativas e dificuldades dos alunos sobre circuitos elétricos em avaliações. XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (XVII EPEF), Florianópolis (Online), SC. **Anais...**, 2020.

NAKAMURA, T. M.; VILLAR, R. P.; KLEINKE, M. U. Questão conceitual também pode ser difícil: em busca de questões do ENEM sobre circuitos elétricos que avaliem e selecionem simultaneamente. XIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XIII ENPEC ENPEC EM REDES. **Anais...** 2021

NASCIMENTO, M. M. **O acesso ao ensino superior público brasileiro: um estudo quantitativo a partir dos microdados do Exame Nacional do Ensino Médio**. 2019. Tese de Doutorado. Programa de Pós- Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Rio Grande do Sul – RS.

NASCIMENTO, M. M.; CAVALCANTI, C.; OSTERMANN, F. Uma busca por questões de Física do ENEM potencialmente não reprodutoras das desigualdades socioeconômicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, 2018.

NOGUEIRA, C. M. M.; NOGUEIRA, M. A. A sociologia da educação de Pierre Bourdieu: limites e contribuições. **Educação & Sociedade**, v. 23, n. 78, p. 15-35, 2002.

OLIVEIRA, C. F. **Os contextos na prova de Ciências da Natureza do ENEM: Uma medida do seu impacto no desempenho dos estudantes**. 2014, Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências de Matemática (PECIM). Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas.

OLIVEIRA, C. F.; MARCOM, G., GEBARA, M. J.; KLEINKE, M. U. Contextualização e Desempenho em exames de Ciências da Natureza: O “Novo ENEM”. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo: Abrapec. 2013

PASQUALI, L. **Psicometria: teoria dos testes na psicologia e na educação**. Brasília: Editora Vozes, 4a ed. – Petrópolis – RJ. 2011.

PASQUALI, L. Psicometria. **Revista da Escola de Enfermagem**, São Paulo, vol. 43, n. especial, p. 992 – 999. 2009.

- PEDUZZI, L. O. Q. Física aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 1, p. 48-63, 1996.
- PERRENOUD, P. **Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens – entre duas lógicas**. Porto Alegre: Artmed. 2007
- PINHEIRO, N. C.; OSTERMANN, F. Uma análise comparativa das questões de física no novo Enem e nas provas de vestibular no que se difere aos conceitos de interdisciplinaridade e contextualização. In: XII encontro de pesquisa em ensino de física (EPEF XII). 2010, Águas de Lindoia. **Anais...** . São Paulo: Sociedade Brasileira de Física.
- PITON-GONÇALVES, J.; ALMEIDA, A. M. Análise da dificuldade e da discriminação de itens de Matemática do ENEM. **REMAT: Revista Eletrônica da Matemática**, v. 4, n. 2, p. 38–53, 2018.
- POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. Porto Alegre: Artmed, v. 5, p. 5, 2009.
- RABELO, M. Avaliação educacional: fundamentos, metodologia e aplicações no contexto brasileiro. **Rio de Janeiro: SBM**, v. 29, p. 30-31, 2013.
- RINALDI, B. B.; BARROSO, M. F.; RUBINI, G. **Como usar as questões do ENEM para avaliar o ensino de Física: aplicação às questões de Física da prova de CN de 2013**. 2017. Material instrucional associado à dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- RODRIGUES, E. V. Uma revisão da questão da garrafa PET da prova do ENEM 2013. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 2, p. 411-418, ago. 2014.
- RODRIGUES, M. M. Proposta de análise de itens das provas do SAEB sob a perspectiva pedagógica e a psicométrica. **Estudos em Avaliação Educacional**, v. 17, n. 34, p. 43-78, 2006.
- RUBINI, G. M. **O que o Enem revela sobre a Aprendizagem em Física na Educação Básica**. 2019 Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ensino e História da Matemática e da Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SANTOS, J. M. C. T. Exame Nacional do Ensino Médio: entre a regulação da qualidade do Ensino Médio e o vestibular. **Educ. rev.**, Curitiba , n. 40, p. 195-205,

2011 .

SARTES, L. M. A.; SOUZA-FORMIGONI, M. L. O. de. Avanços na psicometria: da Teoria Clássica dos Testes à Teoria de Resposta ao Item. **Psicol. Reflex. Crit.**, Porto Alegre, v. 26, n. 2, p. 241-250, 2013 .

SHERIN, B. L. How Students Understand Physics Equations. **Cognition and Instruction**, v. 19, n.4, p. 479–541. 2001.

SILVA, V. A. da, MARTINS, M. I. Análise de questões de física do ENEM pela taxonomia de Bloom revisada. **Revista Ensaio**. V. 16, n. 3, p. 189-202. Belo Horizonte, 2014.

SILVA, V. G.; CARVALHO, C. P. Usos e efeitos das avaliações externas como objeto de pesquisa. **Estudos em Avaliação Educacional**, v. 25, n. 59, p. 12-21, 2014.

SILVEIRA, F. L. -Relação entre os índices de Discriminação de Itens em Testes Psicométricos e Duas Outras Estatísticas: Variância do Escore Total e Coeficiente de Fidedignidade - **Ciência e Cultura**. n. 33 (2). 1981.

SILVEIRA, F. L. da; BARBOSA, M. C. B.; SILVA, R. da. Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM): uma análise crítica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 1, p. 1101, 2015.

SILVEIRA, F. L. da; STILCK, J.; BARBOSA, M. Manifesto sobre a qualidade das questões de Física na Prova de Ciências da Natureza no Exame Nacional de Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 2, p. 473-479, 2014.

SILVEIRA, F. L. da. **Comentários críticos sobre cinco questões de Física na prova de Ciências da Natureza – ENEM 2013**. Departamento de Física UFRGS. 2013. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/enem2013.pdf>>. Acesso em: 02 de março de 2018.

SMITH, K. C.; NAKHLEHB, M. B.; BRETZC, S. L. An expanded framework for analyzing general chemistry exams. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 11, p. 147 – 153. 2010.

SOUZA, S. M. Z. L.. Possíveis impactos das políticas de avaliação no currículo escolar. **Cad. Pesqui.**, São Paulo , n. 119, p. 175-190, 2003.

SOUZA, M. C.; ROSA, J. G. O Exame Nacional de Ensino Médio (ENEM) e o ranqueamento das escolas: princípios e práticas. **Revista Espacios**, v. 38, n. 15, 2017.

SPAZZIANI, G. P. **Devolutivas pedagógicas construídas a partir das escolhas das**

alternativas pelos candidatos nos itens de física do ENEM. 2019. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física “Gleb Wataghin” (IFGW), Campinas, SP.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S.; ULLMAN, J. B. **Using multivariate statistics.** Boston, MA: Pearson, 2007.

THIRY-CHERQUES, H. R. Pierre Bourdieu: a teoria na prática. **Revista de Administração Pública**, v. 40, n. 1, p. 27-53, 2006.

TRAVITZKI, R. **ENEM: limites e possibilidades do Exame Nacional do Ensino Médio enquanto indicador de qualidade escolar.** 2013. 277p. Tese de Doutorado em Educação – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade de São Paulo, 2013.

Universidade de São Paulo (USP). Gabinete da pró-reitoria de graduação. Resolução CoG nº 4752, de 24 de abril de 2000. **Diário Oficial do Estado.** São Paulo. SP. 26 de abril de 2000. Disponível em: <http://www.leginf.usp.br/?resolucao=resolucao-cog-no-4752-de-24-de-abril-de-2000>, acesso em 20/07/2020.

VALADÃO, D. L. **Apropriação da perspectiva teórica de Bourdieu na pesquisa em educação em ciências: uma revisão bibliográfica.** 2016. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado.). Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG.

VIANNA, H. M. **Testes em Educação.** 1a ed. São Paulo: Ibrasa, 1982.

VIANNA, H. M. Validade de construto em testes educacionais. **Educação e seleção**, n. 08, p. 35-44, 1983.

VIGGIANO, E.; MATTOS, C. O desempenho de estudantes no Enem 2010 em diferentes regiões brasileiras. **Rev. Bras. Estud. Pedagog.**, Brasília, v. 94, n. 237, p. 417-438, Agosto. 2013.

VILLAR, R. P.; KLEINKE, M. U. Análise de concentração do item para identificação de distratores no ENEM. XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (XVII EPEF), Florianópolis (Online), SC. **Anais...**, 2020.

VILLAR, R. P.; KLEINKE, M. U. Construtos da prova de física do ENEM de 2017 por análise fatorial exploratória. XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (XVIII EPEF), Florianópolis (Online), SC. **Anais...**, 2020.

VILLAR, R. P.; KLEINKE, M. U. Física experimental no ENEM: a influência da escolaridade dos pais. XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (XVII EPEF),

Campos do Jordão, SP. **Anais...**, 2018.

VILLAR, R. P.; NAKAMURA, T. M.; KLEINKE, M. U. Taxonomia de Bloom Revisada e sua relação com o desempenho nos itens de física do ENEM. XIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XIII ENPEC ENPEC EM REDES. **Anais...** 2021

YAGUTI, R.; GEBARA, M. J. F. As concepções alternativas em ondulatória nas provas do ENEM. In: X ENPEC. X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. 10. 2015. Águas de Lindóia, SP. **Anais...** Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R1845-1.PDF>, acesso em jun/2020.

APÊNDICE A – Índices de Facilidade (IFI), Concentração (ICI) e Discriminação (IDI) dos itens de física do ENEM de 2012 a 2017

Foram determinados os índices de facilidade (IFI), concentração (ICI) e discriminação (IDI) de todos os itens analisados neste trabalho. Para classificar os itens utilizou-se o critério de Bao e Redish (2001) para IFI e ICI e Rabello (2013) para IDI. As cores presentes nas tabelas estão de acordo com as classificações dos Quadros 23 e 24.

Quadro 23: Critérios para classificação dos itens de acordo com IFI e ICI com legenda de cores

IFI	Legenda de cor	Categoria	ICI	Legenda de cor	Categoria
0,0 – 0,4	Vermelho	Baixo (B)	0,0 – 0,2	Vermelho	Baixo (B)
0,4 – 0,7	Amarelo	Médio (M)	0,2 – 0,5	Amarelo	Médio (M)
0,7 – 1,0	Verde	Alto (A)	0,5 – 1,0	Verde	Alto (A)

Fonte: Adaptado de Bao e Redish (2001).

Quadro 24: Critério para classificação dos itens de acordo com IDI com legenda de cores.

Valores	Legenda de cor	Classificação
$IDI < 0,2$	Vermelho	Item deficiente, deve ser rejeitado.
$0,2 < IDI < 0,3$	Amarelo	Item marginal, sujeito à reelaboração
$0,3 < IDI < 0,4$	Azul	Item bom, mas sujeito ao aprimoramento
$IDI > 0,4$	Verde	Item bom

Fonte: Adaptado de Rabello (2013)

ANO 2012	Concluintes do ensino médio (1.089.116 candidatos)			EF (123.397 candidatos)		EM (159.484 candidatos)		ES (93.415 candidatos)	
Item	IFI	ICI	IDI	IFI	ICI	IFI	ICI	IFI	ICI
Q47	0,45	0,24	0,46	0,38	0,20	0,50	0,28	0,73	0,55
Q50	0,61	0,36	0,33	0,58	0,31	0,64	0,40	0,74	0,56
Q54	0,29	0,06	0,36	0,23	0,05	0,32	0,07	0,53	0,25
Q55	0,07	0,21	0,07	0,06	0,22	0,07	0,18	0,12	0,17
Q60	0,24	0,15	0,08	0,24	0,14	0,23	0,19	0,31	0,16
Q61	0,27	0,13	0,30	0,23	0,12	0,29	0,15	0,45	0,25
Q64	0,28	0,03	0,36	0,22	0,02	0,30	0,04	0,57	0,30
Q67	0,29	0,04	0,10	0,28	0,03	0,28	0,04	0,31	0,07
Q71	0,61	0,34	0,56	0,53	0,24	0,66	0,42	0,85	0,73
Q72	0,44	0,16	0,45	0,37	0,11	0,47	0,19	0,71	0,50
Q73	0,17	0,03	0,11	0,17	0,02	0,18	0,03	0,21	0,05
Q74	0,16	0,02	0,10	0,15	0,02	0,16	0,02	0,19	0,01
Q77	0,29	0,06	0,24	0,27	0,05	0,31	0,07	0,39	0,12
Q78	0,29	0,02	0,19	0,27	0,01	0,29	0,03	0,38	0,08
Q83	0,17	0,02	0,17	0,14	0,02	0,18	0,02	0,32	0,06
Q84	0,23	0,04	0,17	0,22	0,02	0,24	0,05	0,29	0,11
Q88	0,16	0,16	0,15	0,13	0,17	0,16	0,19	0,29	0,17

ANO 2013	Concluintes do ensino médio (1.190.007 candidatos)			EF (135.859 candidatos)		EM (176.021 candidatos)		ES (100.701 candidatos)	
Item	IFI	ICI	IDI	IFI	ICI	IFI	ICI	IFI	ICI
Q46	0,14	0,03	0,05	0,15	0,02	0,13	0,03	0,15	0,11
Q48	0,19	0,14	0,15	0,17	0,12	0,18	0,17	0,26	0,22
Q52	0,57	0,29	0,37	0,52	0,22	0,61	0,36	0,75	0,56
Q57	0,11	0,04	0,07	0,11	0,04	0,11	0,05	0,16	0,09
Q61	0,28	0,10	0,14	0,27	0,09	0,27	0,11	0,32	0,17
Q65	0,18	0,03	0,11	0,17	0,04	0,18	0,04	0,27	0,03
Q66	0,18	0,00	0,12	0,17	0,00	0,18	0,00	0,23	0,01
Q72	0,13	0,05	0,07	0,13	0,06	0,13	0,06	0,16	0,04
Q75	0,08	0,14	0,05	0,07	0,16	0,07	0,15	0,13	0,06
Q76	0,20	0,03	0,08	0,20	0,01	0,19	0,05	0,21	0,26
Q79	0,19	0,05	0,11	0,19	0,08	0,20	0,04	0,21	0,01
Q82	0,35	0,10	0,22	0,33	0,09	0,36	0,10	0,43	0,15
Q83	0,12	0,05	0,06	0,12	0,05	0,12	0,05	0,12	0,05
Q85	0,15	0,07	0,10	0,14	0,07	0,15	0,07	0,18	0,09
Q87	0,15	0,03	0,03	0,16	0,04	0,14	0,03	0,13	0,09
Q89	0,39	0,12	0,09	0,40	0,12	0,36	0,10	0,38	0,11

ANO 2014	Concluintes do ensino médio (1.229.283 candidatos)			EF (142.902 candidatos)		EM (189.164 candidatos)		ES (104.596 candidatos)	
Item	IFI	ICI	IDI	IFI	ICI	IFI	ICI	IFI	ICI
Q46	0,16	0,08	0,07	0,15	0,06	0,15	0,09	0,21	0,18
Q50	0,28	0,04	0,25	0,25	0,04	0,30	0,05	0,41	0,10
Q55	0,31	0,06	0,30	0,26	0,04	0,32	0,07	0,52	0,24
Q57	0,26	0,01	0,19	0,24	0,01	0,27	0,01	0,35	0,06
Q62	0,12	0,15	0,09	0,12	0,14	0,13	0,14	0,16	0,16
Q64	0,23	0,02	0,15	0,20	0,02	0,23	0,03	0,32	0,08
Q66	0,16	0,05	0,10	0,16	0,04	0,16	0,05	0,21	0,09
Q67	0,14	0,04	0,07	0,13	0,04	0,13	0,06	0,22	0,08
Q68	0,17	0,00	0,17	0,14	0,01	0,17	0,00	0,35	0,07
Q72	0,29	0,03	0,25	0,26	0,02	0,31	0,04	0,42	0,11
Q76	0,50	0,22	0,33	0,46	0,18	0,52	0,25	0,65	0,42
Q82	0,12	0,06	0,08	0,11	0,07	0,12	0,08	0,17	0,10
Q84	0,24	0,05	0,19	0,22	0,07	0,25	0,04	0,34	0,06
Q87	0,42	0,12	0,30	0,38	0,09	0,44	0,14	0,56	0,29
Q90	0,36	0,07	0,28	0,33	0,05	0,37	0,08	0,49	0,20

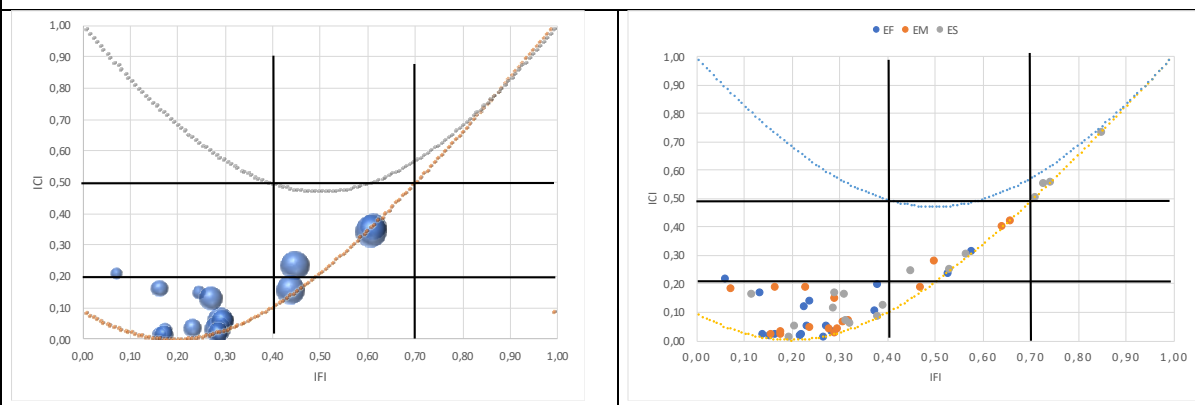
ANO 2015	Concluintes do ensino médio (1.254.330 candidatos)			EF (123.397 candidatos)		EM (159.484 candidatos)		ES (93.415 candidatos)	
Item	IFI	ICI	IDI	IFI	ICI	IFI	ICI	IFI	ICI
Q49	0,37	0,11	0,25	0,36	0,10	0,38	0,12	0,43	0,17
Q50	0,21	0,04	0,17	0,20	0,04	0,21	0,04	0,32	0,07
Q53	0,16	0,05	0,11	0,15	0,06	0,16	0,04	0,20	0,04
Q57	0,21	0,02	0,17	0,19	0,02	0,21	0,03	0,31	0,06
Q63	0,39	0,14	0,40	0,33	0,12	0,41	0,16	0,63	0,40
Q64	0,27	0,01	0,14	0,27	0,01	0,27	0,01	0,28	0,02
Q65	0,20	0,13	0,23	0,16	0,16	0,20	0,13	0,38	0,12
Q68	0,43	0,14	0,40	0,39	0,10	0,46	0,17	0,64	0,40
Q70	0,40	0,16	0,09	0,42	0,16	0,39	0,17	0,34	0,24
Q75	0,28	0,10	0,28	0,24	0,09	0,30	0,12	0,44	0,21
Q82	0,33	0,06	0,32	0,30	0,04	0,35	0,07	0,48	0,19
Q85	0,34	0,05	0,30	0,31	0,03	0,37	0,07	0,52	0,23
Q86	0,62	0,37	0,29	0,59	0,32	0,64	0,40	0,74	0,56
Q88	0,20	0,12	0,16	0,18	0,13	0,20	0,13	0,29	0,13

ANO 2016	Concluintes do ensino médio (1.291.946 candidatos)			EF (62.481 candidatos)		EM (214.612 candidatos)		ES (107.315 candidatos)	
Item	IFI	ICI	IDI	IFI	ICI	IFI	ICI	IFI	ICI
Q47	0,38	0,13	0,23	0,36	0,11	0,38	0,14	0,45	0,20
Q49	0,20	0,08	0,06	0,21	0,08	0,19	0,09	0,19	0,12
Q54	0,27	0,05	0,18	0,26	0,05	0,28	0,06	0,33	0,09
Q55	0,21	0,01	0,15	0,19	0,01	0,21	0,01	0,30	0,04
Q57	0,23	0,01	0,27	0,19	0,00	0,24	0,01	0,43	0,14
Q59	0,26	0,03	0,15	0,25	0,04	0,25	0,03	0,30	0,03
Q63	0,23	0,13	0,11	0,23	0,09	0,23	0,14	0,23	0,32
Q66	0,13	0,08	0,10	0,12	0,09	0,13	0,08	0,20	0,08
Q74	0,27	0,03	0,26	0,23	0,02	0,28	0,04	0,45	0,17
Q77	0,25	0,09	0,16	0,25	0,10	0,25	0,09	0,33	0,08
Q82	0,25	0,04	0,18	0,24	0,04	0,25	0,04	0,34	0,07
Q84	0,36	0,08	0,22	0,34	0,07	0,36	0,08	0,42	0,12
Q86	0,10	0,21	0,04	0,09	0,20	0,09	0,23	0,11	0,30
Q88	0,24	0,03	0,22	0,21	0,02	0,24	0,03	0,34	0,09

ANO 2017	Concluintes do ensino médio (1.167.212 candidatos)			EF (53.577 candidatos)		EM (203.285 candidatos)		ES (108.200 candidatos)	
Item	IFI	ICI	IDI	IFI	ICI	IFI	ICI	IFI	ICI
Q91	0,24	0,05	0,23	0,22	0,05	0,25	0,06	0,38	0,12
Q93	0,55	0,28	0,28	0,52	0,24	0,55	0,29	0,65	0,42
Q97	0,45	0,15	0,43	0,39	0,09	0,47	0,17	0,67	0,45
Q99	0,56	0,29	0,31	0,53	0,24	0,58	0,32	0,67	0,46
Q101	0,17	0,03	0,11	0,16	0,04	0,17	0,03	0,20	0,03
Q103	0,41	0,10	0,32	0,37	0,07	0,41	0,11	0,55	0,27
Q108	0,31	0,04	0,19	0,29	0,03	0,31	0,04	0,37	0,07
Q111	0,45	0,16	0,12	0,47	0,18	0,46	0,17	0,38	0,10
Q113	0,21	0,03	0,14	0,20	0,03	0,21	0,03	0,26	0,03
Q123	0,38	0,09	0,33	0,34	0,07	0,39	0,09	0,58	0,31
Q124	0,12	0,11	0,05	0,12	0,12	0,11	0,12	0,14	0,05
Q125	0,08	0,05	0,03	0,09	0,06	0,08	0,06	0,10	0,03
Q127	0,16	0,09	0,14	0,13	0,11	0,16	0,09	0,24	0,05
Q130	0,11	0,03	0,10	0,09	0,04	0,10	0,03	0,22	0,02
Q134	0,22	0,09	0,12	0,22	0,10	0,22	0,09	0,25	0,07

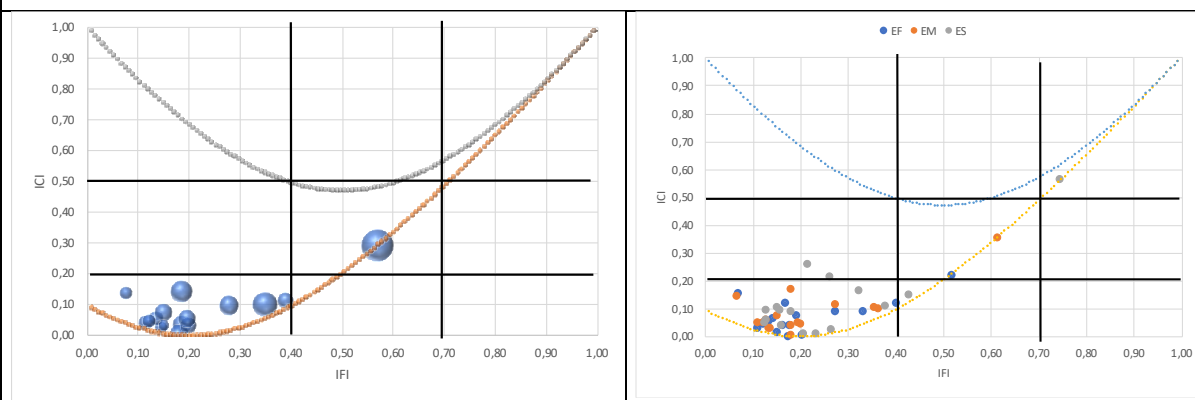
APÊNDICE B – Gráficos com os itens de física com a classificação de Bao e Redish (2001)

Figura 39: Gráficos de dispersão, dos itens de Física do ENEM 2012, de ICI x IFI x IDI para os concluintes do Ensino Médio (esquerda) e gráfico de dispersão de ICI x IFI para os grupos EF, EM e ES com delimitação das regiões de Bao e Redish (2001)



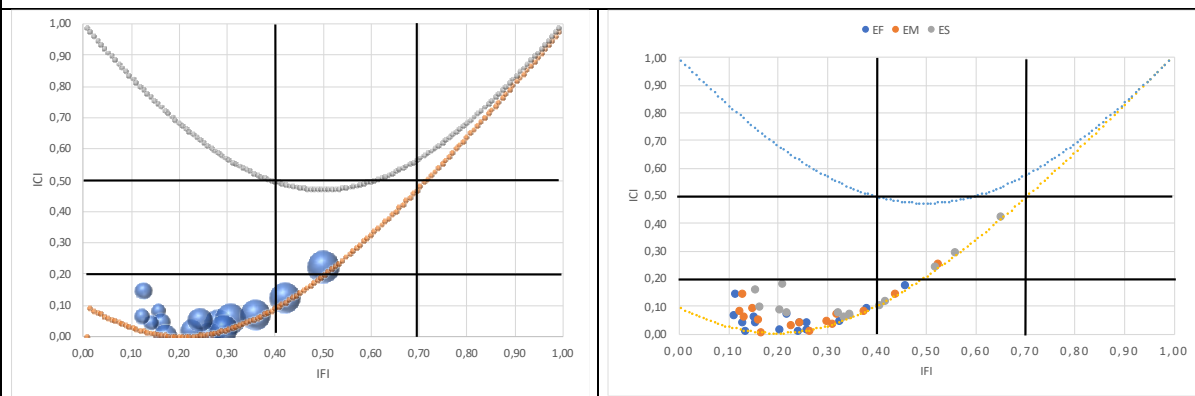
Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos microdados do ENEM.

Figura 40: Gráficos de dispersão, dos itens de Física do ENEM 2013, de ICI x IFI x IDI para os concluintes do Ensino Médio (esquerda) e gráfico de dispersão de ICI x IFI para os grupos EF, EM e ES com delimitação das regiões de Bao e Redish (2001)



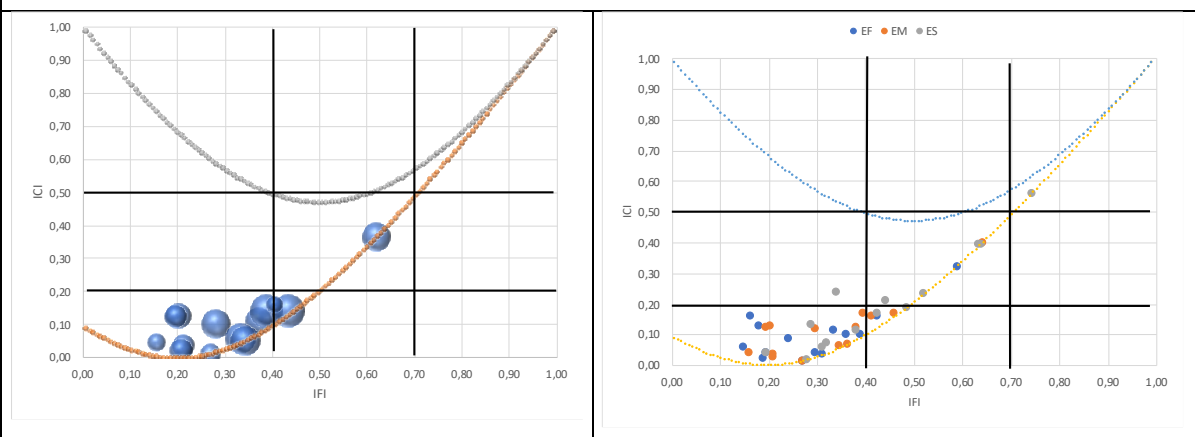
Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos microdados do ENEM.

Figura 41: Gráficos de dispersão, dos itens de Física do ENEM 2014, de ICI x IFI x IDI para os concluintes do Ensino Médio (esquerda) e gráfico de dispersão de ICI x IFI para os grupos EF, EM e ES com delimitação das regiões de Bao e Redish (2001)



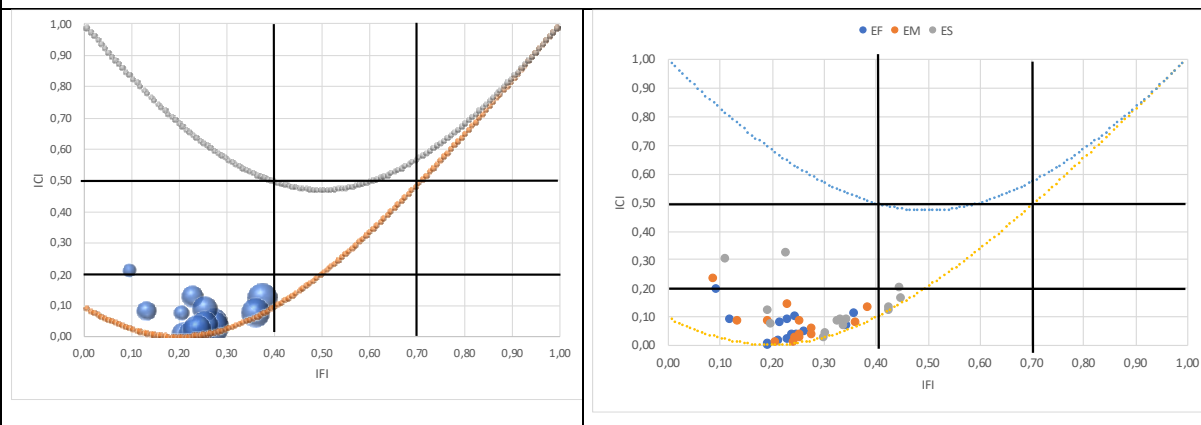
Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos microdados do ENEM.

Figura 42: Gráficos de dispersão, dos itens de Física do ENEM 2015, de ICI x IFI x IDI para os concluintes do Ensino Médio (esquerda) e gráfico de dispersão de ICI x IFI para os grupos EF, EM e ES com delimitação das regiões de Bao e Redish (2001)



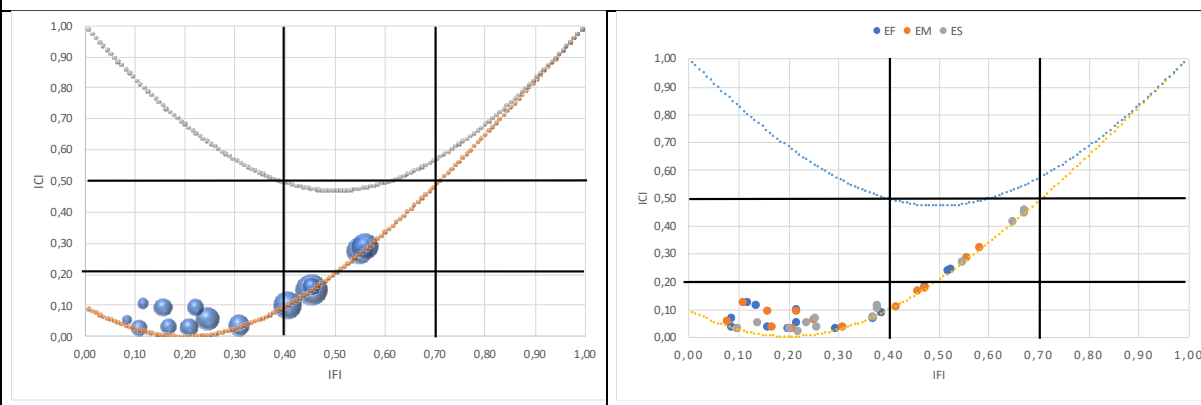
Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos microdados do ENEM.

Figura 43: Gráficos de dispersão, dos itens de Física do ENEM 2016, de ICI x IFI x IDI para os concluintes do Ensino Médio (esquerda) e gráfico de dispersão de ICI x IFI para os grupos EF, EM e ES com delimitação das regiões de Bao e Redish (2001)



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos microdados do ENEM.

Figura 44: Gráficos de dispersão, dos itens de Física do ENEM 2017, de ICI x IFI x IDI para os concluintes do Ensino Médio (esquerda) e gráfico de dispersão de ICI x IFI para os grupos EF, EM e ES com delimitação das regiões de Bao e Redish (2001)



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos microdados do ENEM.

APENDICE C – Classificação dos itens de 2009 a 2017 pela taxonomia de Smith

A classificação dos itens de física de acordo com a Taxonomia de Smith foi feita por Marcom (2019) e Marcom e Kleinke (2020) e faz parte das análises realizadas pelo grupo de pesquisa no qual este trabalho se insere.

Quadro 25: Classificação dos itens de Física do ENEM de 2009 a 2017 de acordo com a Taxonomia de Smith.

ENEM	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Item	5	47	46	47	46	46	49	47	93
	8	48	56	50	48	50	50	49	99
	10	50	60	54	51	55	53	54	101
	11	52	63	55	52	57	63	55	103
	14	54	66	60	57	62	64	57	104
	17	56	67	61	61	64	65	59	105
	18	58	70	64	65	66	68	63	107
	19	59	73	67	66	67	70	66	108
	20	63	77	72	72	68	75	74	111
	27	68	78	73	75	72	79	77	113
	30	70	84	74	76	76	82	82	123
	31	78	86	77	79	82	85	84	124
	35	81		78	82	84	88	86	125
	37	84		84	83	87		88	127
	38	89			85	90			130
	39				87				134
	45				89				

Fonte: Marcom, 2019

Legenda:

Algorítmicos	57
Conceituais	67
Total	133

APÊNDICE D – Agrupamentos dos itens de Física do ENEM de 2012 as 2017 por Análise Fatorial nos grupos separados

Foi realizada a Análise fatorial dos itens de física do ENEM para os concluintes do Ensino Médio e para os grupos EF, EM e ES para os anos de 2012 a 2017. Neste apêndice apresentamos as cargas fatoriais bem como os agrupamentos dos itens destacados em amarelo. Os itens que não pertencem a nenhum dos fatores por apresentarem carga fatorial semelhante em dois fatores ou mais fatores são destacados em amarelo para todos os fatores.

A carga fatorial negativa indica que o item apresenta impacto inverso para o fator. Neste caso que o candidato só pode acertar ou errar o item, indica que os candidatos que acertaram este item, erraram os demais do fator e vice e versa.

2012

Grupo EF

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Q71	0,58483	0,20416	0,00897	0,12077
Q72	0,50371	0,05596	0,005	0,01634
Q47	0,48274	0,03626	0,03213	0,11682
Q54	0,44826	0,21837	0,04827	0,02784
Q61	0,40349	0,15938	0,03967	0,03809
Q50	0,40293	-0,34999	0,03784	0,07878
Q64	0,38367	0,20299	0,03915	0,08483
Q77 ¹⁵	0,28021	-0,21296	0,21202	0,19623
Q83	0,09104	0,52536	0,08612	0,00216
Q88	0,09538	0,49259	0,00304	0,06987
Q55	0,09237	0,38501	0,0956	0,18494
Q78	0,01385	0,08138	0,66778	0,03258
Q74	0,06601	0,27772	0,53675	0,3156
Q73	0,05669	0,03639	0,4761	0,21835
Q67	0,0056	0,01691	0,03893	0,68246
Q60	0,08007	0,09454	0,00671	0,53616

¹⁵ O item Q77-2012 não apresenta carga fatorial relevante para um único fator neste grupo.

Grupo EM

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Q71	0,61519	0,16582	0,02634
Q72	0,56975	0,03957	0,0267
Q47	0,54123	0,02479	0,02593
Q54	0,48792	0,15733	0,11985
Q64	0,48535	0,24689	0,03426
Q61	0,42848	0,11101	0,10115
Q50	0,36977	0,25889	0,19294
Q88	0,18771	0,50185	0,1037
Q83	0,23027	0,46548	0,12222
Q60	0,12368	0,44825	0,3129
Q55	0,085	0,37567	0,12807
Q67	0,07939	0,36727	0,00979
Q73	0,00611	0,00569	0,61336
Q74	0,00857	0,11318	0,47257
Q78	0,08479	0,00378	0,38989
Q77	0,19703	0,08442	0,35331

Grupo ES

	Fator 1	Fator 2
Q72	0,63617	0,06906
Q71	0,62637	0,14131
Q47	0,59917	0,06335
Q64	0,57143	0,21993
Q54	0,51589	0,22453
Q61	0,43314	0,21334
Q50	0,38356	0,0736
Q83	0,32022	0,27281
Q60	0,18339	0,52158
Q73	0,00316	0,49383
Q67	0,06566	0,4892
Q74	0,09139	0,39992
Q78	0,13407	0,39057
Q55	0,05985	0,38781
Q88	0,25571	0,35238
Q77	0,19796	0,32223

Concluintes do Ensino Médio

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Q71	0,61716	0,19714	0,01873
Q72	0,566	0,06062	0,0193
Q47	0,56052	0,04431	0,02065
Q54	0,4985	0,20442	0,06224
Q64	0,48866	0,24817	0,04267
Q61	0,43143	0,14496	0,05326
Q50	0,40795	0,28736	0,20863
Q88	0,20214	0,49718	0,12078
Q83	0,24555	0,4634	0,13345
Q60	0,09161	0,46078	0,25059
Q55	0,08965	0,37049	0,07598
Q67	0,09259	0,31019	0,17473
Q73	0,00065	0,01385	0,63788
Q78	0,09895	0,01524	0,45905
Q74	0,01072	0,15196	0,42889
Q77 ¹¹	0,24745	0,06002	0,29578

2013

Grupo EF

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6
Q52	0,57936	0,18471	0,03362	0,0113	0,21788	0,0718
Q48	0,48289	0,0589	0,08055	0,0251	0,13691	0,1028
Q89	-0,5335	0,31126	0,09951	0,01971	0,12724	0,10069
Q83	0,01623	0,54313	0,09413	0,11107	0,04555	0,07719
Q85	0,02507	0,47183	0,36534	0,10028	0,34595	0,09847
Q87	0,19224	0,43078	0,08855	0,1482	0,04247	0,16027
Q75	0,14126	0,38818	0,10681	0,10584	0,20345	0,13773
Q66	0,00786	0,02868	0,64042	0,03662	0,00566	0,02169
Q57	0,06963	0,01418	0,56907	0,01986	0,20702	0,11781
Q82	0,15315	0,2233	0,34828	0,0057	0,28125	0,19904
Q61	0,13548	0,01167	0,04412	0,58488	0,09517	0,11256
Q65	0,02439	0,05708	0,04562	0,58222	0,09598	0,24609
Q76	0,14967	0,0824	0,02437	0,5505	0,31552	0,11196
Q72	0,11445	0,05426	0,08203	0,01681	0,63705	0,10206
Q46	0,31184	0,04034	0,0923	0,07575	0,35266	0,06867
Q79	0,02336	0,03186	0,01848	0,00528	0,11703	0,87628

Grupo EM

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5
Q52	0,64735	0,0713	0,02046	0,01959	0,12121
Q48	0,41959	0,21104	0,07955	0,19775	0,12125
Q82	0,38697	0,04755	0,35437	0,21103	0,05923
Q46	-0,27784	0,14446	0,17642	0,0212	0,20903
Q87	-0,39841	0,16905	0,00478	0,1253	0,12174
Q65	0,00041	0,53432	0,0724	0,13265	0,05674
Q61	0,04526	0,51771	0,0726	0,13804	0,16575
Q72	0,02771	0,42942	0,02666	0,26985	0,10184
Q75	0,02516	0,39733	0,21909	0,27755	0,0397
Q85	0,02503	0,27642	0,53615	0,33245	0,22205
Q66	0,06464	0,05418	0,52448	0,12864	0,03126
Q57	0,0511	0,11558	0,41	0,05712	0,06803
Q83	0,20342	0,04407	0,09258	0,51643	0,14604
Q89	0,19622	0,00455	0,29067	-0,51856	0,21092
Q79	0,00426	0,00216	0,01305	0,02012	0,80222
Q76	0,23329	0,16887	0,17004	0,26901	0,32661

Grupo ES

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Q65	0,51646	0,21686	0,02624	0,01594
Q75	0,49326	0,16124	0,08647	0,07659
Q61	0,45672	0,07117	0,00592	0,06971
Q87	0,44764	0,16803	0,13432	0,14918
Q76	0,42901	0,09928	0,04122	0,01175
Q72	0,42319	0,08119	0,07511	0,10969
Q89	0,41141	0,0159	0,04759	0,17325
Q57	0,40482	0,12128	0,0176	0,01358
Q46	0,36878	0,01987	0,0355	0,08891
Q66	0,36822	0,1132	0,06359	0,05943
Q52	0,1363	0,7382	0,10938	0,01317
Q48	0,12444	0,50126	0,06152	0,04865
Q82	0,15805	0,42434	0,02788	0,05182
Q79	0,07231	0,05133	0,95047	0,05547
Q85 ¹⁶	0,14594	0,06262	0,2261	0,04596
Q83	0,01157	0,01283	0,01037	0,95489

¹⁶ O item Q85-2013 não apresenta carga fatorial relevante para um único fator neste grupo.

Concluintes do Ensino Médio

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5
Q75	0,48752	0,02232	0,11159	0,18181	0,01967
Q65	0,48403	0,00373	0,08356	0,21987	0,05918
Q61	0,43925	0,01429	0,08771	0,17725	0,28053
Q72	0,4392	0,05629	0,00671	0,19701	0,11377
Q52	0,10573	0,66325	0,03438	0,01471	0,05322
Q48	0,35455	0,40319	0,00854	0,06591	0,20996
Q46	0,21546	-0,30842	0,08939	0,05488	0,0752
Q87	0,2035	-0,36419	0,01852	0,15639	0,18331
Q66	0,04487	0,01687	0,56139	0,06943	0,03108
Q85	0,13668	0,00981	0,52797	0,43658	0,09893
Q57	0,13969	0,10671	0,46854	0,00161	0,06719
Q82	0,03968	0,33839	0,41434	0,18834	0,02621
Q83	0,10441	0,15899	0,00252	0,55966	0,07289
Q89	0,00737	0,31229	0,22797	-0,46319	0,12801
Q79	0,08679	0,09817	0,03329	0,14186	0,7884
Q76	0,14688	0,18141	0,09849	0,25617	0,41512

2014

Grupo EF

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Q76	0,50255	0,11066	0,08675
Q87	0,48585	0,08291	0,16397
Q55	0,4279	0,10841	0,24081
Q90	0,40957	0,04132	0,09619
Q57	0,36054	0,21151	0,20173
Q72	0,34486	0,03582	0,12907
Q50	0,33387	0,13894	0,30789
Q84	0,26972	0,05807	0,13682
Q67	0,03667	0,59404	0,15717
Q46	0,04676	0,55766	0,03308
Q82	0,0079	0,46702	0,01761
Q66	0,09777	0,3071	0,02536
Q62	0,12493	0,08495	0,70013
Q64	0,09135	0,07015	0,40893
Q68	0,2415	0,2461	0,36717

Grupo EM

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Q55	0,45612	0,11079	0,12714
Q50	0,4387	0,10658	0,0463
Q68	0,43074	0,26012	0,10082
Q90	0,35297	0,04618	0,18963
Q64	0,34481	0,04555	0,14355
Q72	0,34323	0,02673	0,11941
Q84	0,29836	0,06459	0,14801
Q67	0,06067	0,60387	0,1014
Q46	0,09002	0,55281	0,01739
Q82	0,00652	0,45081	0,06659
Q66	0,0679	0,30705	0,0655
Q87	0,21167	0,00281	0,47762
Q76	0,22553	0,11489	0,45944
Q57	0,04462	0,18077	0,44989
Q62	0,40339	0,06351	-0,55016

Grupo ES

	Fator 1	Fator 2
Q55	0,50209	0,23317
Q50	0,49262	0,11723
Q68	0,43334	0,30886
Q76	0,42331	0,06363
Q72	0,41816	0,04285
Q90	0,39019	0,12792
Q87	0,38308	0,09381
Q84	0,36712	0,04938
Q64	0,29168	0,20884
Q82	0,09975	0,59761
Q67	0,17024	0,57791
Q46	0,07768	0,52811
Q66	0,08551	0,35549
Q57	0,26762	0,33513
Q62	0,00386	0,28739

Concluintes do Ensino Médio

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Q76	0,50255	0,11066	0,08675
Q87	0,48585	0,08291	0,16397
Q55	0,4279	0,10841	0,24081
Q90	0,40957	0,04132	0,09619
Q57	0,36054	0,21151	0,20173
Q72	0,34486	0,03582	0,12907
Q50	0,33387	0,13894	0,30789
Q84	0,26972	0,05807	0,13682
Q67	0,03667	0,59404	0,15717
Q46	0,04676	0,55766	0,03308
Q82	0,0079	0,46702	0,01761
Q66	0,09777	0,3071	0,02536
Q62	0,12493	0,08495	0,70013
Q64	0,09135	0,07015	0,40893
Q68	0,2415	0,2461	0,36717

2015

Grupo EF

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Q68	0,55811	0,04838	0,01715	0,09154
Q82	0,50205	0,10603	0,13649	0,22754
Q49	0,43954	0,12669	0,01404	0,0309
Q63	0,43625	0,2371	0,18314	0,08856
Q86	0,39027	0,13078	0,0833	0,33538
Q70	0,25203	0,69668	0,09534	0,11003
Q75	0,17438	-0,43747	0,18547	0,03935
Q85	0,15052	-0,49803	0,03696	0,07558
Q50	0,01519	0,06647	0,58104	0,02317
Q64	0,03579	0,09999	0,48244	0,42161
Q57	0,02617	0,16853	0,36267	0,04124
Q88	0,06794	0,00942	0,35811	0,09071
Q53	0,12515	0,13218	0,3136	0,17131
Q79	0,02612	0,0781	0,17459	0,63962
Q65	0,27361	0,0283	0,09	0,46246

Grupo EM

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Q68	0,54356	0,14025	0,11114	0,03619
Q82	0,53225	0,11201	0,00274	0,15487
Q86	0,4737	0,0374	0,16299	0,10828
Q49	0,46885	0,12893	0,0334	0,06433
Q63	0,37561	0,3253	0,11757	0,07306
Q70	0,24409	0,67582	0,1875	0,16433
Q88	0,06634	-0,24928	0,17604	0,18305
Q85	0,1263	-0,45947	0,03104	0,01383
Q75	0,10206	-0,47556	0,09495	0,07531
Q50	0,01512	0,07569	0,54995	0,10608
Q79	0,0002	0,13558	0,52817	0,24366
Q53	0,07517	0,04236	0,41529	0,03871
Q57	0,02307	0,12132	0,39955	0,05029
Q65	0,282	0,16935	0,31484	0,16137
Q64	0,01776	0,09024	0,03017	0,89308

Grupo ES

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Q82	0,57936	0,13783	0,10023
Q68	0,55629	0,11317	0,01805
Q65	0,47472	0,19244	0,06084
Q49	0,44509	0,35082	0,34494
Q79	0,38374	0,38066	0,1024
Q63	0,36906	0,23524	0,05598
Q88	0,35727	0,10007	0,03345
Q86	0,30975	0,06493	0,05379
Q75	0,10502	0,48085	0,00281
Q85	0,18536	0,45445	0,00631
Q57	0,18299	0,40138	0,15327
Q53	0,1011	0,4004	0,06553
Q50	0,24002	0,37474	0,33402
Q70	0,16641	0,00942	0,65788
Q64	0,00249	0,02518	0,59894

Concluintes do Ensino Médio

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Q68	0,54942	0,1053	0,02713
Q82	0,52004	0,0062	0,08674
Q86	0,50201	0,17572	0,07641
Q63	0,49575	0,18698	0,00795
Q49	0,39121	0,13659	0,24477
Q85	0,31949	0,22657	0,09168
Q75	0,30887	0,24843	0,08896
Q79	0,03959	0,53231	0,10908
Q50	0,01308	0,48737	0,27862
Q57	0,05044	0,42157	0,03398
Q65	0,28871	0,3528	0,08615
Q88	0,10494	0,32576	0,02408
Q53	0,08083	0,30847	0,04084
Q64	0,00061	0,13875	0,66571
Q70	0,03531	0,12332	0,6225

2016

Grupo EF

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5
Q57	0,59634	0,00724	0,07569	0,0342	0,15229
Q88	0,51553	0,05314	0,01124	0,05269	0,11073
Q74	0,47519	0,05106	0,02484	0,12943	0,07874
Q84	0,43684	0,08165	0,08986	0,01196	0,37657
Q47	0,03279	0,58863	0,17259	0,07953	0,2092
Q77	0,03632	0,52533	0,15507	0,01496	0,1884
Q55	0,0955	0,22102	0,71376	0,06235	0,00162
Q54	0,09576	0,21949	-0,65745	0,00756	0,03545
Q86	0,01046	0,3361	0,09462	0,51463	0,0543
Q59	0,05414	0,1013	0,10939	0,51332	0,28754
Q82	0,00117	0,29348	0,01208	0,4851	0,245
Q66	0,05563	0,01684	0,03446	0,38648	0,03822
Q49	0,22457	0,21909	0,09032	0,26367	0,55353
Q63	0,04902	0,2326	0,0327	0,1477	0,54451

Grupo EM

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5
Q57	0,59821	0,04387	0,11254	0,02814	0,05391
Q88	0,5321	0,06946	0,0326	0,07045	0,1486
Q74	0,50449	0,10864	0,03536	0,07166	0,09791
Q84	0,38783	0,02598	0,14547	0,10702	0,00222
Q47	0,0533	0,63597	0,03354	0,12435	0,04885
Q77	0,02165	0,44034	0,40302	0,20514	0,35438
Q82	0,07361	0,43153	0,01727	0,15134	0,0209
Q55	0,14869	0,10196	0,70178	0,08042	0,00413
Q54	0,18231	0,32276	-0,54577	0,05416	0,22203
Q66	0,15684	0,03889	0,00296	0,5766	0,10447
Q49	0,25176	0,0483	0,00012	0,50335	0,33643
Q86	0,00013	0,03911	0,08594	0,49795	0,19652
Q63	0,0085	0,04493	0,14186	0,13536	0,57977
Q59	0,00056	0,38338	0,12668	0,2457	-0,55712

Grupo ES

	Fator 1	Fator 2
Q57	0,57552	0,04933
Q74	0,54731	0,12273
Q55	0,44602	0,19231
Q88	0,44336	0,0873
Q84	0,3077	0,03918
Q59	0,29888	0,12393
Q82	0,2966	0,20258
Q63	-0,36686	0,59955
Q49	0,06075	0,49689
Q54	0,09922	0,39376
Q66	0,30308	0,37929
Q77	0,26299	0,37653
Q47	0,05035	0,30801
Q86	0,21129	0,29515

Concluintes do Ensino Médio

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Q57	0,56569	0,18592	0,02297
Q74	0,49775	0,18329	0,07292
Q88	0,4348	0,11293	0,05601
Q84	0,41172	0,16496	0,03462
Q49	-0,39959	0,37724	0,2951
Q86	0,06852	0,49724	0,12926
Q55	0,1736	0,49096	0,10457
Q66	0,0743	0,41955	0,15871
Q59	0,15273	0,22714	0,03654
Q54	0,13512	0,2368	0,57579
Q47	0,13193	0,07909	0,45449
Q77	0,01031	0,22604	0,39651
Q63	0,17126	0,02037	0,3737
Q82	0,1296	0,18397	0,31228

2017

Grupo EF

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Q99	0,51351	0,06373	0,03659	0,11211
Q103	0,49742	0,00723	0,00234	0,03191
Q93	0,45258	0,04313	0,24611	0,17969
Q108	0,39754	0,07053	0,24056	0,17361
Q130	0,04525	0,53401	0,02887	0,11165
Q127	0,1982	0,53368	0,17904	0,13425
Q125	0,12835	0,3412	0,21297	0,07335
Q111	0,18264	-0,5203	0,03886	0,02129
Q101	0,1331	0,05035	0,65088	0,14979
Q134	0,03886	0,08688	0,57467	0,19868
Q113	0,07188	0,13221	0,02902	0,73479
Q123	0,405	0,18044	0,00324	0,45397
Q124	0,15658	0,25857	0,27663	0,32652

Grupo EM

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Q103	0,52404	0,07431	0,05072	0,03898
Q99	0,50299	0,12852	0,0568	0,09559
Q93	0,50152	0,00379	0,15657	0,03364
Q123	0,44812	0,28124	0,04149	0,17515
Q130	0,11159	0,55513	0,11713	0,07359
Q127	0,17236	0,47011	0,12489	0,02969
Q111	0,15573	-0,58838	0,08793	0,04467
Q101	0,10438	0,08322	0,64074	0,07217
Q134	0,02954	0,02357	0,6189	0,04745
Q125	0,17029	0,30379	0,32358	0,09142
Q113	0,20083	0,07522	0,01787	0,7336
Q124	0,15771	0,22776	0,20753	0,36892
Q108	0,24836	0,05352	0,1596	-0,53121

Grupo ES

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Q93	0,55021	0,06346	0,11075
Q99	0,53114	0,20844	0,09527
Q103	0,52951	0,14926	0,04789
Q123	0,46043	0,34146	0,15711
Q108	0,33392	0,17724	0,14435
Q111	0,13974	0,64354	0,10355
Q113	0,07422	-0,2218	0,02709
Q127	0,1934	-0,37167	0,02045
Q130	0,2559	-46372	0,33179
Q101	0,18308	0,32666	0,53339
Q134	0,05166	0,0935	0,53088
Q125	0,05613	0,15035	0,46645
Q124	0,1148	0,24005	0,4652

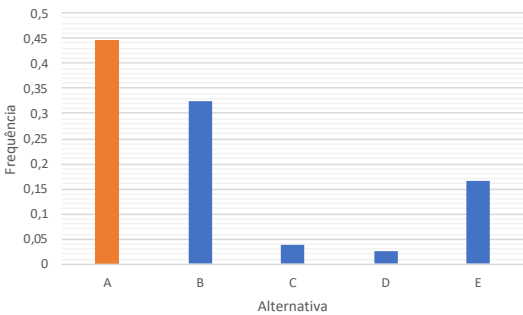
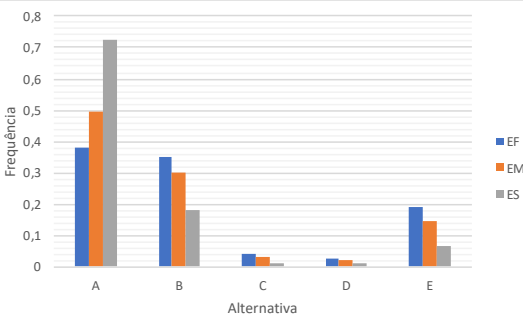
Concluintes do Ensino Médio

Q103	0,52511	0,10195	0,02369	0,02475
Q93	0,51087	0,00709	0,10023	0,04502
Q99	0,50016	0,11015	0,02586	0,0576
Q123	0,45663	0,28201	0,05199	0,1779
Q130	0,13769	0,524	0,19222	0,11758
Q127	0,17241	0,47654	0,10218	0,05638
Q111	0,16137	-0,61902	0,16593	0,02773
Q134	0,03538	0,03149	0,6499	0,04263
Q101	0,07185	0,07791	0,56883	0,0732
Q125¹⁷	0,19716	0,30702	0,33709	0,05305
Q113	0,17839	0,09548	0,0033	0,76494
Q124	0,13369	0,22329	0,20083	0,419
Q108	0,29065	0,05885	0,2421	-0,44915

¹⁷ O item Q125-2017 não apresenta carga fatorial relevante para um único fator neste grupo.

APÊNDICE E – Análise dos itens 2012 a 2017

2012

Q47 – 2012																																					
QUESTÃO 47 Um dos problemas ambientais vivenciados pela agricultura hoje em dia é a compactação do solo, devida ao intenso tráfego de máquinas cada vez mais pesadas, reduzindo a produtividade das culturas. Uma das formas de prevenir o problema de compactação do solo é substituir os pneus dos tratores por pneus mais A largos, reduzindo a pressão sobre o solo. B estreitos, reduzindo a pressão sobre o solo. C largos, aumentando a pressão sobre o solo. D estreitos, aumentando a pressão sobre o solo. E altos, reduzindo a pressão sobre o solo.	<table><caption>Conclucentes do Ensino Médio</caption><thead><tr><th>Alternativa</th><th>Frequência</th></tr></thead><tbody><tr><td>A</td><td>0,45</td></tr><tr><td>B</td><td>0,32</td></tr><tr><td>C</td><td>0,05</td></tr><tr><td>D</td><td>0,03</td></tr><tr><td>E</td><td>0,16</td></tr></tbody></table> <table><caption>Grupos EF, EM e ES</caption><thead><tr><th>Alternativa</th><th>EF</th><th>EM</th><th>ES</th></tr></thead><tbody><tr><td>A</td><td>0,38</td><td>0,50</td><td>0,72</td></tr><tr><td>B</td><td>0,35</td><td>0,30</td><td>0,18</td></tr><tr><td>C</td><td>0,05</td><td>0,03</td><td>0,02</td></tr><tr><td>D</td><td>0,03</td><td>0,02</td><td>0,01</td></tr><tr><td>E</td><td>0,19</td><td>0,15</td><td>0,08</td></tr></tbody></table>	Alternativa	Frequência	A	0,45	B	0,32	C	0,05	D	0,03	E	0,16	Alternativa	EF	EM	ES	A	0,38	0,50	0,72	B	0,35	0,30	0,18	C	0,05	0,03	0,02	D	0,03	0,02	0,01	E	0,19	0,15	0,08
Alternativa	Frequência																																				
A	0,45																																				
B	0,32																																				
C	0,05																																				
D	0,03																																				
E	0,16																																				
Alternativa	EF	EM	ES																																		
A	0,38	0,50	0,72																																		
B	0,35	0,30	0,18																																		
C	0,05	0,03	0,02																																		
D	0,03	0,02	0,01																																		
E	0,19	0,15	0,08																																		
Resolução: Dado o peso da máquina constante, uma forma de analisar a compactação do solo é observar como esta força aplicada sobre o solo está distribuída. A grandeza física que representa esta distribuição é a pressão. A pressão (p) é calculada pela razão entre a força aplicada (F) sobre uma superfície e a área (A) de contato entre as superfícies: $p = \frac{F}{A}$ Neste sentido, a compactação do solo é causada pela pressão exercida pelas máquinas, que se dá através dos pneus e, portanto, uma forma de diminuir a compactação do solo seria diminuindo a pressão exercida pelos pneus. Como a força F é dada, a única forma de diminuir a pressão é aumentando a área de contato dos pneus e, portanto, substituindo os pneus por pneus mais largos.																																					

Análise dos distratores:

Alternativa B: assinalada principalmente pelos grupos EF e EM, é o principal distrator. Nesta alternativa é possível identificar concepções alternativas e busca por grandezas diretamente proporcional, ou seja, reduzir a área deve reduzir a pressão.

Outro raciocínio possível para esta alternativa é o candidato relacionar que o pneu mais estreito poderia compactar uma área menor do solo. Neste caso, solucionaria o problema de compactar uma área menor, porém esta área ficaria mais compactada.

Kleinke (2017) sugere que “Pneus mais largos são considerados mais pesados que pneus mais estreitos, que seriam mais leves. A alternativa (...) está associada à uma concepção onde a pressão é confundida com área de contato: um pneu mais fino apresentaria menor área de contato, logo menor pressão. Outra possibilidade seria igualar a pressão à força, onde o pneu mais estreito, logo mais leve, realizaria menor força sobre o chão, logo a pressão também seria menor” (p. 11)

Alternativa E: Apesar de pouco assinalada, é escolha de, aproximadamente, 20% dos candidatos do grupo EF. É uma das três alternativas que sugerem que a redução da pressão reduz a compactação do solo. Uma das possibilidades é o candidato acreditar que pneus mais altos afastam o trator do solo e isso possa reduzir a pressão. Outra possibilidade é o candidato que tem a fórmula $p = \frac{F}{A}$ memorizada associar o “A” a altura, o que mostraria que o candidato lembrou da relação matemática, mas não compreende o significado físico associado.

Comentário:

Neste item a escolaridade dos pais parece influenciar no desempenho do candidato, apesar de ter um IFI alto comparado com os demais itens da prova. Quando olhamos para as frequências dos alunos do grupo EF, podemos ver que eles assinalam quase na mesma frequência a alternativa A e o distrator B. Kleinke (2017) classifica este item como “exercício de fixação”, já que, segundo o autor o exercício apresenta características de exercícios de fixação de final de capítulo de livros didáticos e, por esta característica, o autor aponta ainda que esta categoria é caracterizada por apresenta alto IDI, ou seja, apresenta grande diferença entre os candidatos com alto desempenho na prova e baixo desempenho na prova.

Em todos os grupos as respostas se concentram nas alternativas A (correta), B e E, sendo visível que as alternativas C e D não são assinaladas por quase nenhum candidato em nenhum dos grupos. As duas alternativas sugerem que o aumento da pressão diminuiria a compactação do solo. A baixa frequência nestas alternativas sugere que os candidatos compreendem a ideia da necessidade da redução da pressão para diminuir a compactação, porém apresentam dificuldade na definição de pressão.

Em outras palavras, isso mostra que o senso comum e o conceito científico estão alinhados na relação inversa entre “aumento de pressão” e “compactação do solo”, já que estas são as duas únicas alternativas que aparece esta relação.

Apesar de ser contextualizada, este contexto não próximo do cotidiano da maioria dos candidatos do ENEM.

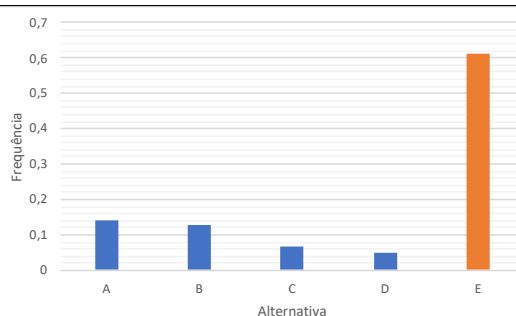
Q50 – 2012

QUESTÃO 50

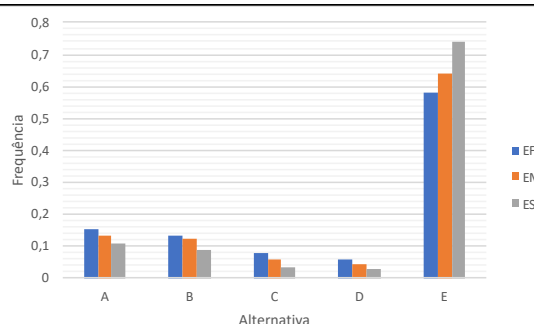
Os carrinhos de brinquedo podem ser de vários tipos. Dentre eles, há os movidos a corda, em que uma mola em seu interior é comprimida quando a criança puxa o carrinho para trás. Ao ser solto, o carrinho entra em movimento enquanto a mola volta à sua forma inicial.

O processo de conversão de energia que ocorre no carrinho descrito também é verificado em

- ☐ A um dínamo.
- ☐ B um freio de automóvel.
- ☐ C um motor a combustão.
- ☐ D uma usina hidroelétrica.
- ☒ E uma atiradeira (estilingue).



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base da questão descreve um carrinho que “comprime uma mola” ao ser puxado para trás. A compressão de mola esta associada ao armazenamento

de energia potencial elástica que, ao ser solta, é convertida em energia cinética. Nas alternativas o dínamo (A) converte energia cinética em elétrica (e vice e versa), o freio (B) converte energia cinética em calor, o motor a combustão (C) converte energia química em cinética, a usina hidroelétrica (D) converte energia potencial gravitacional em cinética e posteriormente em elétrica e, por fim, o estilingue (E) que converte energia potencial elástica em cinética.

Dentre as opções o estilingue também usa o mesmo processo de transformação de energia do carrinho.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Apesar de ter sido assinalada por menos de 20% em todos os grupos analisados, este é a alternativa mais assinalada depois da alternativa correta. Isso pode estar associado ao fato de dínamo estar associado a motores elétricos e, caso o candidato não tenha entendido o funcionamento do carrinho ele pode acreditar que ele é impulsionado por motor elétrico.

Alternativa B: Apresenta padrão de resposta semelhante a alternativa A. Por exclusão, o candidato não deve associar hidroelétricas e motores a combustão a carrinhos de brinquedo, o que pode ter atraído alguns candidatos indecisos. Kleinke (2017) aponta que “O texto das alternativas A e B remete ao universo dos automóveis, o que pode ter induzido algumas respostas” (p. 10).

Comentário:

O item é qualitativo e aborda o conceito da conservação e transformação de energia. Segundo Nascimento (2018, p. 15) o item “exige um razoável domínio sobre conversão entre diferentes formas de energia, solicitando que os estudantes fizessem relações entre diferentes fenômenos envolvendo a mesma forma de energia”. Diferente do item Q47 – 2012, este item apresenta maior semelhança de desempenho nos diferentes grupos socioeconômicos. Além disso, a contextualização é mais próxima dos candidatos, já que remete a dois brinquedos infantis.

Percebe-se que o desempenho do grupo ES é semelhante ao item Q47 – 2012 (1% a mais em relação ao total de alunos do grupo ES), enquanto dos outros dois grupos o desempenho neste item aumenta consideravelmente (aproximadamente 20% a mais em relação ao total de alunos do grupo EF e

14% a mais em relação ao total de alunos do grupo EM).

Além disso, Kleinke (2017) classifica este item como “exercício de fixação”, já que, segundo o autor, o exercício apresenta características de exercícios de fixação de final de capítulo de livros didáticos.

Kleinke (2017) e Nascimento (2018) apontam que este item é um dos poucos itens do ENEM deste ano com potencial para compor uma avaliação mais socialmente justa.

Entendemos que o alto IFI deste item pode estar associado ao fato de ser trabalhado nos exercícios de fixação e ter um contexto mais próximo do cotidiano dos estudantes. Além disso, neste caso, as ideias do senso comum coincidem com o conceito científico não havendo concepção alternativa entre as alternativas.

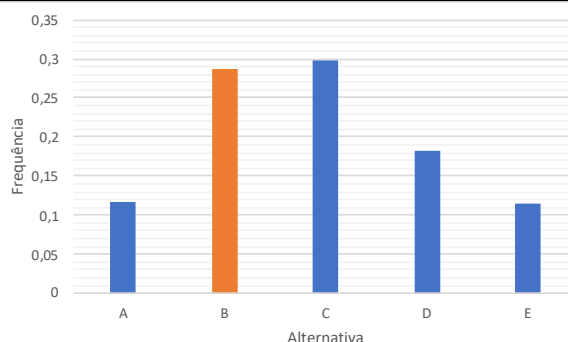
Q54 – 2012

QUESTÃO 54

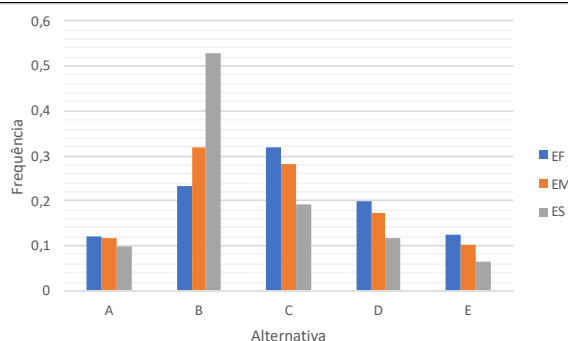
Em um dia de chuva muito forte, constatou-se uma goteira sobre o centro de uma piscina coberta, formando um padrão de ondas circulares. Nessa situação, observou-se que caíam duas gotas a cada segundo. A distância entre duas cristas consecutivas era de 25 cm e cada uma delas se aproximava da borda da piscina com velocidade de 1,0 m/s. Após algum tempo a chuva diminuiu e a goteira passou a cair uma vez por segundo.

Com a diminuição da chuva, a distância entre as cristas e a velocidade de propagação da onda se tornaram, respectivamente,

- A maior que 25 cm e maior que 1,0 m/s.
- B maior que 25 cm e igual a 1,0 m/s.**
- C menor que 25 cm e menor que 1,0 m/s.
- D menor que 25 cm e igual a 1,0 m/s.
- E igual a 25 cm e igual a 1,0 m/s.



Conclucentes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Independentemente da frequência com que as gotas de chuva caem na água,

a velocidade de propagação da onda na água da piscina só depende do meio de propagação (água) e da natureza da própria onda. Como o meio de propagação da onda é a água nos dois casos, a velocidade será sempre igual a 1 m/s . Já a frequência diminui com a redução da chuva. O texto-base diz que no início caíam duas gotas por segundo e com a redução da chuva passou a cair uma gota por segundo.

Define-se como comprimento de onda a distância entre duas cristas consecutivas. De acordo com a equação fundamental:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f}$$

Como o comprimento de onda é inversamente proporcional a frequência, com a diminuição da frequência, o comprimento de onda aumenta, ou seja, a distância entre as cristas torna-se maior que 25 cm .

Análise dos distratores:

Alternativa C: Distrator forte principalmente nos grupos EF e EM, chegando a ser a alternativa mais escolhida no grupo EF. Um possível motivo é que esta é a única alternativa que aparece a diminuição da velocidade da propagação da onda com a diminuição da frequência do gotejamento. Isso pode estar associado ao raciocínio errado que relaciona o fato de que se a chuva diminuir e a frequência de gotejamento diminuir, com a diminuição da velocidade de propagação da onda. Este é erro causado por confusão de termos. Os alunos entendem frequência e velocidade como sinônimos.

Kleinke (2017) sugere que “Provavelmente a opção pela alternativa C está associado à um raciocínio simples e direto: ‘diminuem as gotas logo todas as demais variáveis diminuem’. Nessa alternativa pode-se intuir um raciocínio com dependência unicamente linear entre as variáveis, uma associação direta: no lugar de “gotas”, poderia ser qualquer parâmetro físico.”

Alternativa D: O raciocínio empregado pode ser semelhante ao dos alunos que assinalaram alternativa C. A diminuição da quantidade de gotas faz com que o comprimento de onda também diminua (grandezas diretamente proporcionais). A diferença para escolher esta alternativa é que ou o aluno lembrou que a velocidade de propagação de uma onda não depende da frequência do gerador ou então ele percebeu que o texto-base dizia que a velocidade de propagação

era de 1m/s.

Alternativa E: Não consideramos como um distrator, pois a frequência é baixa e atrai principalmente o grupo EF. Kleinke (2017) comenta que “Já para a alternativa E não ocorre nenhuma mudança ao modificar a frequência das gotas. Indica conhecimento sobre ondas, ao sugerir que o comprimento de onda e a velocidade da crista se mantêm constante, pois ambas são geradas a partir de uma única gota, porém é mais provável que essa alternativa tenha sido atribuída de forma aleatória, por acaso.” (p. 12).

Comentário:

Existe um erro conceitual nesta questão. Como a distância entre duas cristas da onda é $\lambda = 25\text{cm}$ e a frequência com que a onda é gerada é de 2 ondas/segundo, ou seja, $f = 2\text{Hz}$, temos que a velocidade de propagação é $v = \lambda \cdot f = 0,25 \cdot 2 = 0,5\text{m/s}$.

Já o texto-base fornece a velocidade como sendo de 1 m/s.

Como não existem alternativas compatíveis com este erro conceitual, entendemos que não tenha interferido na resposta dos alunos.

Kleinke (2017) pontua que “frequência de propagação da onda é de 4 Hz, enquanto a frequência de gotejamento é de 2 Hz, logo, elas não estão em ressonância, além de que a região onde a gota caiu está oscilando, com a mesma frequência de 4 Hz. Dependendo de como o leitor interprete o texto-base e como seja escolhido o máximo da onda – com as amplitudes associadas à ressonância ou simplesmente máximos consecutivos – temos duas soluções distintas!” (p. 13).

Destacamos ainda que o item apresenta em seu anunciado duas perguntas: o comprimento de onda e a velocidade da onda após as modificações. Quando isso acontece, a análise do item é dificultada, pois é mais difícil compreender se o erro do aluno está associado ao não entendimento total ou parcial do conteúdo. Além disso, algumas alternativas apresentam a resposta parcial correta, mas não atribui nota parcial ao aluno.

Apesar disso, o item não foi anulado e foi considerada como resposta certa a alternativa mais assinalada pelos candidatos dos grupos pelos grupos de maior Capital Cultural.

Este item, apesar de ser contextualizado no cotidiano do aluno mostra a dificuldade de se aplicar conceitos físicos, ainda mais com a possibilidade de estimativas numéricas.

Kleinke (2017) classifica este item como “Problema de lápis e papel”, que segundo o autor, requerem uma solução mais apurada, necessitando do domínio de fundamentos de física e processos de leitura e interpretação de textos e imagens. Segundo o autor, neste tipo de item as concepções alternativas costumam atrair os alunos de classes mais baixas, o que pode sugerir que “as concepções prévias dos candidatos não foram resinificadas na passagem pela escola” (KLEINKE, 2017, p. 11).

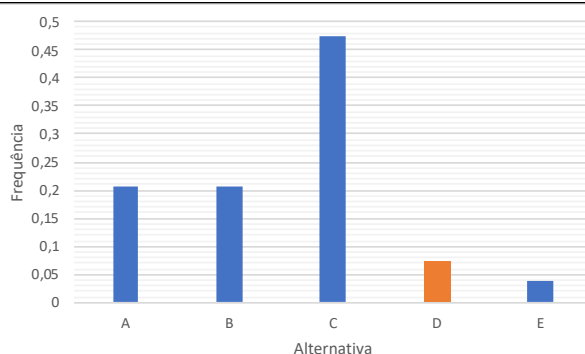
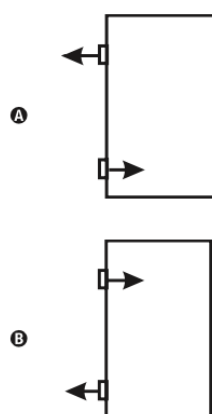
Darroz e colaboradores (2015) classificam este item como “questão de lógica”, que são aquelas que são apresentados conhecimentos físicos por meio do raciocínio lógico dos estudantes.

Q55 – 2012

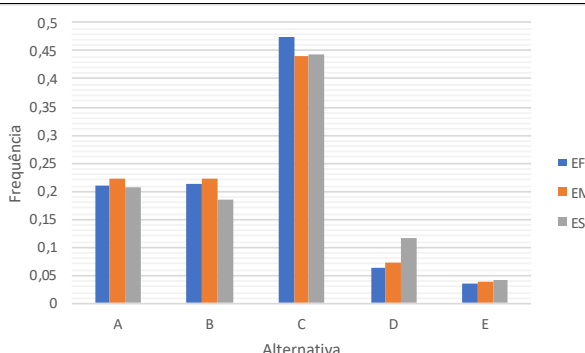
QUESTÃO 55

O mecanismo que permite articular uma porta (de um móvel ou de acesso) é a dobradiça. Normalmente, são necessárias duas ou mais dobradiças para que a porta seja fixada no móvel ou no portal, permanecendo em equilíbrio e podendo ser articulada com facilidade.

No plano, o diagrama vetorial das forças que as dobradiças exercem na porta está representado em



Concluintes do Ensino Médio

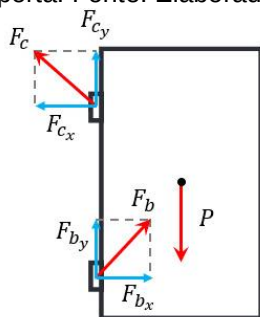


Grupos EF, EM e ES



Resolução:

Figura 45:
Decomposição das
forças na dobradiça da
porta. Fonte: Elaborado



Para que a porta esteja em repouso, é necessário que a força resultante sobre ela seja zero. A porta é um corpo extenso e, portanto, o torque total também deve ser zero. Portanto, as forças horizontais devem se anular, bem como as verticais. Na vertical, as dobradiças de cima ter e de baixo (b) devem anular a força peso da porta, que é aplicada no centro de massa da mesma. Na horizontal, a força aplicada por uma dobradiça deve ser anulada pela outra, impedindo o movimento de rotação da porta.

A figura mostra as componentes horizontal e vertical das forças exercidas por cada dobradiça.

Análise dos distratores:

Alternativa C: Atraiu todos os grupos, já que é a única alternativa onde aparecem apenas forças contrárias ao peso da porta. Nesta alternativa os candidatos parecem ter considerado a porta como um ponto material e, para a força resultante ser zero, é necessário que as dobradiças façam uma força juntas de mesma intensidade e direção do que o peso, porém no sentido oposto. Segundo Kleinke (2017) é notável a atratividade demonstrada por esta

alternativa com mais da metade das respostas. “A porta presa às dobradiças é vista de forma similar à uma ‘porta pontual’, como uma partícula pontual sustentada por um fio.” (KLEINKE, 2017, p. 14).

Alternativa A: Neste caso, o candidato pode ter “ignorado” a força peso exercida pela porta e, novamente considerar a porta um ponto material. Neste sentido a força feita em uma dobradiça deve ser anulada pela força feita na outra dobradiça, de forma que a força resultante total seja zero e a porta se mantenha em equilíbrio.

Alternativa B: Assim como no caso dos candidatos que assinalaram a alternativa A, o candidato pode ter “ignorado” a força peso exercida pela porta e, novamente considerar a porta um ponto material. Neste sentido a força feita em uma dobradiça deve ser anulada pela força feita na outra dobradiça, porém, de forma inversa da alternativa A, de forma que a força resultante total seja zero e a porta se mantenha em equilíbrio.

As alternativas A e B foram assinaladas com mesmo padrão em todos os grupos analisados, o que sugere que o raciocínio dos alunos para estas alternativas é muito semelhante e eles podem ter “chutado” uma das duas aleatoriamente.

Kleinke (2017) analisa como possibilidade “Uma provável concepção não científica associada à essas forças, e presente no cotidiano é associar ‘força (muscular) para fixar o parafuso na porta/na parede’, ‘força (resistência) que o parafuso suporta ao ser puxado’ com a ‘força (no sentido físico) para sustentar a porta’” (p. 14).

Comentário:

Apesar de se tratar de uma contextualização cotidiana para todos os candidatos, não cobra do aluno um raciocínio comum. Não é habitual pensar na rotação da porta na vertical, o que faz com que talvez poucos tenham pensado nisso antes. Kleinke (2017, p. 14) ressalta que “Esse item sugere que os temas cotidianos, os quais aparentemente são de conhecimento de todos os candidatos, costumam apresentar um elevado grau de dificuldade, pois a transposição dos conceitos físicos de modelos para o mundo real é uma tarefa difícil.”. O autor destaca também que este item é pouco adequado para avaliação uma vez que apresenta IDI menor do que 0,25. Segundo o autor, valores baixos de IDI

sugerem itens muito difíceis (ou muito fáceis) para todos os grupos, ou que apresentam problema de elaboração, já que nele, o desempenho dos alunos que apresentam maior rendimento na prova é semelhante aos alunos que apresentam menor rendimento.

Marcom (2015, p. 135) completa que “Esse item demonstra a grande dificuldade que os alunos têm em analisar problemas de forma vetorial, já que identificamos uma baixíssima taxa de acerto. Outro ponto importante é que os alunos apresentam sérias dificuldades em transpor o conhecimento aprendido na escola para situações problemas presentes no cotidiano. Mesmo quando o problema está contextualizado, os alunos tendem a transportá-lo para o mundo ideal ignorando fatores reais ou interpretando-os de forma equivocada.”.

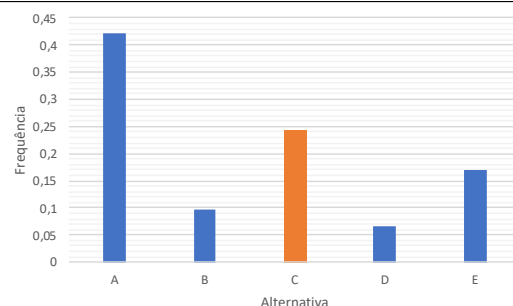
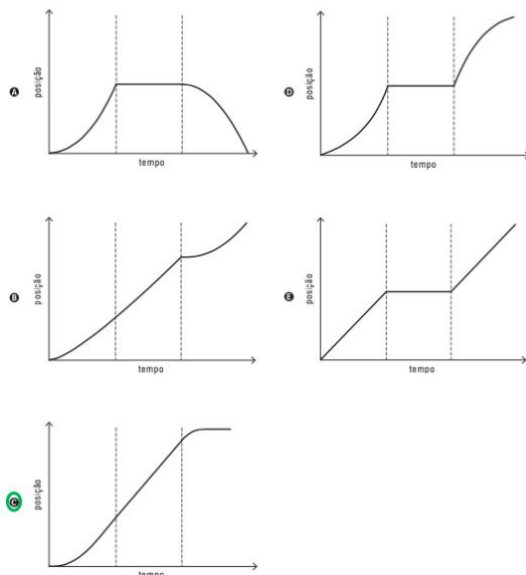
Neste item, não basta “lembrar” e “entender” os conceitos de física, mas é necessário aplicá-los em uma situação diferente das que aparecem nos exercícios presentes nos livros didáticos do Ensino Médio. Porém, não é necessária a pura aplicação de um modelo, mas a consciência de sua existência. Portanto, trata-se de um item classificado na TBR como de conhecimento conceitual e de processo cognitivo “aplicar” (SILVA; MARTINS, 2014).

Q60 – 2012

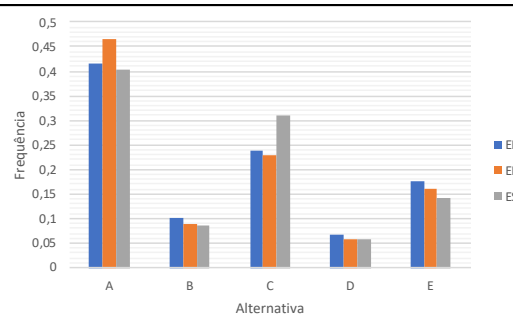
QUESTÃO 60

Para melhorar a mobilidade urbana na rede metroviária é necessário minimizar o tempo entre estações. Para isso a administração do metrô de uma grande cidade adotou o seguinte procedimento entre duas estações: a locomotiva parte do repouso com aceleração constante por um tempo do tempo de percurso, mantém a velocidade constante por outro tempo e reduz sua velocidade com desaceleração constante no trecho final, até parar.

Qual é o gráfico de posição (eixo vertical) em função do tempo (eixo horizontal) que representa o movimento desse trem?



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Para resolver esta questão devemos dividir o problema em 3 partes: aceleração do trem (movimento acelerado), manutenção da velocidade entre as estações (movimento uniforme) e frenagem para parar na próxima estação (movimento desacelerado), conforme descrição abaixo:

1º Trecho: movimento acelerado ($a > 0$) o gráfico da posição em função do tempo é uma parábola de concavidade para cima.

2º Trecho: movimento uniforme ($a = 0$) o gráfico da posição em função do tempo é uma reta crescente.

3º Trecho: movimento desacelerado ($a < 0$) o gráfico da posição em função do tempo é uma parábola de concavidade para baixo.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Alternativa mais escolhida dentre todas as alternativas e por todos os grupos. O gráfico da alternativa segue exatamente a descrição da resolução, com a diferença que no segundo trecho a posição fica constante e no último trecho a posição diminui. O aluno que lembrar que o gráfico de posição por tempo do movimento variado é uma parábola tende a escolher este item. Por ser uma

mistura entre os gráficos de velocidade em função do tempo e posição em função do tempo, o aluno pode ter confundido com o gráfico de velocidade em função do tempo por causa da descrição do texto-base que fala em: aumentar a velocidade no 1º trecho (curva ascendente), manter a velocidade (reta) e reduzir a velocidade até zero (curva descendente).

Alternativa E: O gráfico da alternativa apresenta uma mistura entre gráfico da velocidade em função do tempo e deslocamento em função do tempo. Ao mesmo tempo que a posição só aumenta, ela aumenta de forma constante (velocidade constante) nos trechos em que a aceleração é diferente de zero. Esta alternativa atrai mais os candidatos do grupo EF.

Comentário:

Metrô não é uma realidade na maior parte do Brasil, portanto não podemos considerar este item como sendo contextualizado no dia a dia dos alunos (pelo menos grande parte deles), apesar de ser realidade para moradores de cidades como São Paulo ou Rio de Janeiro, onde se concentra grande parte dos candidatos do exame.

Além disso, este item exige interpretação de texto e transposição de informação escrita para forma gráfica, o que envolveria um passo anterior de lembrar a função que descreve cada pedaço do movimento. neste sentido, especialistas levam grande vantagem na execução deste tipo de itens em relação aos aprendizes. Identificamos que neste caso que todos os grupos são atraídos pelo mesmo distrator.

Assim como em outros itens (como o Q54-2012), o item apresenta mais de uma pergunta no enunciado (de forma indireta), o que faz com que as alternativas erradas apresentem parte do raciocínio correto e parte do raciocínio incorreto, possibilitando observar que o aluno compreende parte do conceito, porém não domina por completo, mas ao mesmo tempo ficando mais difícil analisar o que o aluno realmente compreende ou não.

Marcom (2014, p. 140) associa a escolha a um erro comum dos alunos: “(...) quando os alunos observam um gráfico, eles buscam no mesmo uma duplicação do movimento do objeto. Sendo assim, esses alunos não analisam o gráfico a partir dos eixos, mas sim a partir da própria forma do gráfico (...) as curvas são

vistas pelos alunos como fotografias do movimento do objeto e não como representações matemáticas.”. O autor completa: “Além dessa característica de interpretação “fotográfica” de gráficos, percebe-se que os alunos utilizam de seus conhecimentos do cotidiano para responder esse problema, principalmente do conhecimento adquirido a partir da sensação que têm quando andam de trem ou metrô. Como por exemplo, um passageiro em pé segurando no apoio interno do vagão, quando o trem começa a se deslocar o passageiro sente o efeito da inércia tendo que reagir para se manter na mesma posição, quando o trem passa a ter uma velocidade constante a sensação associada ao efeito da inércia desaparece e ao frear o trem, temos novamente o efeito da inércia com a consequente reação fisiológica para se manter na mesma posição.” (p. 140).

Por fim, Kleinke (2017) aponta um erro na formulação do item. Segundo ele “A alternativa supostamente correta (E) apresenta o trecho de desaceleração do gráfico incompatível com o trecho da aceleração, não existindo resposta correta.” (p. 8)

Q61 – 2012

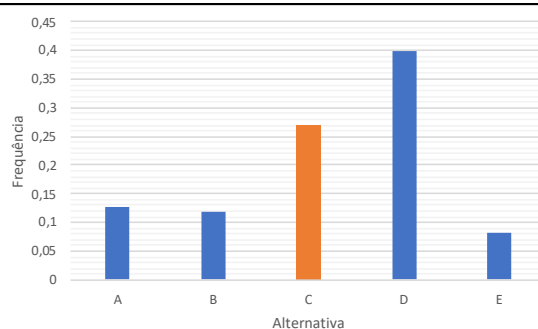
QUESTÃO 61

A eficiência das lâmpadas pode ser comparada utilizando a razão, considerada linear, entre a quantidade de luz produzida e o consumo. A quantidade de luz é medida pelo fluxo luminoso, cuja unidade é o lúmen (lm). O consumo está relacionado à potência elétrica da lâmpada que é medida em watt (W). Por exemplo, uma lâmpada incandescente de 40 W emite cerca de 600 lm, enquanto uma lâmpada fluorescente de 40 W emite cerca de 3 000 lm.

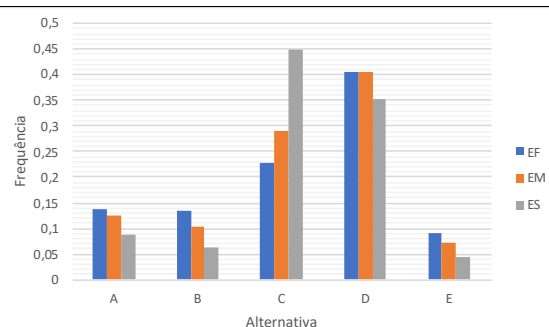
Disponível em: <http://tecnologia.terra.com.br>. Acesso em: 29 fev. 2012 (adaptado).

A eficiência de uma lâmpada incandescente de 40 W é

- ☐ A maior que a de uma lâmpada fluorescente de 8 W, que produz menor quantidade de luz.
- ☐ B maior que a de uma lâmpada fluorescente de 40 W, que produz menor quantidade de luz.
- ☒ C menor que a de uma lâmpada fluorescente de 8 W, que produz a mesma quantidade de luz.
- ☐ D menor que a de uma lâmpada fluorescente de 40 W, pois consome maior quantidade de energia.
- ☐ E igual a de uma lâmpada fluorescente de 40 W, que consome a mesma quantidade de energia.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

De acordo com o enunciado, a eficiência (e) é definida pela razão entre a quantidade de luz (Q) e potência consumida (P), ou seja, $e = \frac{Q}{P}$. Podemos calcular a eficiência das duas lâmpadas do enunciado:

$$\text{Lâmpada Incandescente: } e_i = \frac{Q}{P} = \frac{600}{40} = 15 \frac{\text{lm}}{\text{W}}.$$

$$\text{Lâmpada Fluorescente: } e_f = \frac{Q}{P} = \frac{3000}{40} = 75 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

Aqui já podemos ver que a eficiência da lâmpada fluorescente é 5x maior do que a da lâmpada incandescente (o que responde a primeira parte).

Utilizando a eficiência calculada podemos determinar a quantidade de luz emitida por uma lâmpada fluorescente de 8W.

$$e_f = \frac{Q}{P} = \frac{Q}{8} = 75 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \Rightarrow Q = 600 \text{lm}$$

Desta forma, podemos ver que a quantidade de luz emitida por esta lâmpada de 8W é igual ao emitido pela lâmpada incandescente de 40W, utilizando 1/5 da energia.

Análise dos distratores:

Alternativa D: É de senso comum que lâmpadas fluorescentes são mais eficientes do que lâmpadas incandescentes e também que o conceito de eficiência está associado ao consumo de energia. Neste sentido, sugerimos que o candidato pode pensar que se a lâmpada é mais eficiente (independente da sua potência) ela deve consumir menos energia. Nesta alternativa, a primeira parte do texto está correta e a segunda apresenta uma lâmpada de mesma potência. Neste caso, a eficiência é maior, mas o consumo de energia é o mesmo (e não maior como apresentado no texto), dado que ambas as lâmpadas são de 40W. Trata-se, portanto, de uma sutileza no texto da alternativa.

É perceptível que este distrator é a alternativa mais escolhida pelos grupos EF e EM, mostrando que esta concepção pode ser mais forte dependendo da escolaridade dos pais do candidato.

Este resultado está de acordo com Kleinke (2017): “Os alunos sabem que as lâmpadas incandescentes apresentam menor eficiência; por isso escolheram preferencialmente as alternativas C e D” (p. 12)

Comentário:

É perceptível a influência do capital cultural, representado aqui pela escolaridade dos pais, na resolução deste item. Este item envolve uma série de operações matemáticas e a “intuição” pode levar o aluno a assinalar a alternativa errada. Não é possível responder este item sem determinar a eficiência das lâmpadas para posteriormente calcular a quantidade de luz emitida em cada caso. Esta manipulação é tanto mais difícil quando mais aprendiz for o candidato.

Kleinke (2017) classifica este item como “Problema de lápis e papel”, que segundo ele, requerem uma solução mais apurada, necessitando do domínio de fundamentos de física e processos de leitura e interpretação de textos e imagens. Segundo o autor, neste tipo de item as concepções alternativas costumam atrair os alunos de classes mais baixas, o que pode sugerir que “as concepções prévias dos candidatos não foram resinificadas na passagem pela escola” (p. 11). Além disso, os itens desta categoria apresentam alto IDI, diferenciando candidatos com alto e baixo desempenho.

Silva e Martins (2014) classificam este item na dimensão de conhecimento procedural e no segundo nível da dimensão dos processos cognitivos: Entender. Isto significa que para resolver o item o candidato deve mobilizar os conhecimentos de física utilizando métodos, critérios, algoritmos e técnicas. Nesta dimensão do conhecimento é necessária a abstração, porém dentro de um contexto único, e não interdisciplinar.

Sobre a contextualização utilizando lâmpadas incandescentes que está presente em diversos itens de vestibulares e do ENEM, Kleinke (2017) lembra que “As lâmpadas incandescentes serão retiradas do mercado em breve, e irão fazer falta enquanto exemplos do cotidiano, pois estão presentes em muitos problemas e exercícios apresentados em sala de aula e nos livros didáticos. O fato de a lâmpada operar com um filamento permite descrevê-la como uma resistência elétrica, o que não é exatamente verdade, visto que a resistência das lâmpadas incandescentes varia com a potência.” (p. 12).

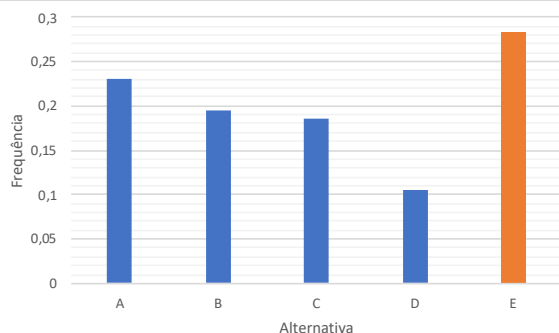
Q64 – 2012

QUESTÃO 64

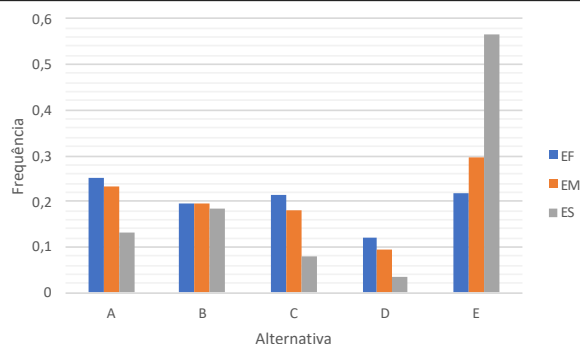
Alguns povos indígenas ainda preservam suas tradições realizando a pesca com lanças, demonstrando uma notável habilidade. Para fisgar um peixe em um lago com águas tranquilas o índio deve mirar abaixo da posição em que enxerga o peixe.

Ele deve proceder dessa forma porque os raios de luz

- ☐ A refletidos pelo peixe não descrevem uma trajetória retilínea no interior da água.
- ☐ B emitidos pelos olhos do índio desviam sua trajetória quando passam do ar para a água.
- ☐ C espalhados pelo peixe são refletidos pela superfície da água.
- ☐ D emitidos pelos olhos do índio são espalhados pela superfície da água.
- ☒ E refletidos pelo peixe desviam sua trajetória quando passam da água para o ar.



Concluintes do Ensino Médio



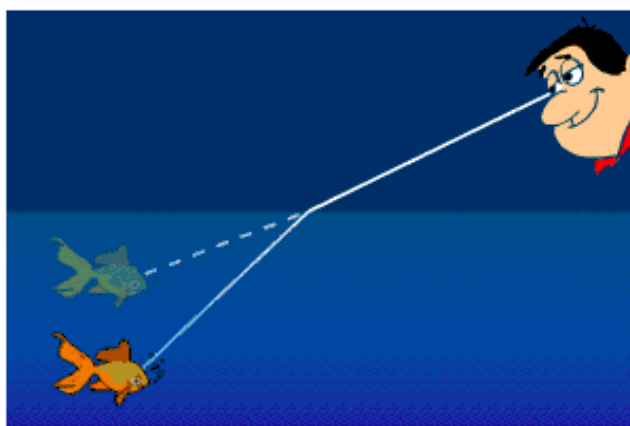
Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Ao mudar o meio no qual uma onda está se propagando, a mesma muda de velocidade e, portanto, de direção de propagação.

A Figura 46 representa na linha contínua um raio refletido pelo peixe, que atinge o olho do observador. Ao refratar-se da água para o ar, ele sofre desvio em sua trajetória (afasta da normal). O observador vê a imagem do peixe acima de sua posição real, conforme a imagem abaixo.

Figura 46: Formação de imagem do peixe por refração



Fonte: https://www.apoioescolar24horas.com.br/salaaula/estudos/fisica/023_refracao/#pag4-tab, acessado em 02/02/2020.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Distrator mais escolhidos pelos grupos de menor capital cultural institucionalizado, esta alternativa pode ter sido escolhida pelo fato de o candidato acreditar que a propagação da luz na água deixa de ser retilínea, já que geralmente quando olha para algo debaixo da água vê esse objeto distorcido. O fato de o peixe não estar sendo visto na posição real estaria associado a essa propagação não retilínea da luz dentro da água.

Barroso, Rubini e Silva (2018) destacam que “O distrator mais escolhido revela uma incompreensão do mecanismo de propagação da luz que envolve a visão, o desconhecimento da refração da luz e indica persistência de concepções não científicas também neste tema.” (p. 32)

Alternativa B: Concepção alternativa “luz emitida pelo olho”. Para aqueles alunos que, assim como o modelo 3 apresentado na Figura 47, acreditam que enxergamos objetos, pois a luz emitida pelos nossos olhos “ilumina” o objeto e não o contrário. Esta concepção alternativa é comum dos estudantes que acreditam que o olho tem uma participação ativa no processo de “enxergar”. O candidato que escolhe esta alternativa percebe, porém que esta luz sofre um desvio ao mudar de meio, ou seja, a ideia de refração está clara.

Alternativa C: Pode estar associado a experiência do candidato de ver o próprio reflexo na superfície da água. Neste sentido, o candidato pode associar a formação de imagem do peixe ao reflexo do mesmo na água, da mesma forma

que o reflexo dele mesmo é formado na água.

Alternativa D: Assim como a alternativa B, trata-se de uma concepção alternativa “luz emitida pelo olho”. Para aqueles alunos que, assim como o modelo 3 apresentado na Figura 47, acreditam que enxergamos objetos, pois a luz emitida pelos nossos olhos “ilumina” o objeto e não o contrário. Esta concepção alternativa é comum dos estudantes que acreditam que o olho tem uma participação ativa no processo de “enxergar”.

Figura 47: Modelos de visão – concepções alternativas em ótica

MODELOS DE VISÃO

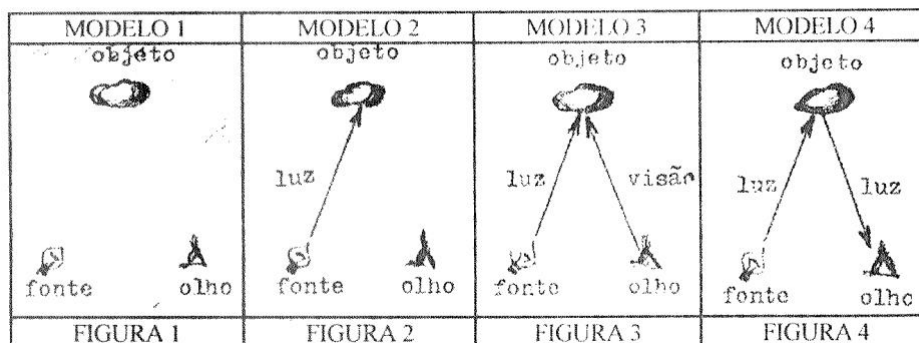
MODELO 1 - Modelo de banho de luz: a fonte luminosa, o objeto e o olho do observador não estão inter-relacionados mas imersos num mesmo “espaço luminoso”. (Figura 1).

MODELO 2 - A necessidade da interrelação entre o olho do observador e o objeto não é reconhecida também mas a luz, ao contrário do que ocorria no modelo 1, já tem uma função específica que é iluminar o objeto (Figura 2).

MODELO 3 - Modelo Pitagórico ou modelo dos raios visuais: neste modelo a luz continua com a função específica de iluminar o objeto mas existe, agora, uma ligação entre o olho do observador e o objeto observado, sendo que, ao olho do observador se dá a responsabilidade de ir “buscar” o objeto (Figura 3).

MODELO 4 - Modelo físico: neste modelo, a luz emitida pela fonte luminosa ilumina o objeto e se reflete ao olho do observador atingindo a sua retina iniciando, aí, o processo da visão. Neste modelo o olho do observador é considerado como um receptor (Figura 4).

FIGURA Nº 1. Modelos de Visão segundo Guesne.



Fonte: Andrade, 1995.

Kleinke (2017) destaca que “Essa é uma concepção não científica clássica,

conhecida como raio visual [que] é a concepção em que o olho tem um papel ativo na visão; existem variações dessa ideia, mas, basicamente, ela se traduz por algo que, saindo dos olhos, proporcionaria a visualização dos objetos” (p. 12).

Comentário:

O item é conceitual, ou seja, não envolve manipulações algébricas, e aborda o fenômeno da refração da luz quando esta muda de meio (água para o ar). Parece existir forte relação entre do capital cultural institucionalizado (escolaridade dos pais do candidato) e o desempenho neste item. Observa-se que para o grupo EF (menor nível socioeconômico), a escolha entre as alternativas é quase que aleatória (aproximadamente 20% em cada uma das alternativas), o que sugere que para este grupo o conteúdo cobrado neste item não foi trabalhado satisfatoriamente e as concepções alternativas presentes impossibilita a resolução para este grupo.

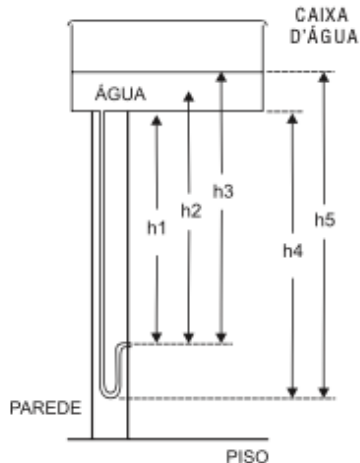
O item é muito parecido com exercício de fixação de final de capítulo e exercício de lápis e papel. Barroso, Rubini e Silva (2018) acreditam que a questão é bem apresentada e que o modelo geométrico de propagação da luz é exaustivamente trabalhado na educação básica. Este item tem em suas alternativas concepções alternativas não científicas que são distratores para os grupos EF e EM o que segundo Kleinke (2017) evidencia que apesar dos esforços dos pesquisadores em ensino de física em identificar e corrigir possíveis concepções alternativas durante o período escolar, muitas delas ainda estão presentes nos alunos, principalmente de baixo capital cultural.

Kleinke (2017) destaca que “poucas pessoas reconhecem os efeitos físicos associados ao comportamento da luz na transição entre distintos meios.” (p. 12) E classifica este item como “Problema de lápis e papel”, que segundo o autor, requerem uma solução mais apurada, necessitando do domínio de fundamentos de física e processos de leitura e interpretação de textos e imagens. Segundo o autor, neste tipo de item as concepções alternativas costumam atrair os alunos de classes mais baixas, o que pode sugerir que “as concepções prévias dos candidatos não foram resinificadas na passagem pela escola” (p. 12). Além disso, os itens desta categoria apresentam alto IDI, diferenciando candidatos com alto e baixo desempenho.

Q67 – 2012

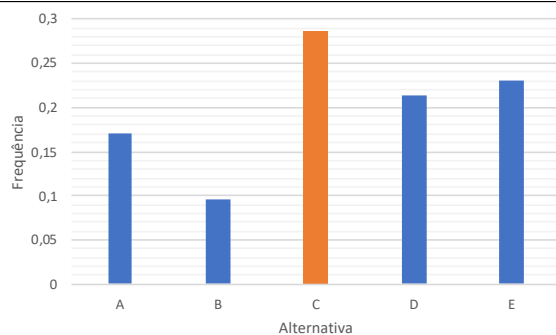
QUESTÃO 67

O manual que acompanha uma ducha higiênica informa que a pressão mínima da água para o seu funcionamento apropriado é de 20 kPa. A figura mostra a instalação hidráulica com a caixa d'água e o cano ao qual deve ser conectada a ducha.

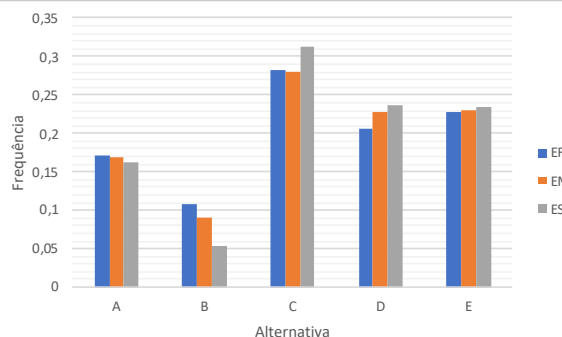


O valor da pressão da água na ducha está associado à altura

- A h1.
- B h2.
- ☒ C h3.
- D h4.
- E h5.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES.

Resolução:

Trata-se de um item que aborda uma situação de instalação hidráulica e o candidato deve comparar diversas possibilidades de altura da coluna de água e identificar qual delas é proporcional a pressão da água na saída do cano.

O exercício quer saber qual das alturas apresentadas na figura (manual de instalação) está relacionada com a pressão hidrostática exercida pela coluna de água na saída do cano. De acordo com o teorema de Stevin, a pressão hidrostática de uma coluna líquida é diretamente proporcional à altura dessa coluna, independente de a coluna estar diretamente acima do ponto, desde que haja comunicação entre os pontos. Neste caso, a coluna de água acima da saída do cano é medida do nível superior do líquido até o ponto de saída do cano, no caso, h3.

Análise dos distratores:

Alternativa D: Nesta alternativa o candidato pode associar a pressão hidrostática apenas a coluna de água do cano e não a coluna total de água. Neste caso, ele

considera a diferença entre o ponto mais alto e mais baixo do cano, ignorando a coluna de água dentro da caixa d'água e o ponto de saída de água (um pouco acima do ponto mais baixo do cano). Segundo Kleinke (2017) “Ao optar pela altura h_4 o que se observa é uma concepção não científica de que somente a ‘coluna de água’ (a qual pode ser associada à água contida no cano) está relacionada à pressão, entre os dois extremos do cano, ou seja, da coluna d’água” (p. 15)

Marcom (2015) reforça que “(...) observamos que a altura por ele representada é a altura do cano que faz a ligação entre a caixa d’água e o chuveiro. Ao analisar esse item com base na ideia de que a pressão depende da coluna d’água, supomos que esses alunos interpretam o cano como sendo essa coluna.” (p. 137)

Alternativa E: Apresenta mesma frequência de escolha da alternativa D. Neste caso o candidato opta pela maior diferença entre os níveis de água, não considerando o ponto de saída da água da tubulação, considerando que a pressão depende do maior desnível possível. Para este caso, Kleinke (2017) aponta que “ (...) para a altura h_5 os candidatos desconsideram que a pressão irá variar com a curva apresentada pelo cano, não considerando como vaso comunicante a “torcida” do cano entre a altura mínima do cano e a saída da ducha.” (p.15) Além disso, destaca que “Nos exercícios de fixação [de final de capítulo de livro didático] a pressão quase sempre está sendo medida entre um ponto de máximo e um ponto de mínimo, sem a curva apresentada nesse item”. Marcom (2015) completa: “Supomos que os alunos assinalam essa alternativa acreditando que a coluna se inicia no nível máximo de água dentro da caixa. Entretanto, os mesmos interpretam que o final da coluna é no ponto mais próximo ao chão e não no local onde a água sai (chuveiro). Isso demonstra que esses candidatos se aproximam do conhecimento científico, entretanto ainda possuem uma defasagem conceitual.” (p. 135).

Comentário:

Este item refere-se a conceitos de vasos comunicantes e teorema de Stevin que deve ser aplicado na leitura de manual técnico de instalação de tubulações. Este tipo de linguagem não é próximo dos alunos e é diferente dos exercícios de fixação presentes nos livros didáticos, em que a coluna de água costuma

aparecer sem “obstáculos” como a curva do cano presente no exercício. Neste sentido, os exercícios de fixação, quando o conceito não é entendido, aplicá-lo em contexto diferente gera respostas de concepções alternativas geradas pelo próprio processo de ensino formal.

Sobre isso, Marcom (2015) comenta que “A análise desse item nos leva a refletir sobre determinadas concepções não científicas que podem estar sendo formadas dentro da escola, como é o caso da definição de coluna d’água, (...) em itens classificados como Representações Pictóricas, observamos o uso de imagens com alguma influência na resposta dos candidatos, contudo os erros são comumente atrelados à dificuldade de conectar as imagens à realidade e especialmente aos conceitos científicos.” (p. 137)

Percebe-se que para todos os grupos a alternativa correta é assinalada por aproximadamente 30% dos candidatos, com pequena vantagem para o grupo ES. Neste caso, a influência do capital cultural parece exercer menos influência, ou seja, trata-se de um exercício com linguagem distante para todos os concluintes do ensino médio, independente de classe social.

Apesar de ser um problema cotidiano, Kleinke (2017) ressalta que “Esse item sugere que os temas cotidianos, os quais aparentemente são de conhecimento de todos os candidatos, costumam apresentar um elevado grau de dificuldade, pois a transposição dos conceitos físicos de modelos para o mundo real é uma tarefa difícil.”

As frequências semelhantes nas diferentes alternativas sugerem que esta transposição do conhecimento para uma situação prática, do dia a dia dos aprendizes, onde a situação problema remeta a manuais técnicos não é imediata.

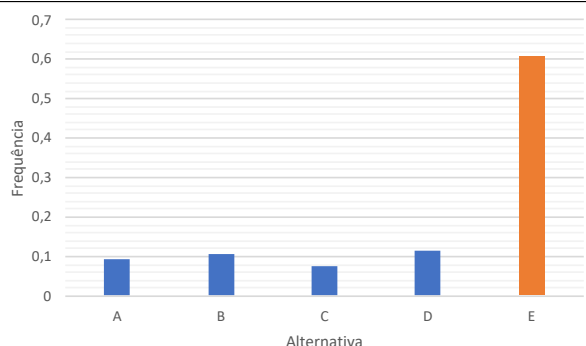
Q71 – 2012

QUESTÃO 71

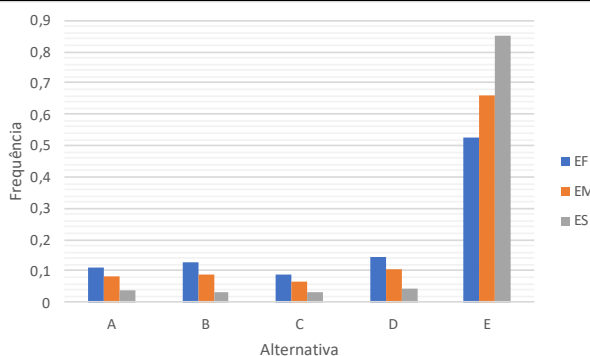
Suponha que você seja um consultor e foi contratado para assessorar a implantação de uma matriz energética em um pequeno país com as seguintes características: região plana, chuvosa e com ventos constantes, dispondo de poucos recursos hídricos e sem reservatórios de combustíveis fósseis.

De acordo com as características desse país, a matriz energética de menor impacto e risco ambientais é a baseada na energia

- ☐ A dos biocombustíveis, pois tem menor impacto ambiental e maior disponibilidade.
- ☐ B solar, pelo seu baixo custo e pelas características do país favoráveis à sua implantação.
- ☐ C nuclear, por ter menor risco ambiental e ser adequada a locais com menor extensão territorial.
- ☐ D hidráulica, devido ao relevo, à extensão territorial do país e aos recursos naturais disponíveis.
- ☒ E eólica, pelas características do país e por não gerar gases do efeito estufa nem resíduos de operação.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base descreve as características de um pequeno país e quer saber qual é a melhor matriz energética, com menor impacto e risco ambiental.

Pelas características do país:

Plano e poucos recursos hídricos: Pouco desnível e pouca disponibilidade de água impossibilita a instalação de hidroelétricas

Chuvoso: pouco Sol é uma condição desfavorável para implementação do uso da energia solar, além desta matriz ser cara.

Pequeno: o fato de o país ser pequeno faz com que o uso de biocombustíveis seja menos viável, pois a matriz depende de produção agrícola, o que exige grandes áreas.

Ventos constantes: é favorável a implementação de matriz eólica, que além de tudo é limpa, não emitindo gases poluentes.

A matriz nuclear, apesar de segura e muito utilizada em países pequenos gera lixo nuclear. Além disso, a usina nuclear é refrigerada por água de mar ou grandes

lagos. A falta de recursos hídricos também inviabiliza este tipo de matriz. Podemos concluir, portanto, que a matriz eólica é a mais adequada neste caso.

Análise dos distratores:

Este item não apresenta distratores fortes. Alguns candidatos do grupo EF apresentam maior dificuldade, mas a resposta está espalhada entre as alternativas erradas com pequena preferência pelas alternativas B (Solar) e D (hidráulica). O senso comum diz que essas matrizes são matrizes limpas por não emitir CO₂ e pode explicar a preferência.

Comentário:

Este item não apresenta distratores, mas mostra a influência da classe social no desempenho geral de uma prova quando conhecimentos gerais são cobrados. Apesar de ser considerado dentro da área de física, trata-se de um exercício de conhecimentos gerais na área de ciências, no qual toda a informação necessária para sua resolução se encontra no enunciado. Para sua resolução o candidato deve conhecer os princípios básicos de funcionamento de cada um dos tipos de usina para responder corretamente. Este tipo de conhecimento é trabalhado não só na disciplina de física, mas muitas vezes nas outras áreas da ciência como a Química ou na disciplina de Geografia que trata de matrizes energéticas dos países.

Trata-se de um item classificado pela TBR como de conhecimento conceitual e processo cognitivo “aplicar”. Nele, o aluno deve reconhecer o conceito para resolver o problema, não bastando apenas “lembrar” e “entender” o funcionamento das usinas, sendo necessário também interpretar o problema dado e “aplicar” os conceitos básicos em um novo contexto (SILVA; MARTINS, 2014).

Villar e colaboradores (2021) destacam que este item e o item Q55-2012 se enquadram dentro do mesmo nível taxonômico pela TBR, porém configuram o item com maior e menor desempenho respectivamente, dentre os itens de física da prova de 2012. Segundo os autores, apesar de ser uma informação relevante a classificação na TBR não explica por si só o desempenho na prova “ (...) o que corrobora com nossa leitura de que não é a categorização do item na TBR o fator mais influente no desempenho dos candidatos no ENEM” (VILLAR *et al.*, 2021, p. 6).

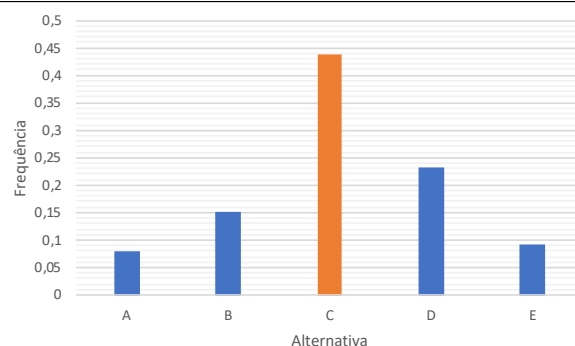
Q72 – 2012

QUESTÃO 72

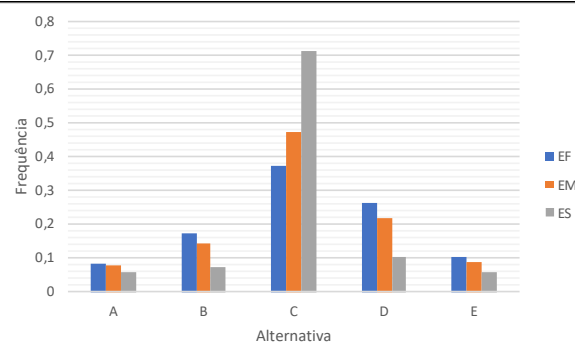
Uma empresa de transportes precisa efetuar a entrega de uma encomenda o mais breve possível. Para tanto, a equipe de logística analisa o trajeto desde a empresa até o local da entrega. Ela verifica que o trajeto apresenta dois trechos de distâncias diferentes e velocidades máximas permitidas diferentes. No primeiro trecho, a velocidade máxima permitida é de 80 km/h e a distância a ser percorrida é de 80 km. No segundo trecho, cujo comprimento vale 60 km, a velocidade máxima permitida é 120 km/h.

Supondo que as condições de trânsito sejam favoráveis para que o veículo da empresa ande continuamente na velocidade máxima permitida, qual será o tempo necessário, em horas, para a realização da entrega?

- A 0,7
- B 1,4
- C 1,5**
- D 2,0
- E 3,0



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM, e ES

Resolução:

Trata-se de um item de cinemática que aborda velocidade média e um problema de logística.

O caminhão percorre o primeiro trecho de 80 km com uma velocidade de 80 km/h e um segundo trecho de 60 km com uma velocidade de 120 km/h. Desta forma, a distância total percorrida pelo caminhão é de 140 km.

O tempo total de viagem é dado pela soma dos tempos que o caminhão levou no primeiro e segundo trechos. Desta forma:

No primeiro trecho:

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta s_1}{v_1} = \frac{80}{80} = 1h$$

No segundo trecho:

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta s_2}{v_2} = \frac{60}{120} = 0,5h$$

O tempo total é dado por

$$\Delta t_{total} = \Delta t_1 + \Delta t_2 = 1,5h$$

Análise dos distratores:

Alternativa D: Segundo Marcom e Kleinke (2016) os candidatos provavelmente solucionaram o problema utilizando algum raciocínio lógico ou ideia intuitiva. Um possível raciocínio estaria associado à divisão de dois números presentes no enunciado (60 km e 120 km/h), com um resultado igual a um número inteiro ($120/60 = 2$), sem considerar as unidades. Os alunos quando não estão aptos a resolver o exercício utilizam essa estratégia de realizar operações matemáticas com os números do enunciado e se chegarem em um número presente entre as alternativas tendem a assinalá-la (SHERIN, 2001).

Segundo Kleinke (2017), “Os exercícios de fixação presentes em livros e apostilas costumam apresentar como resposta números inteiros, logo alguns candidatos – provavelmente – dividiram o maior número presente no enunciado pelo menor, obtendo um valor igual a 2” (p. 10).

Alternativa B: Este distrator é mais fraco do que a alternativa D, mas atrai parte significativa dos estudantes, principalmente do grupo EF. Esta alternativa sugere que a velocidade média do percurso pode ser calculada pela média entre as duas velocidades nos dois trechos do percurso (80 km/h e 120 km/h). Com uma velocidade de 100 km/h e uma distância a ser percorrida de 140 km , o tempo de viagem seria de $1,4\text{ h}$.

Comentário:

O item trata de um exercício de velocidade média trabalhado exaustivamente pelos professores de física na educação básica. Marcom e Kleinke (2018) corroboram com isso e sugerem que o alto índice de acerto desta questão (mesmo sendo abaixo de 50% para os concluintes do Ensino Médio) ocorre devido ao conteúdo cobrado (velocidade média). Este tipo de exercício está presente em todos os livros didáticos, desde os anos finais do ensino fundamental II. Apesar de simples e apresentar um dos maiores IF dentre os itens de física, menos da metade dos concluintes do ensino médio foi capaz de responder corretamente. Este fato é preocupante e evidencia problemas estruturais importantes no ensino básico brasileiro.

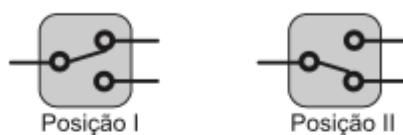
Kleinke (2017) classifica este item como exercício de fixação presente em muitos livros didáticos e destaca, referindo-se aos concluintes do ensino médio que “É

surpreendente que mesmo um tópico simples de velocidade média – o qual é extensivamente ensinado nas escolas – apresenta menos da metade dos candidatos acertando a resposta.” (p. 10). Quando olhamos pra o grupo ES, verifica-se que a taxa de acerto é maior do que 70%, o que reforça as desigualdades sociais e o impacto do capital cultural institucionalizado no desempenho dos candidatos. Marcom (2015) classifica este item como Conversões de Unidades e Estimativas no Cotidiano. Esta categoria, segundo o autor, contém exercícios de menor complexidade cognitiva. Segundo o autor: “Nota-se que os processos mentais utilizados nesse tipo de itens são recorrentes do cotidiano das pessoas, visto que as pessoas têm o costume de estimar, por exemplo, o tempo que levam para chegar a um local ou mesmo converter o “peso” de um objeto em diferentes unidades de medida.” (MARCOM, 2015, p. 109).

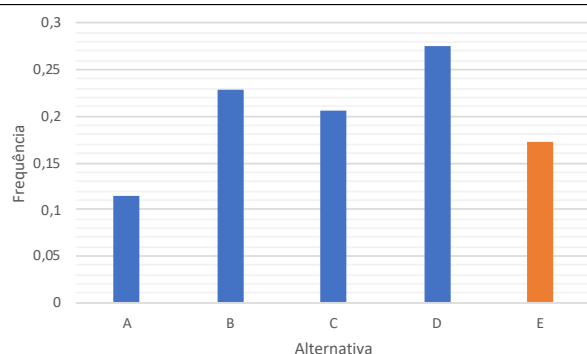
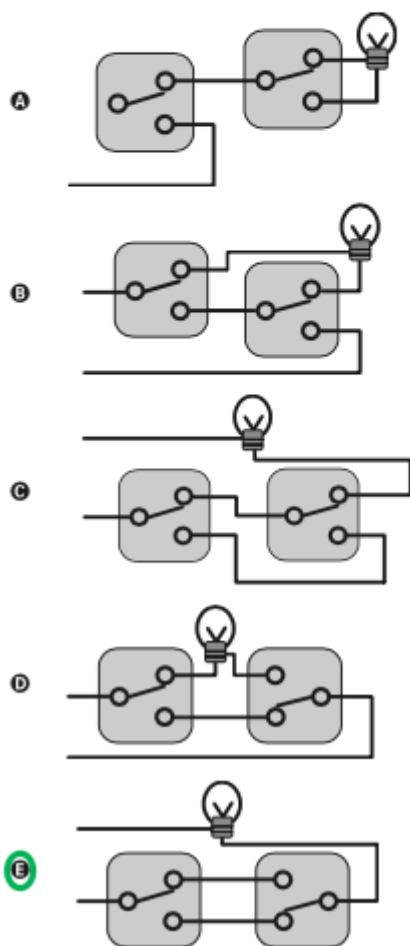
Q73 – 2012

QUESTÃO 73

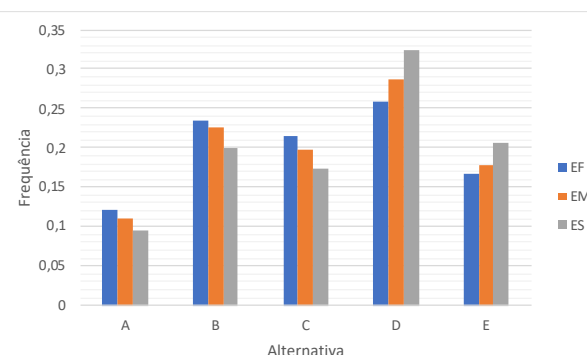
Para ligar ou desligar uma mesma lâmpada a partir de dois interruptores, conectam-se os interruptores para que a mudança de posição de um deles faça ligar ou desligar a lâmpada, não importando qual a posição do outro. Esta ligação é conhecida como interruptores paralelos. Este interruptor é uma chave de duas posições constituída por um polo e dois terminais, conforme mostrado nas figuras de um mesmo interruptor. Na Posição I a chave conecta o polo ao terminal superior, e na Posição II a chave o conecta ao terminal inferior.



O circuito que cumpre a finalidade de funcionamento descrita no texto é:



Concluintes do Ensino Médio



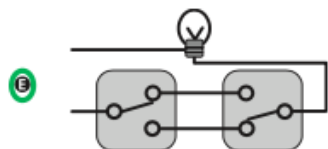
Grupos EF, EM e ES

Resolução:

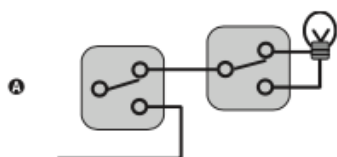
O único circuito que fecha tanto para a posição I como para a posição II é o circuito da alternativa E.

Se a chave da direita está para baixo, conforme a figura, a chave da esquerda deve

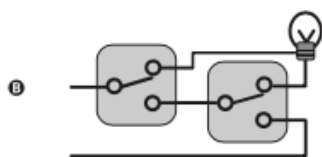
estar na posição II para acender a lâmpada. Se a chave da direita está para cima, a chave da esquerda deve estar na posição I para acender a lâmpada.



Justificando o porquê as outras alternativas estão erradas:

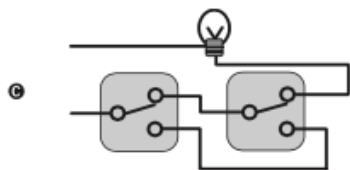


Nesta alternativa, independente da posição da chave da esquerda a lâmpada nunca acende. Tanto na posição I, conforme a figura, quanto na posição II o circuito permanece aberto, para ambas as posições da chave da direita.

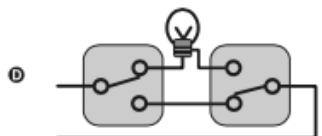


No circuito representado na alternativa B, com a chave da esquerda na posição I (da figura) o circuito não fecha para nenhuma posição da chave da direita.

Quando a chave da esquerda está na posição II, se a chave da direita estiver para cima (conforme a figura) a ligação chega até a lâmpada, mas o circuito não fecha. Se a chave da direita estiver para baixo ocorre um curto-circuito.



No circuito do item C, se a chave da direita está para cima, a chave da esquerda na posição I a lâmpada acende (circuito representado na figura). Se a chave da direita está para baixo, a chave da esquerda na posição I ou posição II gera um circuito aberto e, portanto, a lâmpada não acende.



Por fim, no circuito da alternativa D a lâmpada só acende quando a chave da esquerda está na posição I e a chave da direita está para cima. Com a chave da esquerda esteja na posição II, se a chave da direita estiver para cima caracteriza um circuito aberto e se ela estiver para baixo caracteriza um curto-circuito.

Análise dos distratores:

Alternativa D: Alternativa mais assinalada por todos os grupos, inclusive é a que mais atraiu os candidatos com alto capital cultural (ES). Neste circuito a lâmpada está entre os dois interruptores, dando a sensação da disposição física da instalação na residência, ou seja, a lâmpada geralmente está posicionada entre os dois interruptores que a controlam. Além disso, da forma, que a figura foi apresentada, a chave na posição I liga a lâmpada caso a chave da esquerda esteja posicionada para cima. Isso pode ter induzido alguns alunos que encontraram uma ligação possível e compreenderam o exercício em parte.

Segundo Nakamura (2020) esta escolha está associada a concepção alternativa dos candidatos sobre curto-circuito, ou seja, “Apesar de ser capaz de identificar um circuito completo / fechado, o aluno é incapaz de identificar aqueles em que há curto e/ou determinar que efeito um curto tem em um circuito.” (NAKAMURA, 2020, p. 46)

Alternativa B: Segunda escolha pra os grupos EF e EM, juntamente com a alternativa C. Apesar de não apresentar nenhuma configuração onde a lâmpada acende, a lâmpada está entre os dois interruptores, dando uma ideia de continuidade.

Nakamura (2020) atribui o erro a concepções alternativas que classificou como “curto-circuito”, quando o aluno apesar de ser capaz de identificar um circuito fechado é incapaz de identificar aqueles em que há curto ou determinar os efeitos de um curto-circuito e “modelo unipolar” que ocorre quando o candidato acredita que basta ligar um elemento a um dos polos da bateria, que já há passagem de corrente elétrica.

Alternativa C: Terceira escolha dos grupos EF e EM, com padrão de escolha semelhante ao da alternativa B. Da forma que a figura está apresentada no item a lâmpada acende. Neste caso o candidato pode ter percebido que na posição I funciona e não testou para a posição II.

Assim como na alternativa B, Nakamura (2020) atribui o erro a concepções

alternativas que classificou como “curto-circuito”, quando o aluno apesar de ser capaz de identificar um circuito fechado é incapaz de identificar aqueles em que há curto ou determinar os efeitos de um curto-circuito e “modelo unipolar” que ocorre quando o candidato acredita que basta ligar um elemento a um dos polos da bateria, que já há passagem de corrente elétrica.

Comentário:

Instalações elétricas residenciais estão no dia a dia de todos os candidatos. Muitos já se deparam com locais onde é possível acender e apagar uma mesma lâmpada a partir de dois interruptores. Porém poucos alunos pararam para pensar como se dá a instalação elétrica para que isso seja possível, o que reflete que mais de 70% dos candidatos concluintes do ensino médio não compreendem esta instalação do ponto de vista técnico. Kleinke (2017) reforça este ponto, quando coloca que “Ainda que esse item possa ser associado aos conceitos de física, não é um item tradicional, não apresenta estrutura similar às outras situações enfrentadas pelo candidato em sua formação. Esse item é apresentado em um contexto técnico, seja pelo visual das conexões, seja pelo jargão da área quando comenta sobre “*polos*” e “*terminais*”, termos próprios da eletro-eletrônica, não fazendo parte do ensino médio comum.” (p. 15)

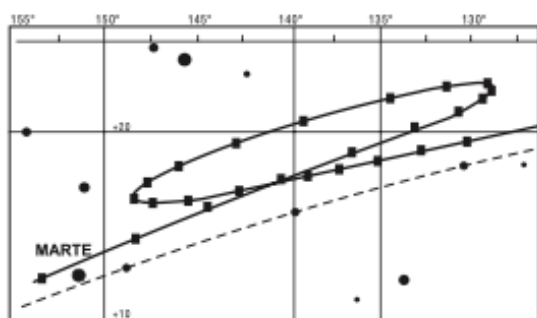
Nakamura (2020) classifica este item como qualitativo, que utiliza diagrama de circuitos, de resolução conceitual, ou seja, não exige manipulações algébricas. Além disso, aponta que as concepções alternativas são diferentes nos diferentes grupos socioeconômicos, evidenciando a influência do capital cultural e treino na resolução deste tipo de item.

Kleinke (2017) comenta que “Embora a totalidade dos candidatos já tenha utilizado uma ligação elétrica em paralelo para acender ou apagar luzes em um corredor, provavelmente poucos pensaram sobre essa situação problema.” Além disso, o autor classifica este item como “problema contextualizado no cotidiano” os quais “aparentemente são de conhecimento de todos os candidatos, costumam apresentar um elevado grau de dificuldade, pois a transposição dos conceitos físicos de modelos para o mundo real é uma tarefa difícil.” (p.15).

Q74 – 2012

QUESTÃO 74

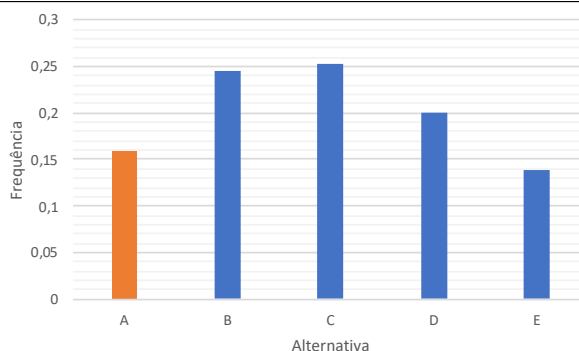
A característica que permite identificar um planeta no céu é o seu movimento relativo às estrelas fixas. Se observarmos a posição de um planeta por vários dias, verificaremos que sua posição em relação às estrelas fixas se modifica regularmente. A figura destaca o movimento de Marte observado em intervalos de 10 dias, registrado da Terra.



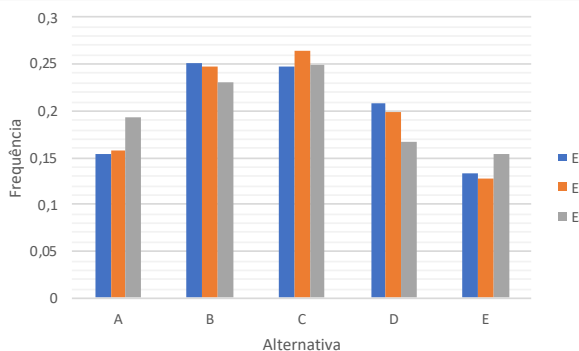
Projecto Física, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980 (adaptado).

Qual a causa da forma da trajetória do planeta Marte registrada na figura?

- ☒ A A maior velocidade orbital da Terra faz com que, em certas épocas, ela ultrapasse Marte.
- ☐ B A presença de outras estrelas faz com que sua trajetória seja desviada por meio da atração gravitacional.
- ☐ C A órbita de Marte, em torno do Sol, possui uma forma elíptica mais acentuada que a dos demais planetas.
- ☐ D A atração gravitacional entre a Terra e Marte faz com que este planeta apresente uma órbita irregular em torno do Sol.
- ☐ E A proximidade de Marte com Júpiter, em algumas épocas do ano, faz com que a atração gravitacional de Júpiter interfira em seu movimento.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se de um item de astronomia em contexto de especialista.

Considerando as órbitas dos planetas circulares, a força gravitacional entre o Sol e o planeta age como resultante centrípeta.

Neste caso, temos que a velocidade orbital do planeta é dado por $v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$, onde G é a constante gravitacional universal, M a massa do Sol e r o raio orbital. Desta expressão temos que a velocidade orbital depende exclusivamente do raio da órbita e, portanto, quanto mais longe do Sol, menor a velocidade orbital.

Como a Terra está mais próxima do Sol que Marte, sua velocidade orbital é maior. Devido a maior velocidade orbital da Terra e a menor distância ao Sol a Terra ultrapassa Marte em certas épocas, formando o laço representado na figura.

Análise dos distratores:

Alternativa C: É a alternativa mais assinalada dentre todas as alternativas. Preferência do grupo EM propõe que o laço acontece devido ao movimento orbital de Marte que é elíptico (mais do que os outros planetas). As aulas de gravitação e leis de Kepler ressaltam constantemente que as órbitas dos planetas são elípticas e não circulares. O aluno que lembra deste fato pode escolher esta alternativa relacionando o laço com o formato da órbita. Segundo Pozo e Crespo (2009) este tipo de atitude é comum quando o processo de ensino aprendizagem é feito a partir de apresentação de fatos, onde a memorização é valorizada. Os alunos lembram e memorizam um termo, mas não compreendem realmente o conceito e as consequências.

Alternativa B: O texto-base do item fala sobre o movimento de Marte relativo às estrelas. Esta alternativa é a única dentre todas as alternativas que sugere que o movimento de laço é gerado pela atração gravitacional entre as estrelas. O candidato que não sabe resolver o item busca elementos no texto-base que possam embasar alguma lógica para justificar sua resposta. Esta prática é comum entre aprendizes (SHERIN, 2001). Esta alternativa é a preferência nos grupos cujos pais apresentam menor escolaridade (EF).

Comentário:

Este item aborda um tema muito específico de especialistas e poucos dados para sua resolução. O que vemos aqui é que, independente do grupo analisado, existe uma distribuição quase que aleatória entre as alternativas, o que nos faz levantar o questionamento se este tipo de exercício é adequado para um exame como o ENEM. Percebe-se uma pequena preferência pelas alternativas B e C, mas a distribuição é totalmente aleatória. Em seu trabalho, Kleinke (2017) retirou este item apresenta um contexto específico demais e pouco adequado para este exame que se propõe avaliar a educação básica.

O item pouco discrimina os grupos, já que a distribuição entre as alternativas é próxima do aleatório em todos os grupos e o IDI é baixo.

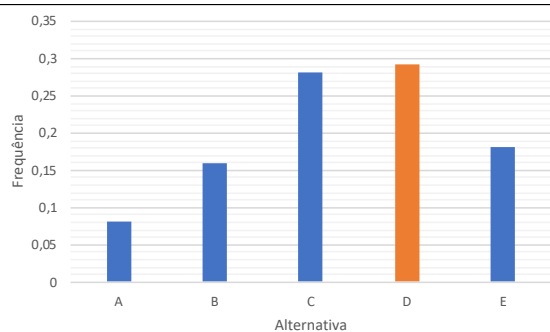
Q77 – 2012

QUESTÃO 77

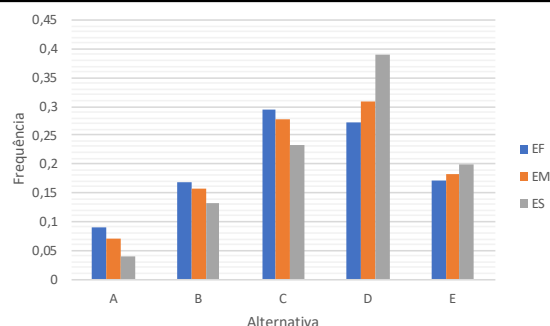
Um consumidor desconfia que a balança do supermercado não está aferindo corretamente a massa dos produtos. Ao chegar a casa resolve conferir se a balança estava descalibrada. Para isso, utiliza um recipiente provido de escala volumétrica, contendo 1,0 litro d'água. Ele coloca uma porção dos legumes que comprou dentro do recipiente e observa que a água atinge a marca de 1,5 litro e também que a porção não ficara totalmente submersa, com $\frac{1}{3}$ de seu volume fora d'água. Para concluir o teste, o consumidor, com ajuda da internet, verifica que a densidade dos legumes, em questão, é a metade da densidade da água, onde, $\rho_{\text{água}} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. No supermercado a balança registrou a massa da porção de legumes igual a 0,500 kg (meio quilograma).

Considerando que o método adotado tenha boa precisão, o consumidor concluiu que a balança estava descalibrada e deveria ter registrado a massa da porção de legumes igual a

- A 0,073 kg.
- B 0,167 kg.
- C 0,250 kg.
- D 0,375 kg.**
- E 0,750 kg.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

De acordo com o texto-base, ao afundar os legumes na água, $\frac{1}{3}$ de seu volume fica fora d'água e, portanto, $\frac{2}{3}$ do volume ficam imersos. Como o volume da água no recipiente subiu de 1L para 1,5L quando os legumes foram inseridos, estes $\frac{2}{3}$ de volume imerso correspondem a $V_i = 0,5L$

Logo, podemos concluir que o volume total dos legumes é:

$$\frac{2}{3}V_{\text{legumes}} = V_i = 0,5L \rightarrow V_{\text{legumes}} = 0,75L \text{ (valor numérico igual da alternativa E)}$$

Com o volume dos legumes e a densidade dos legumes fornecido ($d_{\text{legumes}} = \frac{d_{\text{água}}}{2} = 0,5 \text{ g/cm}^3$) no enunciado, podemos determinar a massa dos legumes.

Aplicando a definição de densidade:

$$d_{\text{legumes}} = \frac{m_{\text{legumes}}}{V_{\text{legumes}}} \rightarrow m_{\text{legumes}} = d_{\text{legumes}} \cdot V = 0,5 \cdot 0,75 = 0,375 \text{ kg}$$

Análise dos distratores:

Alternativa C: Segunda opção dos candidatos da prova, sendo a preferida entre os candidatos do grupo EF. Caso o candidato entenda que o volume total dos legumes é o volume deslocado pela água no recipiente, obtém como resposta $V_{\text{legumes}} = 0,5L$. Neste caso, ao calcular a massa dos legumes a partir da densidade fornecida eles chegam em:

$$d_{\text{legumes}} = \frac{m_{\text{legumes}}}{V_{\text{legumes}}} \rightarrow m_{\text{legumes}} = d_{\text{legumes}} \cdot V = 0,5 \cdot 0,5 = 0,250kg$$

Marcom (2015) destaca que “se os candidatos considerarem que o volume do legume é de 0,5 L, tal suposição é justificada pela correlação direta da variação do volume de água com o volume do legume, dessa forma obteriam um valor de massa igual a 0,250 kg.” (p. 121)

Alternativa E: Como trata-se de um exercício *multistep*, o candidato que faz parte da resolução encontra em um passo intermediário que o volume dos legumes é de 0,750 L. Ao encontrar um valor numérico presente entre as alternativas, caso não se atente para as grandezas físicas e unidades, o candidato acaba assinalando a alternativa com este valor numérico (0,750kg). O imediatismo provoca no aluno a não reflexão sobre os valores encontrados. Ou seja, o resultado numérico não tem um significado físico, mas sim suficiente em si. No caso de questões de múltipla escolha, quando o candidato encontra entre as alternativas um valor numérico encontrado (principalmente em questões *multistep*) e valida seus cálculos comparando o resultado encontrado, sem que haja uma reflexão conceitual, ele acaba assinalando esta alternativa, dado o tempo limitado que tem para resolver cada um dos itens.

Comentário:

Trata-se de um item *multi-step* que sugere uma prática experimental não usual para determinação de massa de legumes. Além disso, trata-se de uma contextualização de física experimental. Villar e Kleinke (2018) apontam que em itens do ENEM de física experimental o desempenho dos candidatos é baixo, mas quando a contextualização é mais próxima de aprendizes do que de especialistas, o desempenho geral dos candidatos é um pouco melhor, mas a diferença entre os desempenhos dos estudantes do grupo EF e ES aumenta. Este fracasso experimental pode ser atribuído a estrutura das escolas, que não contam com

laboratórios, a má formação do professor de física e suas condições de trabalho (LABURU *et al.*, 2007). Segundo Gaspar (2014), a experimentação em ciências nunca chegou a ser uma prática pedagógica rotineira, já que até meados do século XX, poucas escolas possuíam equipamentos para experimentos e demonstrações. Assim como o item Q54-2012, este item apresenta problema na sua formulação. Se os legumes estão em equilíbrio quando 2/3 de seu volume estão imersos na água, o empuxo deveria ser igual ao peso dos legumes. Mas:

$$P_{\text{legumes}} = m_{\text{legumes}} \cdot g = 0,375 \cdot 10 = 3,75N$$

$$E_{\text{legumes}} = d_{\text{água}} \cdot V_i \cdot g = 1 \cdot 0,5 \cdot 10 = 5N$$

Portanto, com os dados fornecidos pelo exercício, o empuxo seria maior do que a força peso e, portanto, os legumes não entram em equilíbrio com 2/3 de seu volume imerso. Ou ainda, com os dados fornecidos no enunciado, podemos determinar a massa dos legumes através do empuxo, o que forneceria que os legumes tem 0,500kg.

Outra forma de identificar a consistência é calculando a densidade dos legumes a partir dos dados fornecidos no texto-base. Com o volume dos legumes, podemos determinar a densidade dos legumes e encontramos o valor podemos determinar a densidade dos legumes pelo peso do líquido deslocado pelos legumes (Empuxo).

$$\frac{m_{\text{água deslocada}}}{V_{\text{legumes}}} = d_{\text{legumes}} \rightarrow \frac{0,5kg}{0,75L} = 0,67kg/L$$

Esta situação pode ser verdadeira se supormos que os legumes foram forçados a afundar mais que a metade do volume.

Em seu manifesto sobre a qualidade das questões de física do ENEM, da Silveira, Stilck e Barbosa (2014) apontam que este item “contextualiza’ descontextualizando absurdamente, pois ninguém, em sã consciência, utilizaria o procedimento sugerido no enunciado para verificar se uma balança está calibrada.” (p. 477). Sobre esta contextualização, os autores questionam: “1 – Como se mede a porção do volume de legumes que não ficou submersa? Ou, como se mede o volume total dos legumes? 2 – Quem, em sã consciência, acredita que uma especial classe de legumes possua densidade universalmente válida para todos os elementos dessa classe?” (SIVEIRA *et al.*, 2014, p. 478). Neste sentido, os autores defendem que itens como este ilustram o fato dos elaboradores do ENEM buscarem uma

contextualização a qualquer custo, mesmo que a mês não faça sentido.

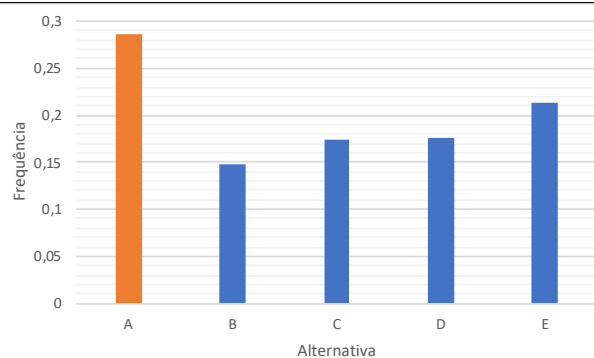
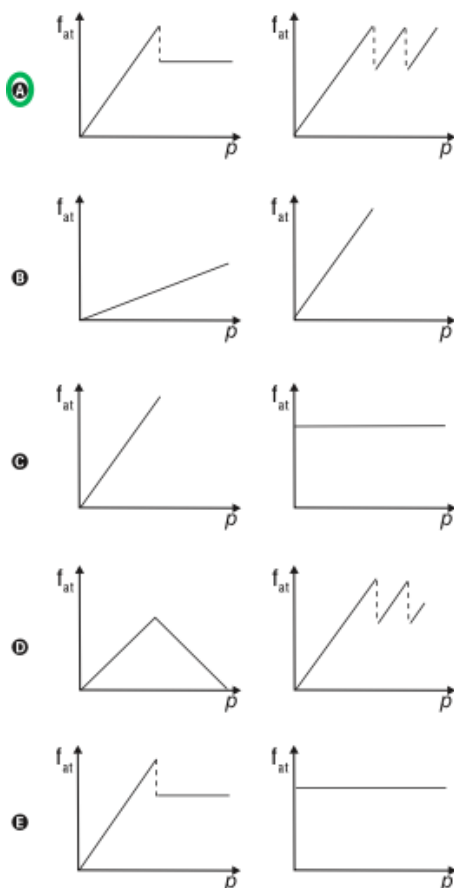
Marcom (2015) comenta que os erros cometidos neste item como sendo “(...) associado a uma dificuldade na interpretação dos dados fornecidos pelo problema, uma vez que os candidatos não refletem sobre o que representa o aumento do volume de água no balde quando colocado o legume. Supomos que essa não reflexão sobre os dados do problema está diretamente ligada ao perfil imediatista, já mencionado, dos candidatos.” (p. 121).

Q78-2012

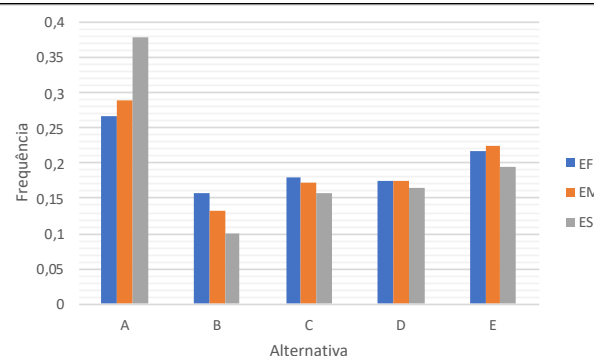
QUESTÃO 78

Os freios ABS são uma importante medida de segurança no trânsito, os quais funcionam para impedir o travamento das rodas do carro quando o sistema de freios é acionado, liberando as rodas quando estão no limiar do deslizamento. Quando as rodas travam, a força de frenagem é governada pelo atrito cinético.

As representações esquemáticas da força de atrito f_{at} entre os pneus e a pista, em função da pressão p aplicada no pedal de freio, para carros sem ABS e com ABS, respectivamente, são:



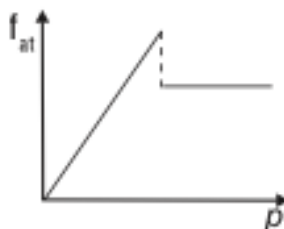
Concluantes do Ensino Médio



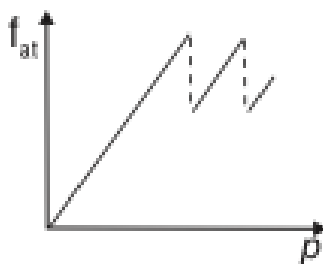
Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base explica o funcionamento do freio ABS e fornece a informação de que, ao travar a roda, o pneu passa a frear o carro regido pelo atrito cinético. Quando o carro não é provido de ABS, à medida que se aumenta a pressão sobre o pedal do freio, a força de atrito é crescente, até atingir o valor máximo ($F_{at_{máx}}$), quando a roda passa a travar; a partir desse momento, as rodas travam, e a força de atrito passa a ser cinética (F_{at_c}), constante, independente de aumentar a pressão sobre o freio. Como o coeficiente de atrito cinético é menor que o estático (valor obtido na $F_{at_{máx}}$), a força de atrito cinética é menor que a força de atrito estático máxima. O gráfico que representa este comportamento está presente nas alternativas A e E:



Para o carro com ABS quando a força de atrito atinge o valor máximo ($F_{at_{máx}}$), as rodas são liberadas, diminuindo ligeiramente o valor da força de atrito, mas não permitindo o travamento das rodas. Em seguida o freio é acionado novamente aumentando a força de atrito até o limite de travar e, assim, sucessivamente e muito rapidamente. Este comportamento é visto nas alternativas A e D.



Portanto, a alternativa correta é a alternativa A.

Análise dos distratores:

Alternativa E: Alternativa mais escolhida dentre as erradas, apresenta a resposta parcialmente correta (freio sem ABS). Os livros didáticos costumam apresentar a figura do atrito estático máximo com gráfico semelhante a este gráfico. Alguns candidatos podem ter ficado entre as alternativas “A” e “E” e escolhido ao acaso

uma das duas, pois apresentavam parcialmente o conhecimento do conteúdo.

Alternativas C e D: São escolhidas praticamente na mesma frequência. A alternativa D apresenta a segunda parte da resposta (freio com ABS) correta, já alternativa C apresenta a ideia de uma força de atrito que aumenta constantemente com a pressão para o freio normal e uma força de atrito constante para o freio ABS.

Comentário:

O item é contextualizado no funcionamento do freio de carros. Ao final do ensino médio, poucos são os alunos que já dirigem e já “vivenciaram” a diferença de um freio sem ABS de um freio com ABS, já que muitos concluem o ensino médio com 17 anos ou 18 anos recém completados. Neste sentido, a contextualização não é próxima da realidade do universo de candidatos considerados neste trabalho.

Este item apresenta um dos menores ICI da prova ($ICI = 0,02$), o que indica, segundo Bao e Redish (2001) que as respostas estão distribuídas praticamente ao acaso. Além disso, o $IDI = 0,19$, ou seja, o item discrimina pouco os candidatos de maior desempenho dos de menor desempenho.

Destacamos ainda que o item apresenta em seu enunciado duas perguntas: o gráfico referente ao funcionamento do freio sem ABS e o gráfico do funcionamento do freio com ABS. Quando isso acontece, a análise do item é dificultada, pois é mais difícil compreender se o erro do aluno está associado ao não entendimento total ou parcial do conteúdo. Além disso, algumas alternativas (D e E) apresentam a resposta parcial correta, mas não atribui nota parcial ao aluno.

Q83-2012

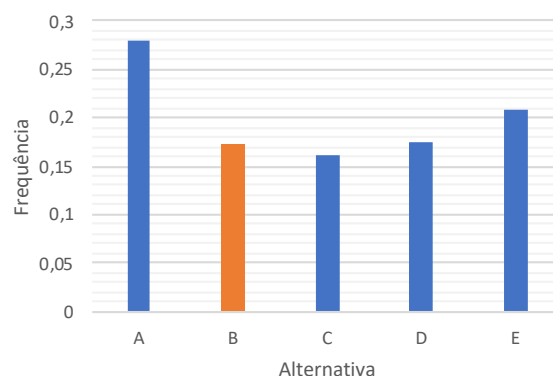
QUESTÃO 83

Aumentar a eficiência na queima de combustível dos motores a combustão e reduzir suas emissões de poluentes é a meta de qualquer fabricante de motores. É também o foco de uma pesquisa brasileira que envolve experimentos com plasma, o quarto estado da matéria e que está presente no processo de ignição. A interação da faísca emitida pela vela de ignição com as moléculas de combustível gera o plasma que provoca a explosão liberadora de energia que, por sua vez, faz o motor funcionar.

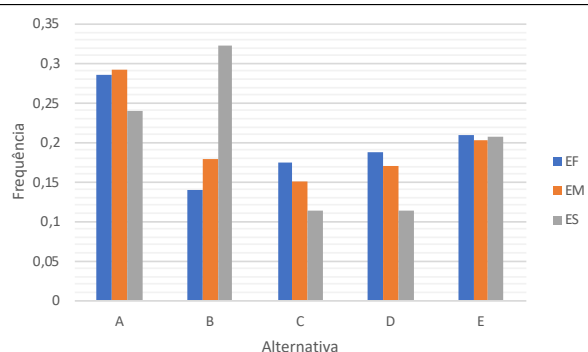
Disponível em: www.inovacaotecnologica.com.br. Acesso em: 22 jul. 2010 (adaptado).

No entanto, a busca da eficiência referenciada no texto apresenta como fator limitante

- ☐ A o tipo de combustível, fóssil, que utilizam. Sendo um insumo não renovável, em algum momento estará esgotado.
- ☒ B um dos princípios da termodinâmica, segundo o qual o rendimento de uma máquina térmica nunca atinge o ideal.
- ☐ C o funcionamento cíclico de todos os motores. A repetição contínua dos movimentos exige que parte da energia seja transferida ao próximo ciclo.
- ☐ D as forças de atrito inevitável entre as peças. Tais forças provocam desgastes contínuos que com o tempo levam qualquer material à fadiga e ruptura.
- ☐ E a temperatura em que eles trabalham. Para atingir o plasma, é necessária uma temperatura maior que a de fusão do aço com que se fazem os motores.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base descreve a necessidade de “aumentar a eficiência na queima de combustíveis (...) e reduzir suas emissões de poluentes (...)”, mas o enunciado pergunta sobre uma possível limitação para este aumento dessa eficiência.

É possível aumentar a eficiência de uma máquina térmica até um determinado limite, pois, segundo a segunda lei da Termodinâmica afirma: “*É impossível uma máquina Térmica, operando em ciclos, transformar integralmente calor em trabalho*”. Isso quer dizer que em qualquer processo Termodinâmico, uma parte da energia será perdida.

O Máximo rendimento que uma máquina térmica pode apresentar é quando a mesma opera de acordo com o ciclo de Carnot. Podemos calcular o rendimento desta máquina ideal em função das temperaturas absolutas da fonte quente T_Q e fonte fria T_F :

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$$

Quanto maior a diferença entre as temperaturas da fonte quente e fria, maior o rendimento da máquina, sendo que, no limite, para transformar integralmente calor em trabalho, o rendimento de 100% teria que ser igual

$$\eta = 1$$

Para que isso ocorra, seria necessário ou $T_F = 0K$ ou $T_Q = \infty$

O que são duas hipóteses absurdas, pois são temperaturas inatingíveis.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Alternativa mais assinalada pelos concluintes do ensino médio, pois trata-se da alternativa mais escolhida pelos grupos EF e EM, além de atrair grande parcela do grupo ES. A alternativa aborda a temática do uso dos combustíveis fósseis (Gasolina) como um fator limitante, pois como este recurso é em algum momento este recurso estará esgotado. Esta afirmação é verdadeira e amplamente discutida tanto no ensino formal quanto nos meios de comunicação (grande mídia, mídias sociais, etc), sendo um conceito fortemente aceito e enraizado, porém não responde o que o enunciado pergunta. O esgotamento do estoque de combustíveis fósseis não explica o aumento do rendimento do motor. O desconhecimento das leis da termodinâmica associado a presença de uma afirmativa conhecida e correta pode ter atraído grande parte dos candidatos.

Alternativa E: Segunda opção entre os concluintes do ensino médio, ainda é preferência em relação a alternativa correta para os grupos EF e EM. A alternativa sugere que a limitação para o rendimento do motor esteja associada a temperatura do plasma que poderia derreter os componentes metálicos do motor. O conceito de plasma é pouco trabalhado no ensino básico e, quando aparece, aparece relacionado a estrelas e altíssimas temperaturas. O senso comum pode fazer com que a crença de que a temperatura do plasma é incompatível com o motor e, portanto, trata-se de um fator limitante para o aumento da eficiência do motor.

Alternativa D: É de senso comum que a força de atrito seja uma força dissipativa e, portanto, associada a perdas de energia e queda de rendimento. A alternativa traz uma afirmação correta quando diz que estas forças geram desgaste no motor (fadiga) e possível ruptura, porém não responde o problema do rendimento

associado aos combustíveis e sim da vida útil do motor.

Comentário:

Esta questão é qualitativa e conceitual, ou seja, não é necessário para sua resolução a manipulação algébricas e memorização de fórmulas. A escolaridade dos pais, como indicador de capital cultural, parece exercer grande influência no desempenho dos candidatos neste item, como podemos ver pela diferença do desempenho dos grupos. Enquanto a alternativa mais escolhida pelo grupo ES é a alternativa certa (alternativa B), para os outros dois grupos esta alternativa é a última ou penúltima escolha entre as alternativas, sendo que o distrator que se refere aos combustíveis fósseis como problema para a eficiência é a preferência destes grupos.

Segundo Kleinke (2017) um problema deste item é que as alternativas erradas são independentes do texto-base, ou seja, são afirmações corretas ou não, mas que não estão associadas diretamente com o enunciado do item, o que acaba prejudicando a análise dos resultados.

Além do distrator mais assinalado, as outras alternativas O desconhecimento da termodinâmica associada ao senso comum pode ter desempenhado papel decisivo na escolha dos candidatos.

Q84-2012

QUESTÃO 84

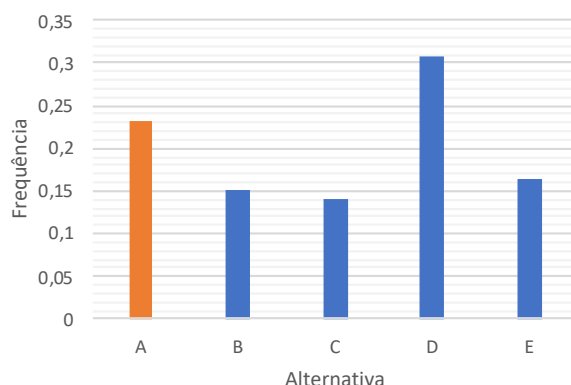
A falta de conhecimento em relação ao que vem a ser um material radioativo e quais os efeitos, consequências e usos da irradiação pode gerar o medo e a tomada de decisões equivocadas, como a apresentada no exemplo a seguir.

"Uma companhia aérea negou-se a transportar material médico por este portar um certificado de esterilização por irradiação."

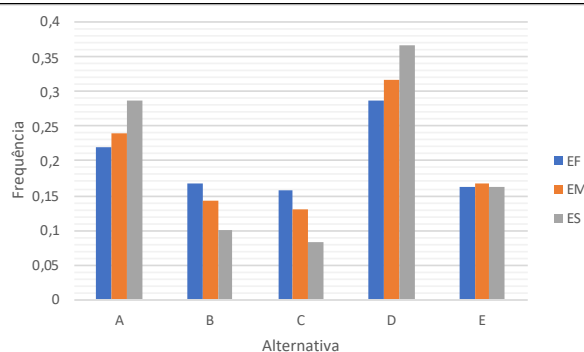
Física na Escola, v. 8, n. 2, 2007 (adaptado).

A decisão tomada pela companhia é equivocada, pois

- ☒ A o material é incapaz de acumular radiação, não se tornando radioativo por ter sido irradiado.
- ☐ B a utilização de uma embalagem é suficiente para bloquear a radiação emitida pelo material.
- ☐ C a contaminação radioativa do material não se prolifera da mesma forma que as infecções por microrganismos.
- ☐ D o material irradiado emite radiação de intensidade abaixo daquela que ofereceria risco à saúde.
- ☐ E o intervalo de tempo após a esterilização é suficiente para que o material não emita mais radiação.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base apresenta uma situação problema em que é afirmado que a falta de conhecimento sobre materiais radioativos faz com que as pessoas tomem decisões equivocadas e que uma companhia aérea se negou a transportar material esterilizado por irradiação.

A esterilização por irradiação é utilizada no controle pragas e microorganismos. Porém, o material irradiado não acumula esta radiação, nem o torna emissor de radiação.

Análise dos distratores:

Alternativa D: Alternativa mais escolhida em todos os grupos analisados. Percentualmente, é a escolha mais assinalada pelo grupo ES, ou seja, o nível socioeconômico do candidato pode ter permitido maior contato com este conteúdo, porém gerando concepções não científicas. Aqui está presente uma ideia não científica de que materiais irradiados tornam-se radioativos. Esta ideia de senso

comum (não científica) está associado a uma ideia de contaminação radioativa presente em filmes, séries, documentários e desenhos que podem ter gerado uma concepção não científica nos candidatos.

Segundo Yaguti e Gebara (2015, p. 6) “Esta afirmação não é verdadeira no contexto que o enunciado propõe, porque o material foi irradiado e não contaminado, impedindo-o de se tornar uma nova fonte de radiação. Por outro lado, é a única alternativa que menciona o termo “risco à saúde”, (...) os candidatos possuem a concepção de que qualquer material que tenha sido irradiado, estaria contaminado e se tornaria uma nova fonte de radiação, oferecendo riscos à saúde.”, ou seja, apesar de muitos estudantes não conseguirem definir radiação cientificamente, eles associam-no a problemas.

Comentário:

A questão aborda a temática da radiação nuclear, conteúdo previsto nas orientações curriculares para o ensino de Física mas que, geralmente, é trabalhado na disciplina de química com outro tipo de abordagem, nas instituições de ensino básico. Trata-se, portanto, de um conteúdo não trabalhado ou pouco trabalhado na educação básica em que existe uma confusão de termos entre contaminação radioativa e irradiação, que muitas vezes são tratadas como sinônimas. Percebe-se pouca variação entre as classes sociais, com pequena vantagem para o grupo ES.

Percebe-se que, assim como a questão Q83-2012, as alternativas apresentam sentenças corretas, porém não respondem à pergunta feita no enunciado, com exceção da alternativa A. Uma embalagem adequada pode conter a radiação (alternativa B), materiais com baixa emissão de radiação não são prejudiciais a saúde (alternativa D), o tempo de decaimento de um material radioativo pode ser inofensivo (Alternativa E).

Segundo Kleinke (2017) Apesar da importância do ensino da física moderna e contemporânea, esta não está presente na formação dos professores de física, o que inviabiliza atingir o universo dos alunos. Segundo o autor, “O que se percebe é que a taxa de resposta do gabarito é similar às outras alternativas, o que sugere a existência de uma forte concepção não científica associada à radiação nuclear” (KLEINKE, 2017, p. 16)

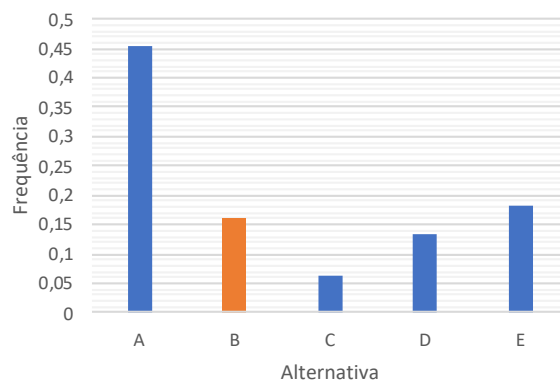
Q88- 2012

QUESTÃO 88

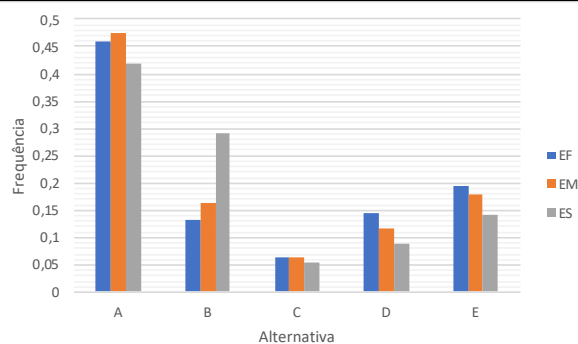
Nossa pele possui células que reagem à incidência de luz ultravioleta e produzem uma substância chamada melanina, responsável pela pigmentação da pele. Pensando em se bronzear, uma garota vestiu um biquíni, acendeu a luz de seu quarto e deitou-se exatamente abaixo da lâmpada incandescente. Após várias horas ela percebeu que não conseguiu resultado algum.

O bronzeamento não ocorreu porque a luz emitida pela lâmpada incandescente é de

- ☐ A baixa intensidade.
- ☒ B baixa frequência.
- ☐ C um espectro contínuo.
- ☐ D amplitude inadequada.
- ☐ E curto comprimento de onda.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base afirma que a melanina é produzida na presença de luz ultravioleta, ou seja, de altas frequências. Não há no texto-base nenhuma menção a necessidade de alta intensidade para que haja bronzeamento.

As lâmpadas incandescentes (de filamento) são conhecidas por emitir luz a partir do aquecimento de um filamento. Este tipo de luz é caracterizado pela emissão de grande quantidade de luz próxima a faixa do infravermelho (baixas frequências), portanto as radiações emitidas pela lâmpada incandescente são de frequências inferiores às da ultravioleta.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Independentemente da classe social, observa-se uma escolha por este distrator. Uma possível explicação é o conceito não científico esta associada a

“intensidade do Sol”. É de senso comum a concepção alternativa que as pessoas se bronzeiam quando o Sol esta “forte” e se o Sol estiver “fraco” não haverá bronzeamento. Neste sentido, a ideia de calor (radiação infravermelha) e bronzeamento (radiação ultravioleta) se misturam como se fossem a mesma coisa e o “calor” passa a ser um indicador de bronzeamento para os candidatos (concepção alternativa de origem sensorial). Este conceito não científico é transferido para a lâmpada. Além disso, é também um conceito não científico de origem sensorial (POZO; CRESPO, 2009) que não ocorre bronzeamento com luz emitida pelas lâmpadas que temos contato todos os dias.

Yaguti e Gebara (2015, p. 7) reforçam esta ideia quando afirmam que (...) os estudantes ignoraram a causa da produção de melanina quando associaram o bronzeamento à exposição a luz solar de alta intensidade, desconsiderando que a luz solar contém uma grande faixa de frequências e que a ultravioleta está contida nela.”

Alternativa E: Segunda opção mais escolhida entre os candidatos dos grupos EF e EM. é a única alternativa que aparece a palavra “onda” e o aluno que recordar que a luz apresenta características de onda pode ter sido atraído por esta alternativa. Kleinke (2017, p. 17) reforça esta ideia: “Existe algum conhecimento sobre o caráter ondulatório da radiação por parte dos candidatos (...), indicando (erroneamente) um ‘curto comprimento de onda’”.

Comentário:

O item aborda o conteúdo de ondulatória e apresenta concepções alternativas dentre as opções de escolha que estão fortemente enraizadas nos candidatos, independente da classe social e nível de escolaridade de seus pais. Yaguti e Gebara (2015) concluem em seu trabalho que os alunos, por mais preparados que eles estejam para resolver questões de ondulatória, eles estão preparados para solucionar problemas descontextualizados por meio de aplicação de fórmulas, o que não garante a compreensão do conceito físico e aplicação deste conceito em diferentes contextos.

A concepção alternativa de origem sensorial que associa o bronzeamento a potência do Sol mostra-se enraizada, independente do texto-base do item apontar que o bronzeamento está associado a luz ultra violeta. Para resolução do exercício,

o candidato precisa associar o tipo de luz a frequência/comprimento de onda da mesma, ou seja, é necessário compreender as qualidades da onda.

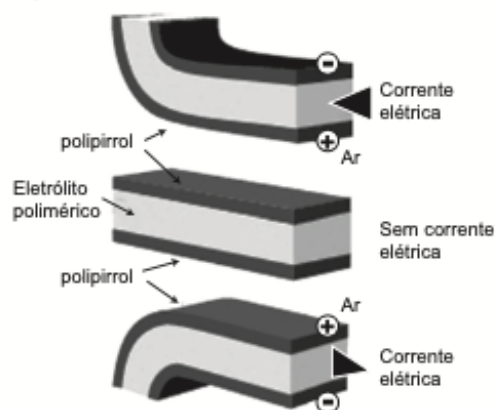
Silva e Martins (2014) classificam este item como Conhecimento procedural na dimensão “entender” dos processos cognitivos. Esta dimensão do processo cognitivo ocorre quando o candidato consegue estabelecer uma conexão entre o novo e o conhecimento previamente adquirido, utilizando de métodos, algoritmos ou técnicas.

2013

Q46 – 2013

QUESTÃO 46

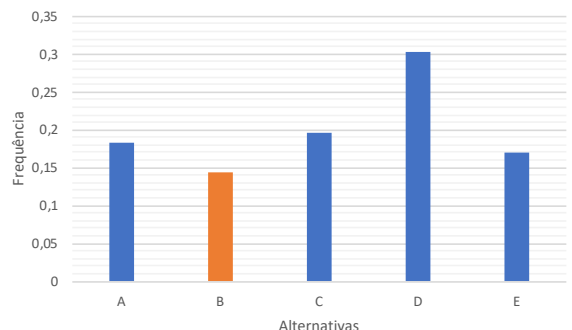
Músculos artificiais são dispositivos feitos com plásticos inteligentes que respondem a uma corrente elétrica com um movimento mecânico. A oxidação e redução de um polímero condutor criam cargas positivas e/ou negativas no material, que são compensadas com a inserção ou expulsão de cátions ou ânions. Por exemplo, na figura os filmes escuros são de polipirrol e o filme branco é de um eletrólito polimérico contendo um sal inorgânico. Quando o polipirrol sofre oxidação, há a inserção de ânions para compensar a carga positiva no polímero e o filme se expande. Na outra face do dispositivo o filme de polipirrol sofre redução, expulsando ânions, e o filme se contrai. Pela montagem, em sanduíche, o sistema todo se movimenta de forma harmônica, conforme mostrado na figura.



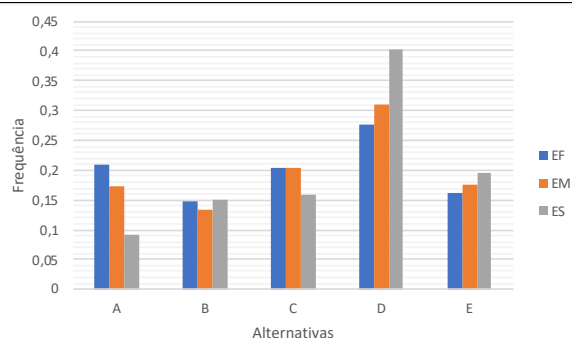
DE PAOLI, M. A. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola. São Paulo, maio 2001 (adaptado).

A camada central de eletrólito polimérico é importante porque

- ☐ A absorve a irradiação de partículas carregadas, emitidas pelo aquecimento elétrico dos filmes de polipirrol.
- ☒ B permite a difusão dos íons promovida pela aplicação de diferença de potencial, fechando o circuito elétrico.
- ☐ C mantém um gradiente térmico no material para promover a dilatação/contração térmica de cada filme de polipirrol.
- ☐ D permite a condução de elétrons livres, promovida pela aplicação de diferença de potencial, gerando corrente elétrica.
- ☐ E promove a polarização das moléculas poliméricas, o que resulta no movimento gerado pela aplicação de diferença de potencial.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

De acordo com o texto-base, o eletrólito polimérico é formado de um sal inorgânico e quando o polipirrol sofre oxidação há a inserção de ânions para compensar a carga positiva no polímero. Neste sentido, a corrente elétrica é formada por íons livres e não por elétrons livres, assim como ocorre em uma solução iônica.

Esta camada central é importante, pois quando se aplica uma diferença de potencial ela fecha o circuito, permitindo a difusão dos íons.

Análise dos distratores:

Alternativa D: Escolha da maioria dos candidatos em todos os grupos analisados, principalmente no grupo ES. Esta escolha está associada a ideia de que para que haja passagem de corrente elétrica, são necessários elétrons livres (condutor elétrico) e uma diferença de potencial entre os terminais.

Segundo Rinaldi (2017) a escolha na alternativa “mostra a situação de fluxo de cargas em condutores a partir de elétrons livres, que é o caso mais discutido na literatura sobre eletrodinâmica no ensino médio e justifica que os candidatos de melhor desempenho errem a questão.” (p. 11).

Alternativas A, C e E: Apresentam frequência semelhante aos concluintes do ensino médio. Pode estar associada a resposta ao acaso, com exclusão apenas da alternativa correta que pode ter excluído a alternativa por alguma lógica não científica que não associa o fluxo de corrente ao movimento de íons.

Comentário:

Trata-se de um item com contexto técnico/científico muito distante dos concluintes do ensino médio e mais próxima da linguagem de especialistas. Além disso, o item apresenta caráter interdisciplinar entre Física (diferença de potencial e fluxo de corrente elétrica), Química (corrente iônica) e Biologia (contexto), exigindo conhecimentos específicos a área da física e da química para sua resolução. Desse modo, a questão exige a articulação entre conhecimentos científicos de diferentes áreas e aplicações tecnológicas.

Verifica-se que todas as alternativas erradas são mais escolhidas do que a alternativa certa para os concluintes do ensino médio e nos grupos EF e EM. Para o grupo ES apenas a alternativa A é menos escolhida e nesta alternativa o autor relaciona a passagem de corrente a irradiação de partículas carregadas. Grande parte dos candidatos deste grupo pode ter o significado de “irradiação” mais bem consolidado por conta de seu capital cultural e acesso e, por consequência, descarta esta alternativa.

Questionamos a necessidade da incidência desta questão no ENEM. Entendemos que, com o resultado obtido, este tipo de item não está alinhado com o objetivo geral

do ENEM de avaliar o candidato ao final da educação básica nem com o objetivo de selecionar os candidatos para as vagas da educação superior.

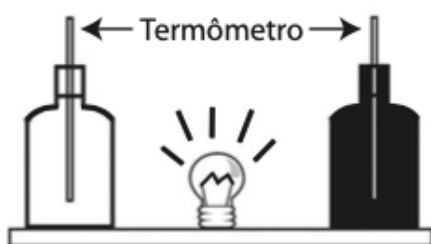
Ao estabelecer a curva característica do item a partir da TRI, Rinaldi (2017) estabelece que para o item Q46-2013: “Na curva característica do item (...) há uma inclinação negativa, indicando uma probabilidade maior de acerto para alunos de baixa aptidão, o que revela que a questão não é adequada.” (RINALDI, 2017, p. 11). Este resultado significa que a probabilidade de um candidato com baixa proficiência acertar o item é maior do que a de um aluno de alta proficiência, o que nos parece incoerente.

Por fim, Silva e Martins (2014) classificam este item como conhecimento conceitual na dimensão “entender” dos processos cognitivos. Esta dimensão do processo cognitivo ocorre quando o candidato consegue estabelecer uma conexão entre o novo e o conhecimento previamente adquirido em um contexto mais elaborado.

Q48 – 2013

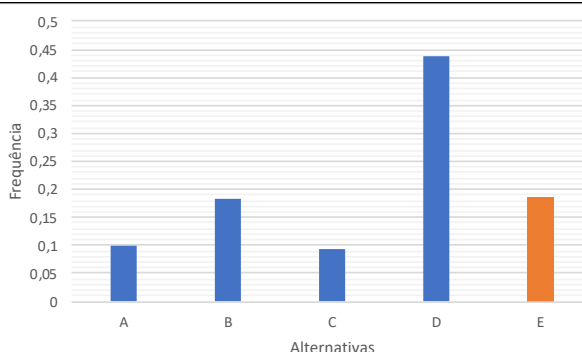
QUESTÃO 48

Em um experimento foram utilizadas duas garrafas PET, uma pintada de branco e a outra de preto, acopladas cada uma a um termômetro. No ponto médio da distância entre as garrafas, foi mantida acesa, durante alguns minutos, uma lâmpada incandescente. Em seguida a lâmpada foi desligada. Durante o experimento, foram monitoradas as temperaturas das garrafas: a) enquanto a lâmpada permaneceu acesa e b) após a lâmpada ser desligada e atingirem equilíbrio térmico com o ambiente.

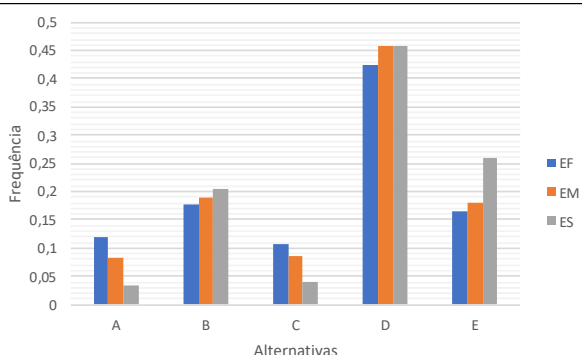


A taxa de variação da temperatura da garrafa preta, em comparação à da branca, durante todo experimento, foi

- ☐ A igual no aquecimento e igual no resfriamento.
- ☐ B maior no aquecimento e igual no resfriamento.
- ☐ C menor no aquecimento e igual no resfriamento.
- ☐ D maior no aquecimento e menor no resfriamento.
- ☒ E maior no aquecimento e maior no resfriamento.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base fornece que a lâmpada incandescente está posicionada no ponto médio da distância entre as garrafas, o que implica que a taxa de calor fornecida para ambas as garrafas é igual. Sabemos que a cor branca é caracterizada por refletir todas as cores, enquanto a cor preta é caracterizada pela absorção das cores. Esta absorção é convertida em aquecimento. Neste sentido, a garrafa preta aquece mais rapidamente que a garrafa branca. Se a taxa de aquecimento da garrafa é maior, a taxa de resfriamento será maior também, pois a taxa em que ocorre a troca de calor independe se o corpo está sendo aquecido ou resfriado e sim do material que o compõe.

Análise dos distratores:

Alternativa D: Alternativa mais escolhida por todos os grupos sociais. Nesta alternativa, parte do texto está correto e parte do texto está incorreto. Associamos esta escolha ao senso comum de que objetos pretos esquentam mais do que objetos brancos. Esta ideia pode estar associada, por exemplo, ao uso de roupa preta no sol, em que a sensação de calor é maior. Porém a sensação de que a roupa esfria mais rápida não é sentida. Neste sentido, diversos são os meios que sugerem roupas claras para utilizar no verão como sinônimo de leve. Esta ideia pode passar a ideia errada de que a roupa branca demora mais para esquentar e esfria mais rápido e esta ideia pode ter sido transportada para a resolução deste item. Trata-se, portanto, de uma concepção não científica de origem sensorial (POZO; CRESPO, 2009).

Alternativa B: Pouco escolhida entre os grupos, mas aparece como a terceira escolha. Junto com a alternativa correta (Alternativa E) e a Alternativa D, apresenta parte do texto correto. Um aluno que compreenda que o aquecimento do corpo escuro é mais rápido, pode ter ficado entre as três alternativas e escolhido uma ao acaso. Rinaldi (2017) também destaca que, aproximadamente 81% dos candidatos optaram pelas alternativas que indicam maior aquecimento no corpo escuro.

Comentário:

Trata-se de um item conceitual, onde não é necessário a manipulação algébrica nem a memorização de fórmulas para sua resolução. Villar e Kleinke (2018) classificam este item como de física experimental no contexto de especialistas, uma

vez que este tipo de “experimento” e conhecimento não é comum no dia a dia dos estudantes. Quando isso ocorre, o desempenho de todos os grupos costuma ser menor e um dos motivos é a falta de aulas experimentais e laboratórios nas escolas de ensino básico (GASPAR, 2014). Além disso, a maior escolaridade dos pais parece exercer uma pequena vantagem, o que está de acordo com Rinaldi (2017) que aponta que alunos com maior proficiência conseguem identificar a relação correta entre aquecimento e resfriamentos dos corpos.

Villar e Kleinke (2018) observam que: “Nota-se que as três alternativas mais marcadas indicam que a garrafa preta aquece mais rapidamente que a garrafa branca, o que é uma análise correta e está associada com uma observação cotidiana dos alunos. A maior taxa de variação no resfriamento também foi realizada pela garrafa preta, porém somente filhos de pais com ensino superior indicaram essa resposta (...). Essa questão associa complexos conceitos de radiação com absorção e emissão de calor (...).” (p. 4)

Neste sentido, Rinaldi (2017, p. 15) destaca que “O desempenho dos alunos neste item indica que há uma percepção entre os estudantes que corpos escuros tendem a “acumular” mais calor do que corpos claros. A compreensão do conceito de calor não é de uma forma de energia em fluxo entre os corpos, mas de algo que pode ser acumulado por eles, como o ‘fluido calórico’ de Lavoisier”. Além disso, o autor aponta um problema na elaboração do item. Segundo ele, com os dados fornecidos no texto-base e no enunciado não é possível aferir sobre a taxa de variação da temperatura e sim sobre a variação da temperatura.

Por fim, Silva e Martins (2014) classificam este item no menor nível taxonômico possível: conhecimento efetivo na dimensão do “lembrar” dos processos cognitivos. Nesta dimensão basta o candidato deve reconhecer e reproduzir ideias e conteúdos básicos. Não entendemos que se trata de um conhecimento básico, mas mantivemos a classificação proposta pelos autores.

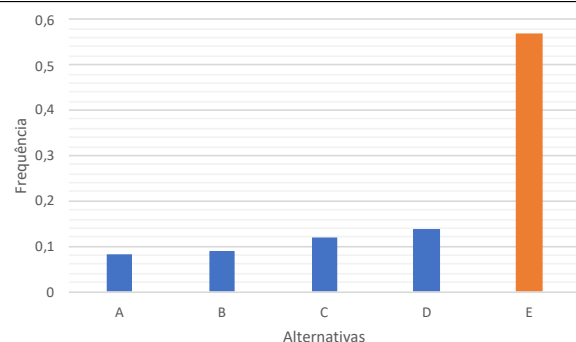
Q52 – 2013

QUESTÃO 52

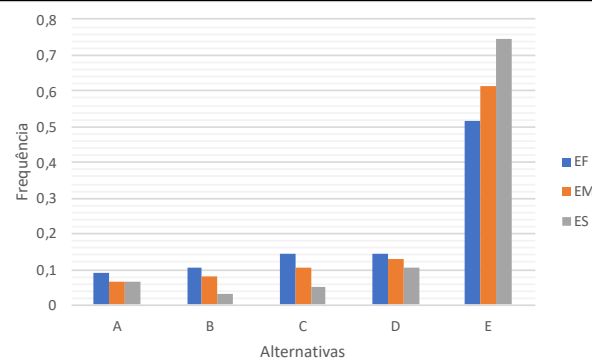
Em viagens de avião, é solicitado aos passageiros o desligamento de todos os aparelhos cujo funcionamento envolva a emissão ou a recepção de ondas eletromagnéticas. O procedimento é utilizado para eliminar fontes de radiação que possam interferir nas comunicações via rádio dos pilotos com a torre de controle.

A propriedade das ondas emitidas que justifica o procedimento adotado é o fato de

- ☐ A terem fases opostas.
- ☐ B serem ambas audíveis.
- ☐ C terem intensidades inversas.
- ☐ D serem de mesma amplitude.
- ☒ E terem frequências próximas.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

A interferência ocorre quando ondas emitidas por diferentes fontes apresentam frequência (ou comprimento de onda) próximos e essas ondas se somam gerando uma nova onda contendo a informação das duas originais. Os receptores de rádio possuem filtros que selecionam a frequência a ser decodificada e havendo mais de um emissor operando em frequências próximas, poderá haver interferência.

Rinaldi (2017) faz uma ressalva que a comunicação entre pilotos e torres de comando se dá na faixa de 118MHz a 136MHz, enquanto os aparelhos de telefonia celular, por exemplo, operam em faixas de frequências superiores (entre 800MHz e 2500MHz). Além dos aparelhos celulares, outros aparelhos como videogames, computadores, brinquedos eletrônicos podem emitir ondas eletromagnéticas que podem gerar interferência na comunicação. De qualquer forma, por segurança, as companhias aéreas adotam como padrão o desligamento de todos os aparelhos.

Análise dos distratores:

Alternativa D: O item não apresenta distratores, porém a alternativa D é a mais

assinalada dentre as alternativas erradas. Esta é a única alternativa que apresenta uma característica de uma onda (amplitude), além da alternativa correta.

Comentário:

Este item pode ser classificado como sendo conceitual e não necessita da manipulação algébrica ou memorização de fórmulas. O item aborda uma propriedade da onda amplamente discutida na educação básica (interferência), o que pode explicar, em parte, o alto desempenho dos candidatos neste item. Além disso, muitas pessoas já vivenciaram o fenômeno da interferência, seja numa ligação telefônica, seja ouvindo rádio em casa ou no seu carro. Este resultado sugere que, mesmo não compreendendo profundamente o conceito de interferência, o candidato foi capaz de responder a este item.

Rinaldi (2017, p. 19) afirmam que na educação básica “As características mais mencionadas em relação a fenômenos ondulatórios são a frequência e a intensidade”.

Q57 – 2013

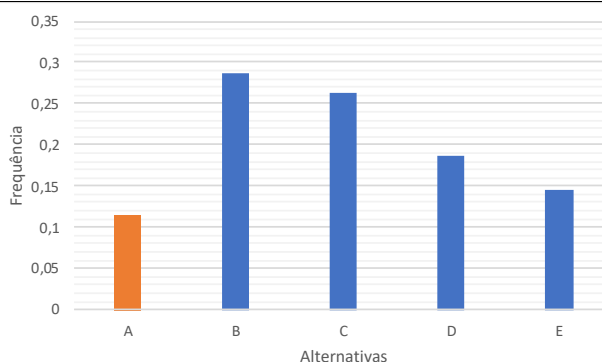
QUESTÃO 57

Para realizar um experimento com uma garrafa PET cheia d'água, perfurou-se a lateral da garrafa em três posições a diferentes alturas. Com a garrafa tampada, a água não vazou por nenhum dos orifícios, e, com a garrafa destampada, observou-se o escoamento da água conforme ilustrado na figura.

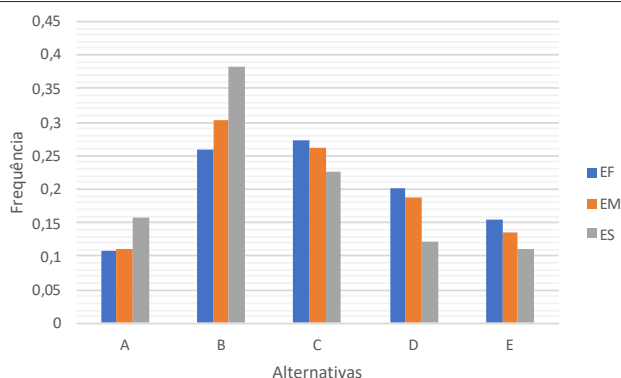


Como a pressão atmosférica interfere no escoamento da água, nas situações com a garrafa tampada e destampada, respectivamente?

- ☒ A Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; não muda a velocidade de escoamento, que só depende da pressão da coluna de água.
- ☐ B Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; altera a velocidade de escoamento, que é proporcional à pressão atmosférica na altura do furo.
- ☐ C Impede a entrada de ar, por ser menor que a pressão interna; altera a velocidade de escoamento, que é proporcional à pressão atmosférica na altura do furo.
- ☐ D Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; regula a velocidade de escoamento, que só depende da pressão atmosférica.
- ☐ E Impede a entrada de ar, por ser menor que a pressão interna; não muda a velocidade de escoamento, que só depende da pressão da coluna de água.



Concluientes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Uma coluna de água apresenta pressão hidrostática maior do que a pressão atmosférica quando esta coluna tem mais de 10 m. Pelo raciocínio esperado no exercício, a água não sairá com a garrafa fechada, pois a pressão atmosférica do lado de fora é maior do que a pressão exercida pela coluna de água.

Abrindo-se a garrafa, a pressão da água na saída de cada um dos orifícios aumenta com a profundidade, já que a coluna de água é maior, acarretando maior velocidade na saída.

OBS: Ambos os resultados apresentados aqui são decorrentes do raciocínio esperado pelo elaborador, porém o resultado experimental é diferente desta

explicação.

Análise dos distratores:

Alternativa B: Nesta alternativa, a primeira parte está de acordo com o gabarito do INEP e a segunda parte pode ser confundida por causa da figura, que mostra que quanto mais alto estiver o furo, menor a distância percorrida pelo jato de água na horizontal, sugerindo uma diminuição da velocidade do escoamento.

Rinaldo (2017, p. 23) aponta que a alternativa apresenta “(...) a ideia de que a pressão atmosférica se altera significativamente em pequenas variações de altura, e que a pressão hidrostática é tanto maior quanto maior for a profundidade. Justificativa que fica alinhada à figura apresentada, onde o jato teria um alcance maior por ter maior pressão hidrostática.”.

Alternativa C: Também apresenta maior preferência por parte dos candidatos do que a alternativa correta em todos os grupos analisados. Os candidatos podem associar o fato de tampar a garrafa com a entrada/saída de ar, uma vez que pelo orifício da tampa apenas ar pode fluir. O candidato pode associar a ideia de tampar a garrafa com a ideia de não ser possível entrar mais ar impedindo a saída de água pelos orifícios. Além disso, a segunda parte do texto da alternativa relaciona o resultado obtido com diferentes pressões atmosféricas. É de senso comum que a altitude influencia na pressão atmosférica, porém quando falamos de grandes diferenças de altitude. O candidato que lembrar da influência da altitude na pressão atmosférica, mas não perceber que na garrafa esta diferença é insignificante, pode ser atraído por esta alternativa.

Assim como na alternativa B, Rinaldi (2017, p. 23) aponta que a alternativa apresenta “(...) a ideia de que a pressão atmosférica se altera significativamente em pequenas variações de altura, e que a pressão hidrostática é tanto maior quanto maior for a profundidade. Justificativa que fica alinhada à figura apresentada, onde o jato teria um alcance maior por ter maior pressão hidrostática.”

Alternativas D e E: As alternativas são mais escolhidas do que a alternativa correta nos grupos EM e EF. Os motivos para escolha destas alternativas são semelhantes aos apresentados nas alternativas B e D.

Comentário:

Trata-se de uma questão conceitual contextualizada em um experimento de

bancada, próxima de especialistas. Em todas as alternativas existe a ideia da influência da pressão atmosférica para impedir a saída de água no experimento da garrafa destampada, o que pode confundir os candidatos. Observamos que as duas alternativas mais assinaladas (aproximadamente 55% do total) sugerem a ideia errada de pressão atmosférica se altera de forma significativa em pequenas variações de altura. Esta concepção alternativa pode ser de origem escolar e estar relacionada a forma como o conceito de pressão atmosférica é apresentado aos alunos, valorizando a memorização sem o completo entendimento do fenômeno (POZO; CRESPO, 2009).

Sobre a contextualização, Villar e Kleinke (2018) comentam que este item tem caráter experimental de especialista, próximo a um experimento de laboratório, o que explica o baixo desempenho através do IFI e que “O fato das escolas não apresentarem e/ou não utilizarem os laboratórios para aulas experimentais e os professores serem pouco preparados e motivados para trabalhar com experimentos podem ser fatores que explicam este resultado.” (VILLAR; KLEINKE, 2018, p. 7)

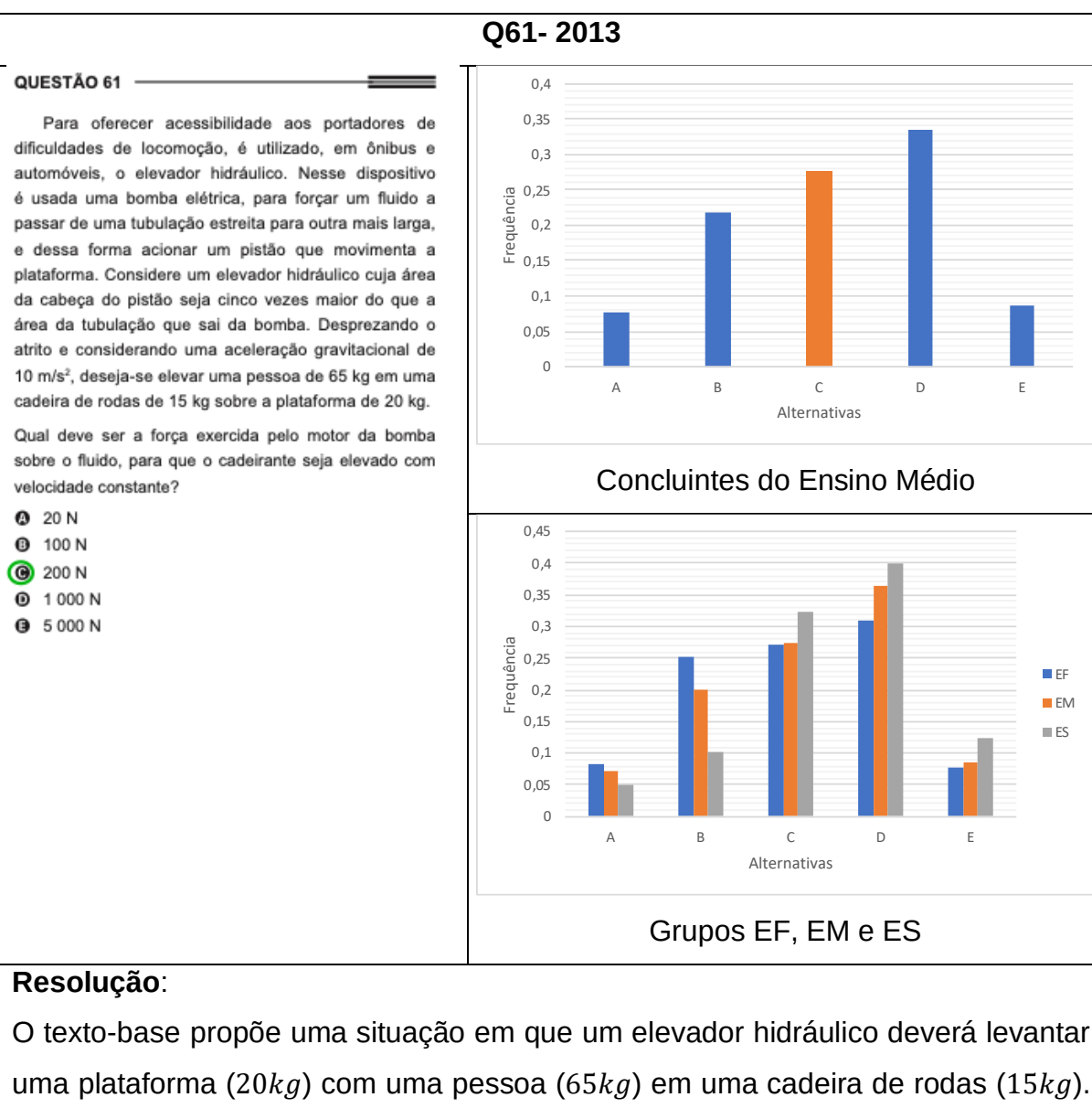
Destacamos ainda que o item apresenta em seu enunciado duas perguntas: Explicar a influência da pressão atmosférica na situação da garrafa aberta e fechada. Quando isso acontece, a análise do item é dificultada, pois é mais difícil compreender se o erro do aluno está associado ao não entendimento total ou parcial do conteúdo. Além disso, algumas alternativas erradas (B e D) apresentam a resposta parcialmente correta, mas não atribui nota parcial ao aluno.

Este item apresenta problemas na sua elaboração já que a situação experimental proposta, quando realizada gera resultados diferentes daqueles descritos e esperados no item (SILVEIRA, 2013; RODRIGUES, 2014).

Rodrigues (2014, p. 427) aponta que “(...) a questão apresentada em uma prova de abrangência nacional e de grande importância contém inconsistências, propondo uma situação impossível, seja do ponto de vista da Mecânica de Fluidos, seja do ponto de vista experimental, pois a água vazará da garrafa com três furos abertos.” Silveira (2013) destaca que “A figura representando os jatos de água que saem de uma garrafa pet com três pequenos orifícios é inconsistente com a teoria sobre tal situação e com a experimentação. É fácil se demonstrar teoricamente que o alcance do jato é máximo na metade da altura da coluna de água interna à garrafa: se a

garrafa estiver cheia até o gargalo, o alcance máximo acontece aproximadamente para a água que sai do orifício superior da figura da questão.” (p. 10). Em seu trabalho, o autor refaz o experimento da garrafa e conclui que “o problema envolve em seu enunciado duas suposições absurdas sendo impossível que a água não vaze da garrafa tapada com os três orifícios abertos!” (p. 15). Ele sugere que o item deveria ser anulado, o que não aconteceu.

Rinaldi (2017), com base nos trabalhos de Silveira (2013) e Rodrigues (2014) conclui que a questão apresenta problemas tanto no que se refere a garrafa tampada quanto destampada.



Além disso, o texto diz que o sistema hidráulico é composto por um pistão de área 5 vezes do que a área da tubulação que sai da bomba ($A_{pistão} = 5 \cdot A_{tubo}$).

Como o elevador sobe com velocidade constante, a força resultante sobre o conjunto deve ser nula e, neste a força exercida na plataforma é igual ao peso do conjunto.

Sabemos que em uma tubulação fechada em equilíbrio, a pressão em todos os pontos é constante (princípio de Pascal) e, portanto

$$p_{motor} = p_{pistão} \rightarrow \frac{F_{motor}}{A_{tubo}} = \frac{P_{total}}{A_{pistão}}$$

O módulo do peso total (P_{total}) do conjunto a ser elevado é:

$$P_{total} = P_{plataforma} + P_{pessoa} + P_{cadeira} = 200 + 650 + 250 = 1000N$$

Logo,

$$\frac{F_{motor}}{A_{tubo}} = \frac{1000}{5A_{tubo}} \rightarrow F_{motor} = 200N$$

Análise dos distratores:

Alternativa D: Esta alternativa é obtida se o candidato determina o peso total da plataforma com a pessoa e a cadeira, mas não aplica o princípio de Pascal. Neste caso, ele desconsidera a informação fornecida no texto-base de que a área do pistão é 5 vezes maior do que a área do tubo que sai da bomba.

Alternativa B: A alternativa foi escolhida principalmente pelo grupo EF. O valor numérico 100 é encontrado se as massas da pessoa, plataforma e cadeira de rodas forem somados. Percebe-se que o grupo de alunos que assinalou esta alternativa confunde a definição de massa e peso, concepção alternativa conhecida. Além disso, a manipulação algébrica dos números do texto-base que geram valor numérico igual a uma alternativa atrai parte dos alunos que não refletem sobre o significado físico do número obtido. A manipulação algébrica dos valores fornecidos, quando gera um valor presente entre as alternativas atrai grande parte dos candidatos (aprendizes) pelo imediatismo e curto tempo de realização de cada item (SHERIN, 2001; KOU *et al.*, 2013).

Alternativa E: Não consideramos esta alternativa um distrator, mas o fato dela ser a terceira mais escolhida pelo grupo ES chama a atenção. Esta alternativa é assinalada se o aluno inverter a força do motor com a força do pistão, ou seja, a

área do tubo fosse 5 vezes maior do que a área do pistão. Neste caso, $\frac{F_{motor}}{A_{pistão}} = \frac{P_{total}}{A_{tubo}} \rightarrow F_{motor} = 5000N$. Percebe-se que quem escolheu esta alternativa conhece o princípio de Pascal ou simplesmente multiplicou o peso da plataforma por 5, utilizando os dados fornecidos no enunciado. A manipulação algébrica dos valores fornecidos, quando gera um valor presente entre as alternativas atrai grande parte dos candidatos (aprendizes) pelo imediatismo e curto tempo de realização de cada item (SHERIN, 2001; KOU *et al.*, 2013).

Comentário:

O item é quantitativo e envolve, pelo menos, duas passagens para sua resolução completa. Trata-se da aplicação do teorema de pascal e, um elevador hidráulico que sobe com velocidade constantes (equilíbrio). Barroso *et al.* (2018) completam que a questão não apresenta nenhuma imagem, o que dificulta o entendimento da mesma já que o candidato imagine a situação proposta, sendo para isso, necessário já ter tido contato prévio com um elevador hidráulico durante a educação básica. Este item se assemelha muito aos exercícios de fixação de final de capítulo presente nos livros didáticos e apostilas de cursinhos preparatórios (Kleinke, 2017).

Itens quantitativos, com manipulação algébrica e necessidade de utilização de fórmulas memorizadas geralmente apresentam índice de acerto menor do que aqueles itens conceituais (KLEINKE, 2017; GONÇALVES JR, 2014; MARCOM e KLEINKE, 2016). Rinaldi (2017) aponta que a escolha pelas alternativas erradas D e B sugerem um desconhecimento do princípio de Pascal e indicam que os candidatos assinalam a alternativa a partir de manipulações algébricas diretas com os dados numéricos fornecidos.

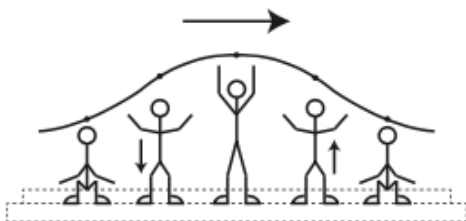
Barroso *et al.* (2018) reforçam que candidatos de baixa proficiência não entendem a diferença entre os conceitos de pressão e força e ignora as informações de área presentes no texto-base.

Silva e Martins (2014) classificam este item como Conhecimento procedural na dimensão “entender” dos processos cognitivos. Esta dimensão do processo cognitivo ocorre quando o candidato precisa estabelecer uma conexão entre o novo (situação problema) e o conhecimento previamente adquirido (princípio de Pascal), utilizando de métodos, algoritmos ou técnicas.

Q65-2013

QUESTÃO 65

Uma manifestação comum das torcidas em estádios de futebol é a *ola mexicana*. Os espectadores de uma linha, sem sair do lugar e sem se deslocarem lateralmente, ficam de pé e se sentam, sincronizados com os da linha adjacente. O efeito coletivo se propaga pelos espectadores do estádio, formando uma onda progressiva, conforme ilustração.

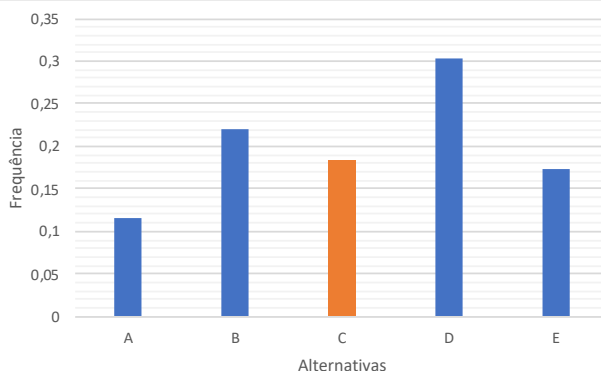


Calcula-se que a velocidade de propagação dessa "onda humana" é 45 km/h, e que cada período de oscilação contém 16 pessoas, que se levantam e sentam organizadamente e distanciadas entre si por 80 cm.

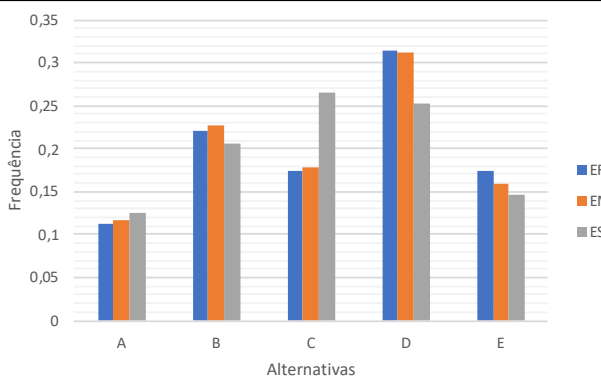
Disponível em: www.ufsm.br. Acesso em: 7 dez. 2012 (adaptado).

Nessa *ola mexicana*, a frequência da onda, em hertz, é um valor mais próximo de

- A 0,3.
- B 0,5.
- C 1,0.**
- D 1,9.
- E 3,7.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base sugere uma situação em que uma "onda humana" (*ola mexicana*) pode ser modelada a partir das equações da ondulatória. O exercício fornece que a distância entre dois torcedores é de 0,8m e que a cada 16 pessoas temos uma oscilação completa (15 espaços). Além disso, a velocidade de propagação da onda é de $v = 45\text{km/h} = 12,5\text{m/s}$. Com esta informação podemos determinar o comprimento da onda e posteriormente a sua frequência.

$$\lambda = 15 \cdot 0,8 = 12\text{m}$$

Da equação fundamental da ondulatória:

$$v = \lambda \cdot f \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{12,5}{12} = 1,04\text{Hz} \approx 1\text{Hz}$$

Análise dos distratores:

Alternativa D: Alternativa mais escolhida nos grupos EF e EM e segunda mais escolhida pelos candidatos do grupo ES. Se o candidato interpretar que 0,8m é a

distância que duas pessoas ocupam na onda, ele chega que a onda completa tem 8 duplas de 0,8m cada, ou seja, $\lambda = 8 \cdot 0,8 = 6,4m$ e $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{12,5}{12} = 1,95Hz \approx 1,9Hz$ Rinaldi (2017, p. 29) sugere que “ (...) o valor 1,9 é o mais próximo dentre as opções da divisão direta entre 80 cm e 45 km/h: $80/45 = 1,78$.”

Alternativa B: Esta alternativa é obtida através de operações diretas entre os números fornecidos no enunciado. Se o candidato dividir 45km/h por 80cm, chegará ao valor de 0,56, portanto, mais próximo de 0,5.

Rinaldi (2017, p. 29) sugere neste caso que “ (...) o valor 0,5 é obtido na divisão direta dos valores 80 cm por de 16 pessoas, com erro na ordem de grandeza, muitas vezes ignorada pelos candidatos: $80/16 = 5$.”.

Comentário:

Este item aborda conceitos de ondulatória, com aplicação da equação fundamental contextualizada no “cotidiano” dos alunos. Acredita-se que a grande maioria dos alunos ou já foi a um estádio e vivenciou a situação problema sugerida ou já viu pela televisão em transmissões de esportes como futebol, vôlei, etc.

O Item é quantitativo e exige conversão de unidade da velocidade, de km/h para m/s. Para sua resolução, além da mudança de unidade, são necessários, pelo menos, suas passagens e manipulação algébrica, o que torna o item multi-step. Questões quantitativas multi-step costumam apresentar índice de acerto baixo, o que está de acordo resultados apresentados por Kleinke (2017), Marcom e Kleinke (2016) e Gonçalves Jr. e Barrosos (2014).

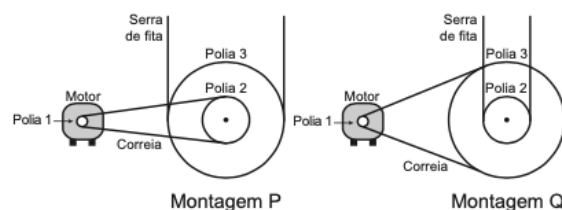
Rinaldi (2017, p. 29) destaca que “Observa-se que questões com mudanças de unidades e aplicações de fórmulas parecem ser muito difíceis para os estudantes.”, e completa “A análise revela pouco, ou nenhum entendimento, relativo ao significado das grandezas, ou a relação entre elas, exigidos no item.” Reforçando a ideia de que os concluintes do ensino médio, em sua maioria, não refletem sobre o valor numérico encontrado, apenas assinala a alternativa ao aplicá-lo.

Silva e Martins (2014) entendem que neste item, não basta o candidato “lembrar” e “entender” os conceitos de física, mas é necessário aplicá-los em uma situação diferente das que aparecem nos exercícios presentes nos livros didáticos, utilizando algoritmos e procedimentos. Portanto, trata-se de um item classificado na TBR como de conhecimento procedural e de processo cognitivo “aplicar”.

Q66-2013

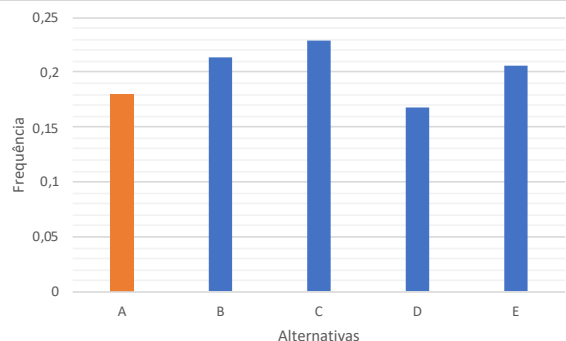
QUESTÃO 66

Para serrar ossos e carnes congeladas, um açougueiro utiliza uma serra de fita que possui três polias e um motor. O equipamento pode ser montado de duas formas diferentes, P e Q. Por questão de segurança, é necessário que a serra possua menor velocidade linear.

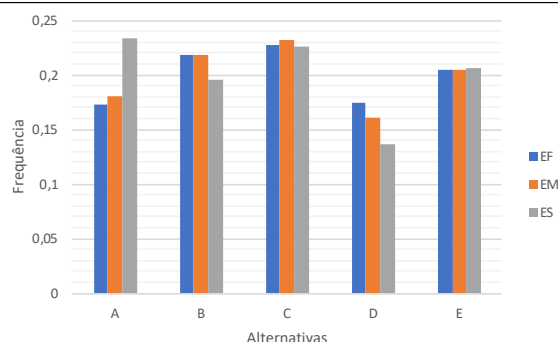


Por qual montagem o açougueiro deve optar e qual a justificativa desta opção?

- (A)** Q, pois as polias 1 e 3 giram com velocidades lineares iguais em pontos periféricos e a que tiver maior raio terá menor frequência.
- (B)** Q, pois as polias 1 e 3 giram com frequências iguais e a que tiver maior raio terá menor velocidade linear em um ponto periférico.
- (C)** P, pois as polias 2 e 3 giram com frequências diferentes e a que tiver maior raio terá menor velocidade linear em um ponto periférico.
- (D)** P, pois as polias 1 e 2 giram com diferentes velocidades lineares em pontos periféricos e a que tiver menor raio terá maior frequência.
- (E)** Q, pois as polias 2 e 3 giram com diferentes velocidades lineares em pontos periféricos e a que tiver maior raio terá menor frequência.



Concluintes do Ensino Médio

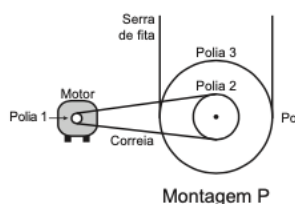


Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base fornece duas montagens possíveis (P e Q) para uma serra de fita e pede qual das suas montagens a serra possui menor velocidade linear. A velocidade linear da serra é igual à velocidade linear (v) da extremidade da polia no qual a serra está acoplada.

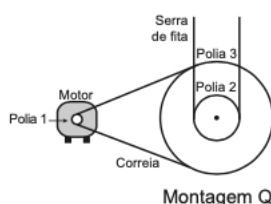
Na montagem P a serra está acoplada na polia 3 (maior), conforme a figura:



Nesta montagem, a extremidade da polia 2 gira com velocidade linear igual a polia 1 do motor. A polia 3 está no mesmo eixo da polia 2, portanto tem mesma velocidade

angular. Como o raio da polia 3 é maior do que da polia 2, a velocidade escalar da polia 3 é maior do que da polia 2 ($v = \omega \cdot r$).

Já na montagem Q, a polia 3 está acoplada no motor, portanto apresenta mesma velocidade escalar em sua extremidade. Como a polia 2 está no mesmo eixo da polia 3, a velocidade angular (ω) delas são iguais, porém a velocidade escalar em 2 é menor do que em 3, já que o raio da polia 2 é menor do que o raio da polia 3.



Concluimos aqui, portanto que na montagem Q a velocidade escalar da serra é menor.

Sobre a frequência, como o motor gira com velocidade escalar constante, quanto maior o raio da polia no qual ele estiver acoplado, menor será a frequência do giro (mais tempo ele leva para dar uma volta completa). Neste caso, a frequência é menor na montagem Q.

Rinaldi (2017) formaliza matematicamente a solução do problema:

“ Na montagem P, a serra possui velocidade $v = \omega_3 R_3 = \omega_2 R_3$ e $v = \omega_3 R_3 = (\omega_1 R_1 R_2) R_3 = \omega_1 R_1 (R_3 R_2) > \omega_1 R_1$. Na montagem Q, a serra possui velocidade $v = \omega_2 R_2 = \omega_3 R_2$ e $v = \omega_3 R_2 = (\omega_1 R_1 R_3) R_2 = \omega_1 R_1 (R_2 R_3) < \omega_1 R_1$.” (p. 31).

Análise dos distratores:

Alternativa C: Alternativa mais escolhida pelos concluintes do ensino médio e pelos grupos EF e EM. Percebe-se aqui uma confusão de termos entre frequência, velocidade angular e velocidade linear. Esta escolha sugere uma relação inversa entre velocidade linear e raio, quando na verdade trata-se da velocidade angular. Rinaldi (2017) sugere que esta alternativa, assim como a alternativa B (as duas mais escolhidas) são as alternativas que apresentam em seu texto a expressão “menor velocidade”, o que se caracteriza como um distrator para os candidatos menos preparados que buscam a opção de “menor velocidade” para a serra, conforme pedido no texto-base.

Alternativa B: O acoplamento do motor com a polia 3 pode ter passado a ideia de

que a frequência de giro é a mesma. Este tipo de associação está relacionado com a confusão de termos (velocidade e frequência). Além disso, a ideia de menor velocidade linear, quanto maior o raio, pode estar associada a uma concepção alternativa (errada) ligada, por exemplo, a órbita dos planetas. Quanto mais distante o planeta orbita do sol, mais tempo ele leva para completar a sua órbita. Temos aqui uma confusão de conceitos em que maior tempo está associado a menor velocidade, independente da distância percorrida.

Alternativa E: Apresenta a primeira parte do seu texto com uma sentença verdadeira, porém assim como os candidatos que optaram pelas alternativas B e C, o candidato aqui busca uma relação inversa entre raio e velocidade, apresentando uma confusão de termos entre frequência e velocidade. Outra possibilidade é o candidato confundir o tipo de acoplamento e pensar que, ao estar no mesmo eixo, eles giram com a mesma “velocidade”, mas não a mesma frequência (confusão de termos).

Comentário:

Observa-se nesta questão uma distribuição quase que aleatória nas frequências das alternativas, o que pode ser confirmado pelos índices associados ao item ($IFI = 0,18$ e $ICI = 0,00$). Esta mesma conclusão foi obtida por Rinaldi (2017, p. 32): “A questão revela-se muito difícil (...) todas as alternativas são marcadas de forma similar em praticamente todas as faixas de desempenho.”. Temos uma questão qualitativa em que não há a necessidade de manipulações algébricas e que é possível resolver utilizando apenas o raciocínio lógico, porém o texto da questão está confuso e as alternativas são independentes do texto-base, ou seja, as alternativas apresentam sentenças verdadeiras (ou não), mas que não respondem necessariamente o que está sendo perguntado.

Cada uma das alternativas faz a comparação de três grandezas físicas (velocidade escalar, frequência e raio) fazendo inter-relação entre elas, o que do ponto de vista de aprendizes este item exige a mobilização de inúmeras relações mentais o que pode exceder a sua capacidade de memória de acordo com a teoria da carga cognitiva (CHAGAS, 2019).

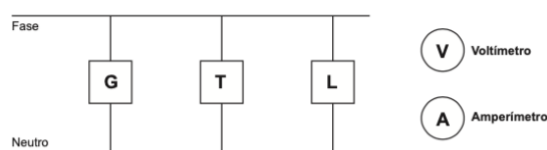
Temos na literatura que itens qualitativos conceituais apresentam menor grau de dificuldade, porém este é um contra exemplo. Não consideramos o item adequado

pela quantidade de relações necessárias que deve ser feita, não sendo possível saber exatamente qual parte do problema o candidato está apto e qual parte ele não está apto.

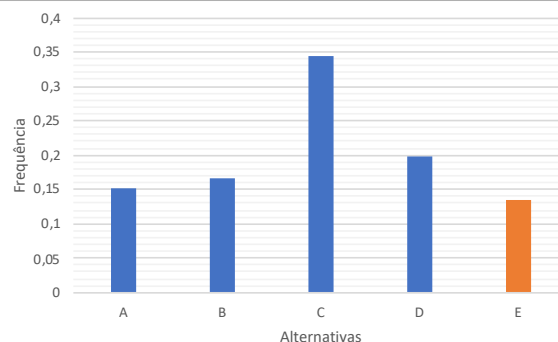
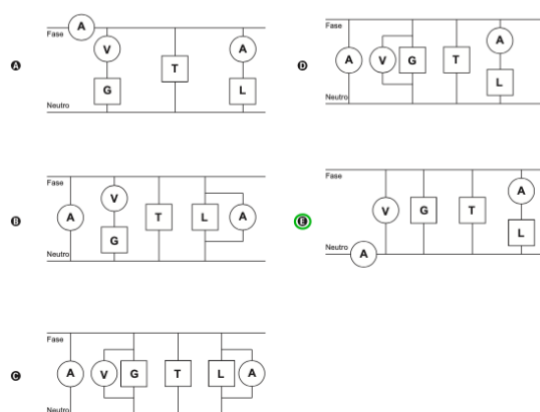
Q72-2013

QUESTÃO 72

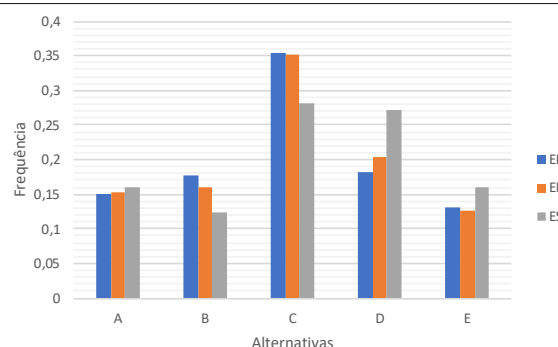
Um eletricitista analisa o diagrama de uma instalação elétrica residencial para planejar medições de tensão e corrente em uma cozinha. Nesse ambiente existem uma geladeira (G), uma tomada (T) e uma lâmpada (L), conforme a figura. O eletricitista deseja medir a tensão elétrica aplicada à geladeira, a corrente total e a corrente na lâmpada. Para isso, ele dispõe de um voltímetro (V) e dois amperímetros (A).



Para realizar essas medidas, o esquema da ligação desses instrumentos está representado em:



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base fornece uma situação problema em que apresenta uma instalação residencial e quer se medir a corrente elétrica total, a corrente elétrica em uma lâmpada e a tensão elétrica na geladeira. Para resolver o problema, o candidato deve saber como ligar o voltímetro e o amperímetro:

Voltímetros devem ser ligados em paralelo com o componente sobre o qual se deseja medir a tensão, pois assim ambos estarão submetidos à mesma diferença de potencial. Amperímetros devem ser ligados em série com o componente sobre o qual se quer medir a corrente elétrica, para que a mesma corrente flua por ambos. O voltímetro deve ser ligado em paralelo com a geladeira e, portanto, entre os terminais fase e neutro.

O amperímetro para medir a corrente total deve ser ligado em série no terminal fase ou no terminal neutro. Para medir a corrente na lâmpada deve ser ligado em série com ela.

A única alternativa que os três medidores estão ligados corretamente é a alternativa E.

Análise dos distratores:

Alternativa C: Principal distrator do item em todos os grupos. Percebe-se uma preferência dos grupos EF e EM. Nesta alternativa todos os voltmíetros e amperímetros estão conectados em paralelo com os equipamentos sobre os quais se deseja realizar as medições. Isso nos leva a concluir que, para os alunos, é intuitivo conectar os instrumentos em paralelo para medir qualquer propriedade do circuito. Trata-se de um distrator induzido por uma dificuldade comum na qual acredita-se que voltmíetros e amperímetros não afetam os circuitos ao qual estão conectados (MCDERMOTT; SHAFFER, 1992).

Alternativa D: Segundo distrator mais frequente da prova. Atraiu principalmente os candidatos do grupo ES. Nesta alternativa, dois medidores (um voltmímetro e um amperímetro) estão conectados corretamente, porém o amperímetro que mede corrente total não está. Nakamura (2020) sugere que os candidatos deste grupo estão treinados para resolver exercícios de circuito elétrico e, muitas vezes, resolvem de acordo com os macetes que aprendem sem compreender verdadeiramente o funcionamento dos aparelhos. “(...) a alta taxa de assinalamento dessa alternativa por esse grupo [ES] se deva ao macete recorrentemente ensinado em treinamentos para resolução de questões dessa natureza, o qual instrui que as conexões de voltmíetros e amperímetros devem ser distintas, uma em série e outra em paralelo.” (NAKAMURA, 2020, p. 109). Quando o enunciado pede a corrente total, a tendência do candidato é escolher uma alternativa em que o medidor está em contato tanto com a entrada do circuito, quanto com a saída. Isso acontece, pois o candidato acredita erroneamente que a corrente elétrica é consumida ao longo do circuito e ao ligar o medidor em série na entrada ou na saída ele não mediria a corrente total e sim a corrente de entrada ou de saída (DRIVER *et al.*, 2004; POZO; CRESPO, 2009)

Comentário:

Trata-se de um item que aborda a temática de circuitos elétricos e instalação residencial que apresenta três perguntas em seu enunciado. Para sua resolução é necessário o conhecimento de como ligar medidores elétrico, porém a forma que ele é apresentado pode confundir os candidatos. Em todas as alternativas, com exceção da alternativa B, pelo menos uma das ligações está correta, o que dificulta a análise, já que não é possível identificar se o aluno não compreende o conteúdo como um todo ou se ele tem parte do conteúdo assimilado. Trabalhos anteriores já apontam para a dificuldade que os alunos tem neste conteúdo específico da física, independente destas outras dificuldades apresentadas neste item (POZO; CRESPO, 2009, NAKAMURA, 2020; RINALDI, 2017).

Nakamura (2020) sugere que este item é adequado para a lógica de seleção de alunos, uma vez que alunos que passaram por treinos exaustivos de resolução de exercícios de medidores, mas não compreendem de fato como eles funcionam não conseguem resolver este item. A autora conclui que o item evidencia um problema recorrente no Ensino Médio de que os alunos, em geral, possuem alguma noção intuitiva de como utilizar um voltímetro, mas desconhecem a forma adequada de se utilizar um amperímetro.

A escolha pela alternativa correta pode ter sido prejudicada pela forma que o voltímetro é apresentado para medir a tensão na geladeira. Neste sentido, Nakamura (2020, p. 108) aponta que: “Construtivamente, esse circuito traz o voltímetro conectado em paralelo à fonte, de forma a medir a tensão total sobre o circuito, e não diretamente sobre a geladeira. Entretanto, como essa última também está submetida à tensão total, a geladeira e o voltímetro estão em paralelo entre si e a diferença de potencial medida é a mesma sob a qual a geladeira está sujeita.”

Rinaldi (2017, p. 35) sugere que “As opções B, C e D indicam o amperímetro que mede a corrente total no circuito em paralelo, e foram escolhidas por mais de 70% dos estudantes. Nessas três opções, há um curto entre a fase e o neutro do circuito, o que evidencia a falta de entendimento que um amperímetro ideal (resistência nula) causaria esse efeito e que os aparelhos não funcionariam nessa configuração.”

Além de olhar para os distratores principais Nakamura, Villar e Kleinke (2021) sugerem que a não escolha das alternativas A (errada) e E (certa) está associada a

concepções alternativas dos candidatos. Os autores destacam que “Esse padrão de resposta se deve, provavelmente, à conhecida concepção alternativa na qual os alunos assumem que a corrente é consumida ao longo do circuito. Assim, assumem que a corrente de entrada e saída não são equivalentes, de forma que em A e E o amperímetro estaria medindo somente a corrente de entrada e saída do circuito, respectivamente, e não a corrente total, como pede o enunciado.” (NAKAMURA *et al.*, 2021, p.6).

Silva e Martins (2014) classificam este item de acordo com a TBR como de conhecimento conceitual e de processo cognitivo “aplicar” e, apontam que, para sua resolução, não basta “lembrar” e “entender” os conceitos de física, mas é necessário aplicá-los em uma situação diferente das que aparecem nos exercícios presentes nos livros didáticos do Ensino Médio. Porém, não é necessária a pura aplicação de um modelo, mas a consciência de sua existência.

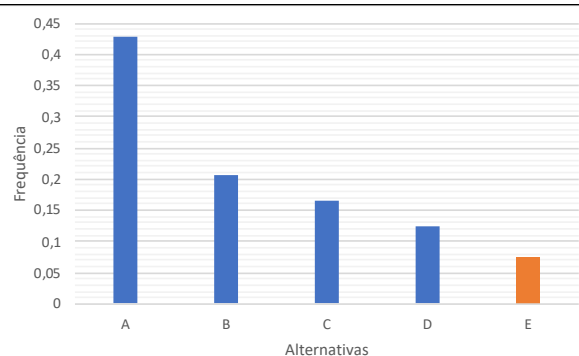
Q75 – 2013

QUESTÃO 75

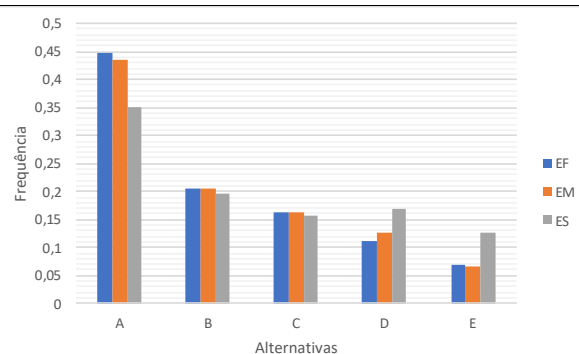
O chuveiro elétrico é um dispositivo capaz de transformar energia elétrica em energia térmica, o que possibilita a elevação da temperatura da água. Um chuveiro projetado para funcionar em 110 V pode ser adaptado para funcionar em 220 V, de modo a manter inalterada sua potência.

Uma das maneiras de fazer essa adaptação é trocar a resistência do chuveiro por outra, de mesmo material e com o(a)

- ☐ A dobro do comprimento do fio.
- ☐ B metade do comprimento do fio.
- ☐ C metade da área da seção reta do fio.
- ☐ D quádruplo da área da seção reta do fio.
- ☒ E quarta parte da área da seção reta do fio.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O enunciado propõe uma situação problema na qual pretende-se manter a potência de um chuveiro projetado para funcionar em 110V quando colocado em uma fonte de 220V. Da fórmula de potência temos que

$$P_{110} = P_{220} \rightarrow \frac{U_{110}^2}{R_{110}} = \frac{U_{220}^2}{R_{220}} \rightarrow \frac{110^2}{R_{110}} = \frac{220^2}{R_{220}} \rightarrow R_{220} = \left(\frac{220}{110}\right)^2 \cdot R_{110}$$

Portanto, temos que $R_{220} = 4 \cdot R_{110}$

Sabemos que, de acordo com a 2ª lei de Ohm, a resistência elétrica de um fio depende do material que ele é feito (ρ), do comprimento (l) e da área da seção transversal (A) e segue a relação $R = \rho \frac{l}{A}$

Portanto, para que a resistência $R_{220} = 4 \cdot R_{110}$ é necessário que o comprimento do fio quadruple ou a área da seção transversal reduza quatro vezes, já que o fio deve ser do mesmo material.

A alternativa E propõe a segunda hipótese de redução da área da seção transversal quatro vezes.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Alternativa mais escolhida em todos os grupos analisados, chegando a quase 45% do total de concluintes do ensino médio. Sugerimos que a escolha por esta alternativa esteja relacionada com um raciocínio lógico intuitivo de que se a tensão dobra (110V para 220V), para que se mantenha a mesma potência é necessário dobrar a resistência. Se o candidato lembra apenas da lei de Ohm em que tensão elétrica aparece diretamente proporcional à resistência elétrica ($U = R \cdot i$) ele pode ter associado que, se a tensão dobra, para manter a corrente elétrica constante é necessário dobrar a resistência, não se atentando para o fato de que a potência elétrica que deve se manter constante.

Nakamura (2020) sugere que o erro se deve ao candidato não considerar o termo quadrático na relação entre potência, tensão e resistência ($P = \frac{U}{i}$ ou invés de $P = \frac{U^2}{i}$), já que, segundo a autora, a ideia de que o aumento do comprimento do fio gere aumento linear de resistência elétrica é intuitivo.

Alternativa B: Segunda escolha entre os candidatos, mas acumula, junto com a alternativa A mais de 63% das escolhas (RINALDI, 2017). Neste caso, a alternativa

propõe uma relação inversa entre a resistência elétrica e a tensão. Se a tensão dobra, para se manter a potência é necessário reduzir a resistência pela metade.

Alternativa D: Não se trata de um distrator, mas chama a atenção que esta alternativa atraiu alguns candidatos do grupo ES. Esta alternativa sugere uma relação direta (e não inversa) entre área da seção transversal e resistência elétrica. Para escolha desta alternativa, o candidato conseguiu realizar a primeira etapa e encontrar a relação $R_{220} = 4 \cdot R_{110}$. Pelo imediatismo, quando o candidato encontra que a resistência é 4 vezes maior a tendência de optar pela alternativa que sugere proporcionalidade direta é considerável.

Nakamura (2020, p. 112) completa que: “Ele [o candidato] domina o uso das equações, mas parece operar com base apenas em fórmulas decoradas. Apesar de conhecer a relação quadrática não intuitiva, mas bastante treinada, de $P = \frac{U^2}{i}$, não recorda corretamente da posição dos termos em $R = \rho \frac{l}{A}$, a qual, apesar de intuitiva, é menos trabalhada em treinos para vestibulares por aparecer com menor frequência nas questões de circuitos.”. Este argumento reforça que o aluno treinado, muitas vezes executa tarefas sem compreender corretamente o significado físico dos termos das equações.

Comentário:

Trata-se de um item de natureza qualitativa e quantitativa, de resolução algébrica, com múltiplos passos para sua resolução, que se mostrou muito difícil para os alunos de todos os grupos analisados. Observa-se que a alternativa correta foi a menos escolhida em todos os grupos, com uma pequena vantagem em parte do grupo ES.

Além de multi-step, a questão necessita para sua resolução que o candidato lembre da 1ª e 2ª lei de Ohm ($U = R \cdot i$ e $R = \rho \frac{l}{A}$) e da fórmula da potência elétrica ($P = U \cdot i$). A preferência pelas alternativas A e B sugerem que os alunos se utilizam de fórmulas com um parcial conhecimento sobre as mesmas, que pode ser traduzido pelo conceito de forma simbólica (SHERIN, 2001).

Rinaldi (2017, p.38) aponta que “Os candidatos usam relações de proporcionalidade direta ou inversa (regra de três) ao desenvolver seu raciocínio em busca de uma alternativa.”.

Por fim, Nakamura (2020) faz uma crítica sobre a adequabilidade deste item num exame como o ENEM: “(...) questionamos a adequabilidade deste item tanto para selecionar, como para avaliar. (...) sem a memorização das equações o aluno não consegue resolver o item, mesmo possuindo conhecimento conceitual. Isso privilegia aqueles que tiveram acesso a treinamento para resolver itens dessa natureza, em geral os alunos de melhores condições socioeconômicas, indo na contramão do discurso sobre democratização do acesso ao Ensino Superior proclamado pelo ENEM.” (NAKAMURA, 2020, p. 112). Isso significa que, na tentativa de cumprir os objetivos propostos pelo ENEM, na nossa visão, contraditórios (avaliar e selecionar), alguns itens acabam, de maneira equivocada, fugindo da proposta, não cumprindo nenhum dos objetivos.

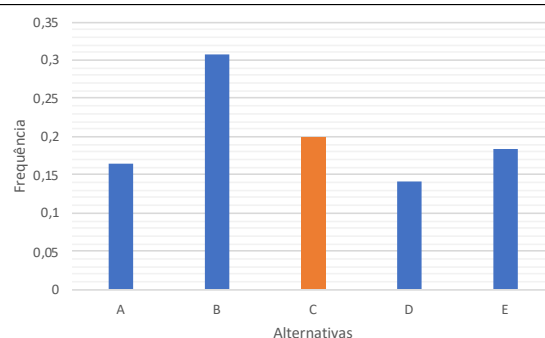
Q76 – 2013

QUESTÃO 76

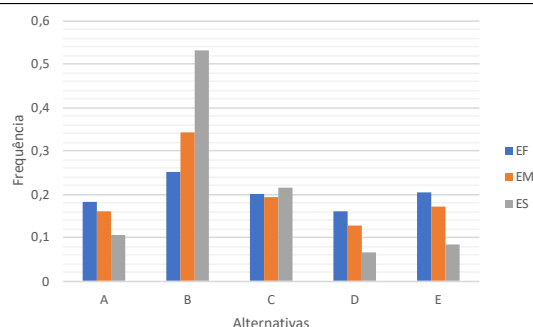
Uma pessoa necessita da força de atrito em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de atrito exercida pelo chão em seus pés.

Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de atrito mencionada no texto?

- ☐ A Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- ☐ B Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.
- ☒ C Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- ☐ D Horizontal e no mesmo sentido do movimento.
- ☐ E Vertical e sentido para cima.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Para que os pés de uma pessoa não deslizem no chão quando ela anda, é necessária uma força de atrito entre o pé e o chão. A força de atrito é uma força contrária a tendência dos corpos de deslizarem e, portanto, quando a pessoa anda,

ela empurra o solo para trás com uma força de atrito horizontal para trás. Pelo Princípio da Ação-Reação, o solo aplica nos pés da pessoa uma reação, para frente (no sentido do movimento), paralela ao solo.

Análise dos distratores:

Alternativa B: A opção mais escolhida por todos os grupos, com grande preferência pelo grupo ES, aponta para uma concepção alternativa que os alunos têm sobre a força de atrito. Nas aulas de blocos, muitas vezes, a força de atrito é apresentada como sendo contrária ao movimento do corpo. Neste sentido, esta concepção alternativa faz com que o candidato acredite que a força de atrito deveria ser paralela e contrária ao movimento da pessoa. A grande preferência do grupo ES mostra que estes candidatos estão mais treinados, mas ao mesmo tempo não refletem sobre os fenômenos físicos, apenas reproduzem os exercícios de fixação, que geralmente não apresentam situações semelhantes a proposta aqui. Esta concepção alternativa pode ser classificada como de origem escolar (POZO; CRESPO, 2009)

Alternativa E: Apesar de não se configurar como um distrator forte, chama a atenção pela escolha de mais de 20% dos candidatos do grupo EF. Há aqui uma possível confusão entre a força de atrito e a força normal, que pode estar associada à fórmula que relaciona força de atrito, com o coeficiente de atrito e a normal.

Comentário:

Trata-se de um item conceitual em que o candidato precisa compreender a importância da força de atrito no deslocamento de uma pessoa. Verifica-se a existência de concepções alternativas entre as alternativas do item que atraem principalmente os candidatos de maior classe socioeconômica.

No grupo EF, identificamos que não há uma preferência considerável em nenhuma das alternativas, o que sugere que este grupo não consegue compreender o que está sendo perguntado e não tem nenhuma concepção estabelecida (nem alternativa nem científica) para este assunto.

Este item apresenta uma característica interessante para o grupo ES. Enquanto para os grupos EF e EM o item está localizado na região B-B (respostas aleatórias) de Bao e Redish (2001), para o grupo ES ele está localizado na região B-M, caracterizada pela concentração de respostas em um modelo errado. Percebe-se

aqui a concepção alternativa de origem escolar relacionada ao treino e a forma como este conteúdo é apresentado na maioria livros didáticos (força de atrito se opõe ao sentido do movimento).

Rinaldi (2017) determinou a curva característica do item (CCI) de acordo com a TRI para os concluintes do ensino médio, obtendo uma inclinação negativa, o que significa que alunos de baixa aptidão tem mais chance de acertar este item do que alunos de alta aptidão, o que é uma aberração para o modelo.

Barroso *et al.* (2018) destacam que este não é um problema exclusivo no Brasil nem dos concluintes do ensino médio. Em seu trabalho os autores mostram que “(...) uma parcela significativa de estudantes no final do ensino médio ou no início de um curso universitário desenvolve uma concepção equivocada de que a força de atrito é, por definição, contrária ao movimento. Essa concepção parece ter origem em uma abordagem “negativa” adotada no processo de instrução e reforçada por materiais didáticos.” (BARROSO *et al.* 2018, p. 15)

Silveira (2014) aponta para um erro conceitual na elaboração da situação problema. Segundo o autor, o elaborador do item deveria explicitar que a pessoa está subindo a rampa com velocidade constante ou com aceleração para cima. Caso a pessoa esteja desacelerando, a força de atrito pode ter sentido contrário ao movimento (alternativa B). Não entendemos que este seja o motivo pela escolha da alternativa B, mas reforçamos aqui a necessidade de maior cuidado na elaboração e revisão dos itens, considerando o alcance e importância do exame.

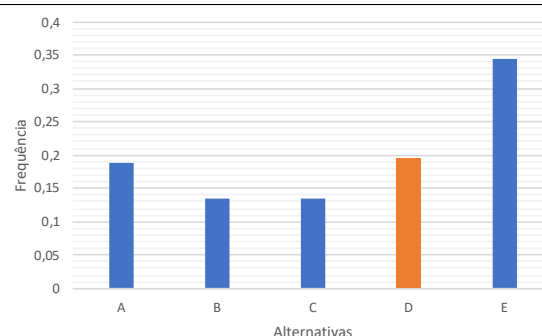
Q79 – 2013

QUESTÃO 79

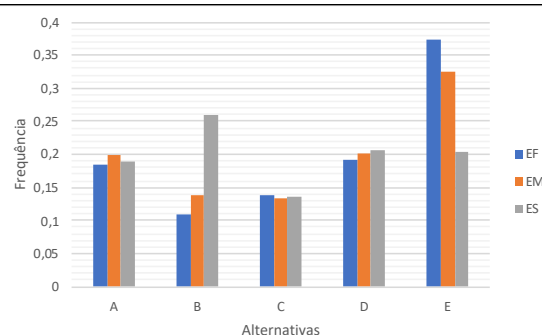
Um circuito em série é formado por uma pilha, uma lâmpada incandescente e uma chave interruptora. Ao se ligar a chave, a lâmpada acende quase instantaneamente, irradiando calor e luz. Popularmente, associa-se o fenômeno da irradiação de energia a um desgaste da corrente elétrica, ao atravessar o filamento da lâmpada, e à rapidez com que a lâmpada começa a brilhar. Essa explicação está em desacordo com o modelo clássico de corrente.

De acordo com o modelo mencionado, o fato de a lâmpada acender quase instantaneamente está relacionado à rapidez com que

- ☐ A o fluido elétrico se desloca no circuito.
- ☐ B as cargas negativas móveis atravessam o circuito.
- ☐ C a bateria libera cargas móveis para o filamento da lâmpada.
- ☒ D o campo elétrico se estabelece em todos os pontos do circuito.
- ☐ E as cargas positivas e negativas se chocam no filamento da lâmpada.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O enunciado descreve um circuito elétrico que, ao ser fechado em uma chave interruptora, acende uma lâmpada. Além disso, o texto trás uma concepção alternativa comum de que a corrente elétrica passa muito rapidamente pela lâmpada, é consumida quando e, por isso, a luz é irradiada. Ao dizer que esta explicação está errada, o enunciado questiona o que faz com que a lâmpada acenda quase que instantaneamente ao ligar o interruptor.

O fio condutor é formado de elétrons livres (ligação metálica). Estes elétrons, quando o circuito está aberto, se movimentam livremente sem direção preferencial. Quando se fecha a chave (fecha o circuito), surge um campo elétrico, quase que instantaneamente, ao longo de todo o fio, fazendo com que as cargas comecem a se deslocar (quase se instantaneamente) em uma direção preferencial, formando a corrente elétrica.

Nakamura (2020, p. 114) propõe uma analogia para explicar o fenômeno descrito na situação problema: “Para entender melhor esse fenômeno, podemos recorrer à analogia com uma mangueira de jardim. Antes de abrimos o registro, toda a

mangueira já está cheia d'água. Então, quando o registro é aberto, uma onda de pressão se move rapidamente dentro de toda a mangueira, fazendo com que comece a sair líquido de seu bico quase instantaneamente. Entretanto, a velocidade com que a água percorre a mangueira é bem menor.”

Análise dos distratores:

Alternativa E: preferência entre os concluintes do Ensino Médio e dos grupos EF e EM. A alternativa apresenta uma concepção alternativa bastante presente na literatura conhecida como “corrente elétrica em choque” ou “correntes concorrentes” (NAKAMURA, 2020). Esta escolha está associada a ideia errada (concepção alternativa) de que a corrente elétrica flui dos dois terminais da bateria para a lâmpada, sendo a luz emitida pela lâmpada resultado do choque entre as duas correntes elétricas (DRIVER *et al.*, 2004; POZO; CRESPO, 2009).

Gravina e Buchweitz (1994) identificaram que o modelo de “correntes em choque” que os alunos apresentam antes da educação formal não é resistente a mudanças conceituais como outras concepções alternativas. O aparecimento desta concepção entre concluintes do ensino médio de menor nível socioeconômico é preocupante, pois indica que este conteúdo não foi trabalhado ou foi muito mal trabalhado ao longo do ensino formal destes estudantes.

Alternativa B: Opção mais escolhida pelo grupo ES (maior nível socioeconômico). A sugestão de movimentação de cargas negativas se movimentando rapidamente está associada a duas crenças dos alunos: 1º que, de acordo com o modelo atômico, os átomos têm seus núcleos estáveis e os elétrons que podem se movimentar (cargas negativas) e 2º que a corrente elétrica se movimenta muito rapidamente num fio (na velocidade da luz). Fica evidente que os alunos que optam por esta alternativa (maior desempenho na prova) entendem corrente elétrica como movimento de cargas negativas móveis.

Alternativa A: Aparece quase na mesma frequência da alternativa correta e contém a ideia de que a corrente elétrica é um fluido (assim como a água em uma mangueira) que viaja muito rapidamente pelos fios (POZO; CRESPO, 2009)

Comentário:

Trata-se de um item qualitativo conceitual que não utiliza diagramas ou figuras de circuitos em seu texto-base. Este item apresenta concepções alternativas

distintas para os grupos distintos. Quanto maior a escolaridade dos pais (capital cultural institucionalizado) maior a chance de apresentar uma concepção alternativa de origem escolar e quanto menor a escolaridade dos pais, maior a chance de apresentar uma concepção alternativa de senso comum (social e sensorial).

Pozo e Crespo (2009) destacam que diversos são os modelos aceitos pelos estudantes que explicam o acender de uma lâmpada. Independente do modelo por trás de todos eles, existe uma teoria comum amplamente aceita pelos aprendizes: para que a lâmpada acenda é necessário transportar eletricidade da pilha para a lâmpada através de um fio (veículo de transporte). Esta eletricidade é compreendida pelos estudantes como algo com características materiais.

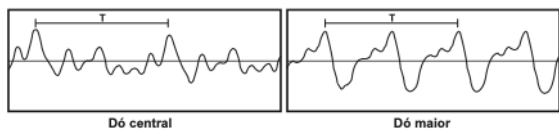
Nakamura (2020) mostra preocupação com o aparecimento da concepção alternativa “correntes em choque” em grande parte dos concluintes do Ensino Médio, dado que esta concepção alternativa em circuitos elétricos é comum em estudantes que nunca tiveram contato com conteúdos relacionados a circuitos elétricos, sendo uma das primeiras concepções alternativas a serem superadas no ensino de física elétrica.

Silva e Martins (2014) consideram que este item está classificado na dimensão do conhecimento efetivo e processo cognitivo “entender”. Neste nível da TBR, não basta o estudante lembrar de um determinado conceito ou definição. Ele deve ser capaz de estabelecer conexão entre um conteúdo básico e uma situação nova.

Q82-2013

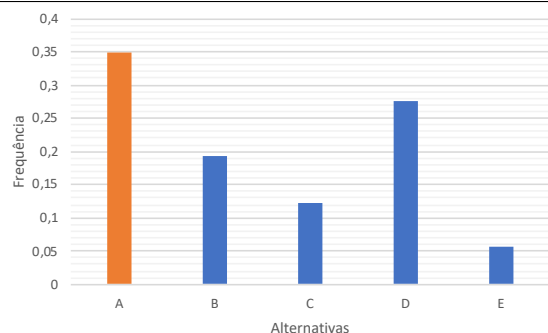
QUESTÃO 82

Em um piano, o Dó central e a próxima nota Dó (Dó maior) apresentam sons parecidos, mas não idênticos. É possível utilizar programas computacionais para expressar o formato dessas ondas sonoras em cada uma das situações como apresentado nas figuras, em que estão indicados intervalos de tempo idênticos (T).

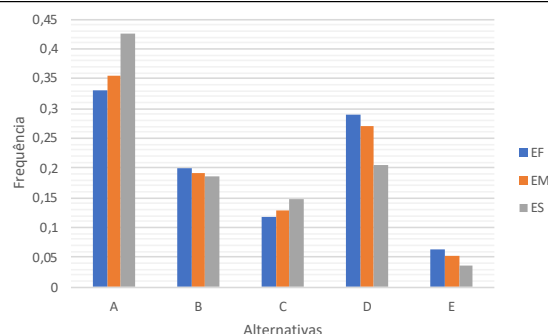


A razão entre as frequências do Dó central e do Dó maior é de:

- ☒ A $\frac{1}{2}$
- ☐ B 2
- ☐ C 1
- ☐ D $\frac{1}{4}$
- ☐ E 4



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item apresenta em seu texto-base uma situação problema em que o sinal recebido por um software nota Dó central e Dó maior (Dó uma oitava acima do central) de um piano são apresentadas na forma gráfica da intensidade em função do tempo. Pede-se a razão entre as frequências destas notas musicais.

Pelo gráfico, nota-se que para um período T , enquanto o sinal do Dó central tem apenas uma oscilação completa, o Dó maior (uma oitava acima do central) tem duas oscilações. Isso significa que o período do dó central é o dobro do período do dó maior.

Sabemos ainda que a frequência de uma onda é dada pelo inverso do seu período.

Com isso temos que se, $T_{\text{central}} = 2 \cdot T_{\text{maior}} \rightarrow \frac{1}{f_{\text{central}}} = \frac{2}{f_{\text{maior}}} \rightarrow \frac{f_{\text{central}}}{f_{\text{maior}}} = \frac{1}{2}$

Análise dos distratores:

Alternativa D: Distrator mais escolhido do item. O fator 4 aqui presente pode ser decorrente dos gráficos apresentados. Enquanto no gráfico do Dó central é possível

ver apenas uma oscilação completa, no gráfico do Dó “maior” é possível ver 4 oscilações completas, o que pode sugerir para o candidato que não entende o a relação entre período e frequência que, enquanto o Dó central oscila uma única vez, o Dó “maior” oscila 4 vezes e, portanto, tem a frequência 4 vezes maior. Daí a razão entre o Dó central e Dó “maior” ser de $\frac{1}{4}$.

Alternativa B: Segundo distrator mais assinalado. Pode estar associado a ideia de que se o período do Dó central é o dobro do Dó “central” $T_{central} = 2 \cdot T_{maior}$, então a frequência também é $f_{central} = 2 \cdot f_{maior}$. Na tentativa de “fugir” do formalismo matemático e manipulações algébricas Clement (1994) propõe que os alunos buscam formas intuitivas para resolução do problema. A busca por grandezas que variam na mesma proporção é comum entre aprendizes que não compreendem o fenômeno apresentado, como estratégia intuitiva.

Comentário:

Trata-se de um item quantitativo com pelo menos dois tipos de leitura necessários: texto e figura/gráfico. O conteúdo do item está relacionado com ondulatória, mais especificamente ondas sonoras e está contextualizado numa situação do dia a dia de quem tem conhecimentos musicais. É possível resolver o exercício sem fazer a leitura do gráfico se o candidato souber a relação entre uma nota e a nota uma oitava acima, mas para leitura dos gráficos é necessário o conhecimento de qualidades da onda como o timbre, por exemplo, no reconhecimento de uma oscilação completa e a partir daí, para sua resolução basta lembrar e aplicar a relação inversa entre frequência e período. Contudo, Silva e Martins (2014) apontam que neste item, não basta “lembrar” e “entender” os conceitos de física, mas é necessário aplicá-los em uma situação diferente das que aparecem nos exercícios presentes nos livros didáticos do Ensino Médio. Porém, não é necessária a pura aplicação de um modelo, mas a consciência de sua existência. Portanto, trata-se de um item classificado na TBR como de conhecimento conceitual e de processo cognitivo “aplicar”.

As duas alternativas mais assinaladas são aquelas que apresentam uma razão menor do que 1 como resposta. Isso indica que a maioria dos candidatos conseguem perceber pelos gráficos apresentados que a frequência do Dó “maior” é maior do que o dó central, seja pela figura, seja pelo conhecimento da relação entre

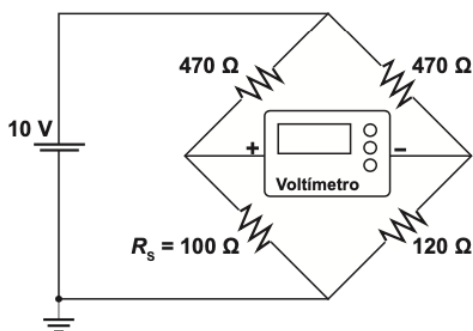
frequência e período.

Rinaldi (2017) chama a atenção para duas inconsistências na elaboração do item: “(...) a não especificação das grandezas utilizadas nos gráficos e a denominação confusão entre acordes e notas musicais.” (p. 48). O autor ressalta que dó maior é um acorde e não uma nota musical. O correto seria dó uma oitava acima.

Q83-2013

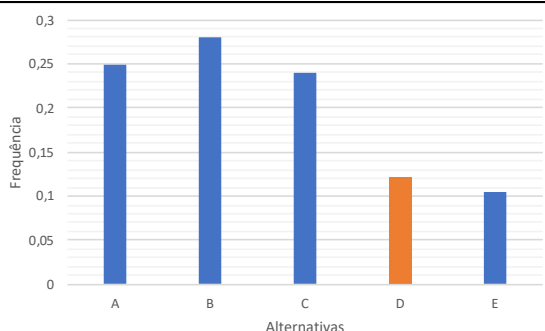
QUESTÃO 83

Medir temperatura é fundamental em muitas aplicações, e apresentar a leitura em mostradores digitais é bastante prático. O seu funcionamento é baseado na correspondência entre valores de temperatura e de diferença de potencial elétrico. Por exemplo, podemos usar o circuito elétrico apresentado, no qual o elemento sensor de temperatura ocupa um dos braços do circuito (R_s) e a dependência da resistência com a temperatura é conhecida.

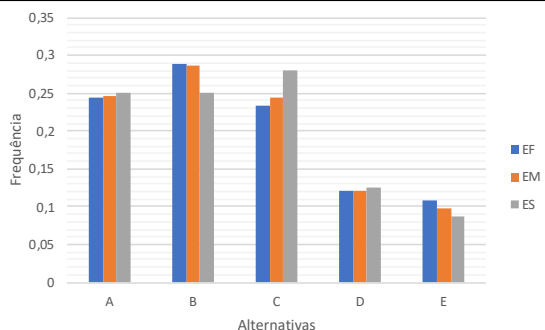


Para um valor de temperatura em que $R_s = 100 \Omega$, a leitura apresentada pelo voltímetro será de

- A + 6,2 V.
- B + 1,7 V.
- C + 0,3 V.
- D - 0,3 V.**
- E - 6,2 V.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base apresenta um dispositivo capaz de medir a temperatura a partir da tensão elétrica. Para resolução do item é necessário compreender o circuito e seus nós.

Sejam A, B, C e D nós do circuito.

O potencial no ponto C é $V_C = 0$. Considerando o voltímetro ideal e aplicando a lei de ohm $U= Ri$, temos:

No trecho ABC:

$$U_{ABC} = R_{ABC} \cdot i_1 \Rightarrow 10 = 570 \cdot i_1 \Rightarrow i_1 = \frac{1}{57} \text{ A.}$$

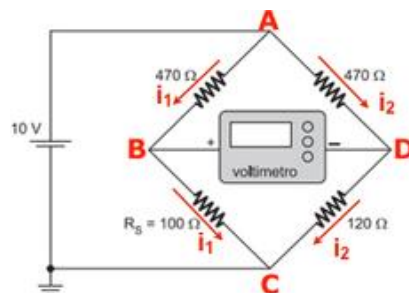
No trecho ADC:

$$U_{ADC} = R_{ADC} \cdot i_2 \Rightarrow 10 = 590 \cdot i_2 \Rightarrow i_2 = \frac{1}{59} \text{ A.}$$

Então, podemos determinar o potencial em B e D por:

$$V_B - V_C = R_{BC} \cdot i_1 \Rightarrow V_B = 100 \cdot \frac{1}{57} \Rightarrow V_B \approx 1,75 \text{ V}, V_D - V_C = R_{DC} \cdot i_2 \Rightarrow V_D = 120 \cdot \frac{1}{59} \Rightarrow V_D \approx 2,03 \text{ V.}$$

Como o terminal positivo do voltímetro está em B, a diferença de potencial que aparecerá no voltímetro será de $V_B - V_D = 1,75 - 2,03 \approx -0,3 \text{ V}$.



Análise dos distratores:

Alternativas A, B e C: Não encontramos um distrator específico entre as alternativas, mas observamos que as alternativas A, B e C são as que apresentam valores positivos, enquanto D e E apresentam valores negativos. Conseguimos identificar uma tendência dos alunos por escolher as alternativas com valores positivos, havendo uma distribuição de resposta quase aleatória entre as três.

Sobre esta hipótese, Rinaldi (2017, p.52) conclui que “os candidatos não entendem valores negativos para a tensão, evidenciando a falta de compreensão do conceito.”

Alternativa B: Existe uma pequena preferência por esta alternativa nos grupos EF e EM. Se o candidato conseguir determinar o potencial no ponto B da figura, chegará a 1,75V, o que pode explicar a escolha, já que em um item *multi-step*, quando em um passo intermediário o candidato encontra um valor presente entre as alternativas, a tendência é que ele o assinale, independente do seu significado físico.

Rinaldi (2017) sugere que esta alternativa também pode ser escolhida pela manipulação algébrica direta com os valores do texto-base, com erro na ordem de

grandeza: $10 = 570.i_1 \rightarrow i_1 = 0,017A$ e $10 = 590.i_2 \rightarrow i_2 = 0,017A$.

Alternativa C: Escolha preferida do grupo de maior nível socioeconômico (ES). Os alunos deste grupo, geralmente mais treinados, se conseguirem resolver os múltiplos passos do item, mas não perceberem a polaridade do medidor, assinalam esta alternativa. Trata-se, portanto, de uma “pegadinha”, o que o próprio material do INEP sugere que não apareça, já que o candidato que chega até este ponto já poderia ter o seu conhecimento sobre o assunto confirmado.

Comentário:

O conteúdo abordado neste item não está diretamente relacionado aos conteúdos lecionados no ensino médio, aproximando-se da física experimental de ensino superior. Nesse sentido, supomos que o candidato escolha uma alternativa a partir de raciocínios ligados nem à concepção científica, nem a concepções alternativas (daí a distribuição das respostas quase aleatória entre as alternativas com valor positivo).

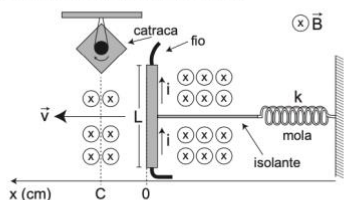
Rinaldi (2017) ressalta que este é mais um item cuja curva característica do item da TRI apresenta inclinação negativa, isto é, discriminação negativa, o que indica que os alunos de baixa aptidão tem mais chances de acertar essa questão que alunos de maior aptidão, o que é absurdo de acordo com o modelo adotado. Além disso, comenta que “O texto do item é confuso e não é claro quanto à pergunta; questões com mais de um passo e muita manipulação matemática são consideradas difíceis.” (Rinaldi, 2017, p.52)

Sobre o item, Nakamura (2020, p.149) elenca uma série de problemas relacionados a este item: “Conteúdo não adequado ao currículo escolar; Contexto não adequado ao aluno de ensino médio; Operações matemáticas com números não adaptados às condições da prova; Resolução multi-step (exige uma sequência de várias operações lógicas ou matemáticas)”

Q85-2013

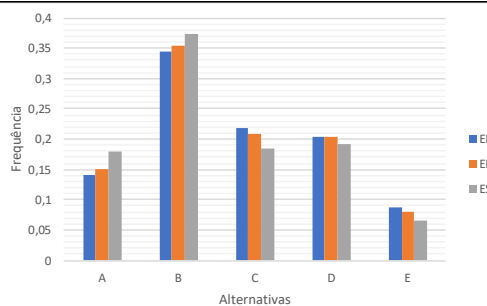
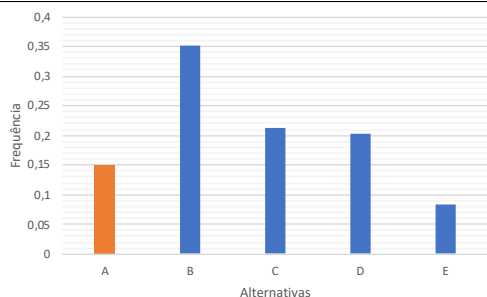
QUESTÃO 85

Desenvolve-se um dispositivo para abrir automaticamente uma porta no qual um botão, quando acionado, faz com que uma corrente elétrica $i = 6\text{ A}$ percorra uma barra condutora de comprimento $L = 5\text{ cm}$, cujo ponto médio está preso a uma mola de constante elástica $k = 5 \times 10^{-2}\text{ N/cm}$. O sistema mola-condutor está imerso em um campo magnético uniforme perpendicular ao plano. Quando acionado o botão, a barra sairá da posição de equilíbrio a uma velocidade média de 5 m/s e atingirá a catraca em 6 milissegundos , abrindo a porta.



A intensidade do campo magnético, para que o dispositivo funcione corretamente, é de

- ☒ A $5 \times 10^{-1}\text{ T}$.
☐ B $5 \times 10^{-2}\text{ T}$.
☐ C $5 \times 10^1\text{ T}$.
☐ D $2 \times 10^{-2}\text{ T}$.
☐ E $2 \times 10^0\text{ T}$.



Resolução:

O texto-base apresenta um esquema do circuito que faz funcionar um dispositivo de abrir uma porta automaticamente. Além de apresentar uma figura complexa, o texto-base não apresenta todas as informações necessárias para a resolução, sendo necessário supor uma série de passagens.

Quando o botão é acionado, a corrente elétrica passa pela barra metálica gerando uma força magnética perpendicular à barra e ao campo magnético (horizontal para a esquerda). Além da força magnética, age sobre a barra, a partir do momento que ela começa a se movimentar, uma força elástica, portanto, na direção do movimento, agem na barra duas forças: a magnética F_{mag} e a elástica F_{el} .

Podemos calcular a força magnética, em função do campo magnético, a partir da intensidade corrente elétrica i , intensidade do campo magnético (B), comprimento da barra condutora (l) e ângulo entre a direção da corrente elétrica e a direção do campo magnético (θ):

$$F_{mag} = B \cdot i \cdot l \cdot \sin\theta \rightarrow F_{mag} = B \cdot 6 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \rightarrow F_{mag} = 0,3B$$

Podemos também determinar a força elástica em função da deformação da mola no ponto C.

$$F_{el} = -k \cdot x = -5 \cdot C$$

Supondo que a velocidade média ($v_m = 5 \frac{m}{s}$), refere-se ao trecho OC (que não está explícito no texto-base), podemos calcular a posição C a partir do deslocamento no intervalo de tempo dado:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow \Delta s = v_m \cdot \Delta t = 5 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \rightarrow C = 3 \cdot 10^{-2} m$$

Para obter a resposta esperada, o exercício pressupõe que a força resultante no ponto C seja nula (o que também não é especificado no enunciado) e, portanto,

$$F_R = F_{mag} - F_{el} = 0 \rightarrow 0,3 \cdot B - 5 \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 0 \rightarrow B = 5 \cdot 10^{-1} T$$

Apresentaremos a seguir a solução apresentada por Rinaldi (2017, p. 56) que utiliza os dados fornecidos no problema e supõe a força resultante nula na metade do percurso para que a chave não faça o movimento de ida e volta, o que resulta em uma solução que não apresenta alternativa.

Para que o dispositivo funcione corretamente, é necessário que a barra atinja a catraca no ponto de sua trajetória para o qual sua velocidade é nula, assim acionando o mecanismo uma única vez; caso contrário o mecanismo seria acionado em dois momentos, o de ida e o de volta. Para que isso ocorra é necessário que o trabalho realizado pela força magnética seja igual em módulo ao trabalho realizado pela força elástica de forma que no ponto de contato a variação da energia cinética seja nula; usando os dados relacionados,

o Corrente elétrica: $i = 6 A$;

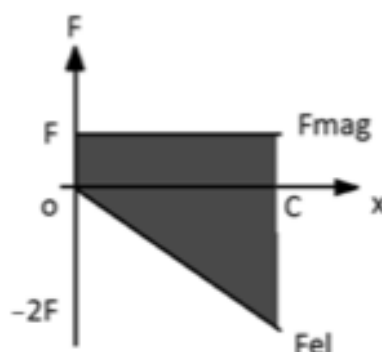
o Comprimento do fio: $L = 5 cm$;

o Velocidade média: $V = 5 m/s$;

o Intervalo de tempo até a barra atingir a catraca: $\Delta T = 6 \cdot 10^{-3} s$; o Constante elástica da mola: $K = 5 \cdot 10^{-2} N/cm$

pode-se afirmar que as forças elástica e magnética se comportam como no gráfico $F \times d$ a seguir:

Gráfico 15: Força em função do deslocamento.



Fonte: Rinaldi (2017)

Usando $V = \Delta x \Delta T$ obtém-se o comprimento a ser percorrido pela barra até atingir a catraca: $\Delta x = 5 \cdot 6 \cdot 10^{-3} m = 30 \cdot 10^{-3} m = 3 cm$.

Para que a barra chegue ao ponto de contato com velocidade nula, é necessário que a força magnética seja igual à força elástica no ponto médio do deslocamento; caso isso não ocorra, ela permaneceria em movimento para a esquerda mesmo após acionar o dispositivo, gerando um funcionamento incorreto. Logo o ponto em que a $F_{mag} = F_{elast}$ será no ponto $x = \frac{\Delta x}{2} = 1,5 cm$.

Como os vetores indução magnética e velocidade das cargas em movimento pelo fio são perpendiculares entre si ($\theta = 90^\circ$ e $\sin \theta = 1$) tem-se em módulo:

$$B \cdot i \cdot L \cdot \sin \theta = k \cdot x$$

$$B = (k \cdot x) / (i \cdot L \cdot \sin \theta) = (5 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5) / (6 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 1) T$$

$$B = 0,25 T$$

Não estamos considerando a FEM induzida na barra em seu movimento no campo magnético, que alteraria o valor da corrente; e estamos admitindo que o trabalho da força magnética foi constante em todo o percurso de 0 a 30 mm.

Análise dos distratores:

Entendemos que pelo grau de dificuldade que o item apresenta a resposta dos alunos é dada ao acaso, sendo que no máximo eles buscam informações textuais

que possam sugerir alguma alternativa.

Alternativa B: Alternativa mais escolhida em todos os grupos, apresenta valor numérico igual a constante elástica da mola. Na incapacidade de compreender o que é pedido, os candidatos buscam no texto, figura ou gráfico alguma informação que possa aparecer entre as alternativas e assinala por falta de recursos.

Comentário:

O item é contextualizado em uma situação técnica, próxima de especialistas e não apresenta todos os dados necessários para sua resolução completa, sendo necessárias uma série de suposições. Rinaldi (2017) e Silveira (2014) reforçam que com o texto-base do item não existem alternativas corretas, sendo virtualmente infinitas as possibilidades de respostas possíveis.

Rinaldi (2017, p. 56) destaca que:

“A partir da consulta aos objetos de conhecimento da Matriz de Referência, verifica-se que o item apresenta um nível de dificuldade incomum. Para resolvê-lo, é necessário:

- o Conhecimento da relação entre trabalho e energia
- o Conhecimento de velocidade média
- o Conhecimento da força elástica que atua sobre a barra
- o Conhecimento da força magnética que atua sobre condutores retilíneos
- o Conversão de unidades
- o Desenvolvimento algébrico”

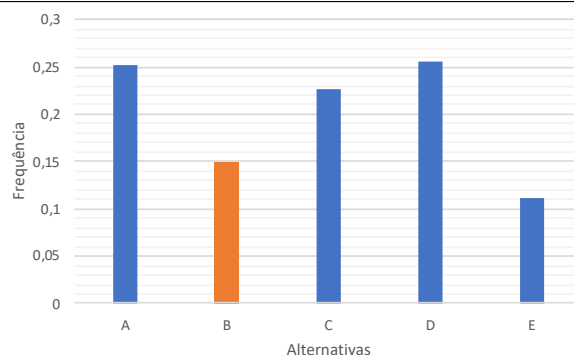
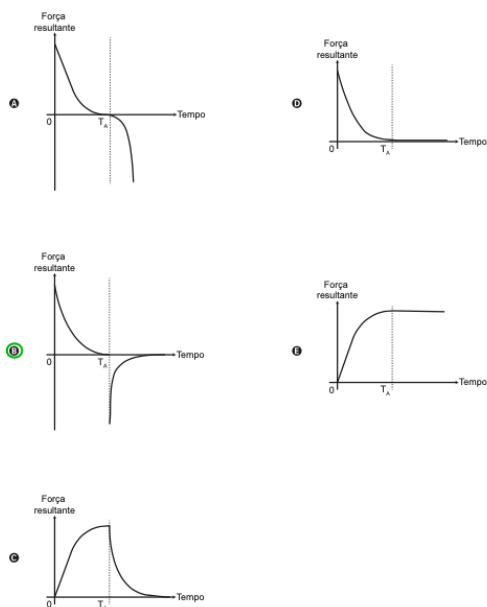
De acordo Silva e Martins (2014) este item, juntamente com o item Q77-2012, estão classificados no nível taxonômico mais elevado possível para um item de múltipla escolha (Dimensão do conhecimento procedural x dimensão do processo cognitivo “analisar”). Neste nível taxonômico o candidato deve se capaz de dividir a informação fornecida em partes relevantes e irrelevantes e entender a inter-relação existente entre as partes, utilizando algoritmos e técnicas. Villar *et al.* (2021) mostram que estar classificado no nível taxonômico mais profundo de acordo com a TBR não implica em menor taxa de acerto. Por ser uma questão de extrema complexidade, onde os candidatos não conseguem desenvolver nenhum tipo de raciocínio, o índice de acerto é próximo do aleatório, ou seja, maior do que algumas questões que apresentam distratores mais fortes, como é o caso do item Q55-2012.

Q87 – 2013

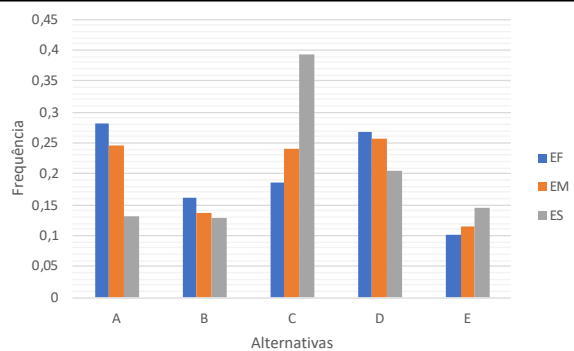
QUESTÃO 87

Em um dia sem vento, ao saltar de um avião, um paraquedista cai verticalmente até atingir a velocidade limite. No instante em que o paraquedas é aberto (instante T_A), ocorre a diminuição de sua velocidade de queda. Algum tempo após a abertura do paraquedas, ele passa a ter velocidade de queda constante, que possibilita sua aterrissagem em segurança.

Que gráfico representa a força resultante sobre o paraquedista, durante o seu movimento de queda?



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item aborda a situação problema de um paraquedista que salta do repouso, ganha velocidade até atingir a velocidade limite e abre o paraquedas freando bruscamente a queda. Apesar de o texto-base não deixar claro a orientação da trajetória, pressupõe-se que o referencial adotado é vertical para baixo positivo com a aceleração da gravidade é positiva. No início da queda, quando o paraquedista está em repouso, a única força atuante sobre ele é o peso. Conforme acelera, a força de resistência do ar, que é dependente da velocidade, aumenta até se igualar com o peso. Neste momento, a força resultante se anula, e é atingida a velocidade limite. No instante (T_A) em que o paraquedas é aberto ocorre um aumento da superfície de contato entre o paraquedista e o ar e a força de resistência do ar aumenta abruptamente, ficando mais intensa que o peso, invertendo o sentido da força resultante e o paraquedista passa a frear. O movimento passa a ser retardado até a nova resistência do ar se igualar novamente com o peso e o paraquedista atinge uma nova velocidade limite, quando a força resultante volta a ser nula.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Escolhida na mesma frequência que a alternativa D é preferência do grupo EF. Nesta alternativa, o gráfico parece representar uma foto do movimento do paraquedista durante a queda. Clement (1985) descreve em seu trabalho que os alunos menos preparados costumam interpretar gráficos como imagens do movimento dos corpos, desconsiderando os eixos do gráfico e atentando apenas para a forma da curva.

Alternativa D: Escolhida na mesma frequência da alternativa A, é a preferência do grupo EM. Sugerimos que o candidato pode interpretar o texto de forma a entender que o paraquedas é o responsável pela diminuição da velocidade até atingir a velocidade constante e não divide o movimento em duas partes. Neste caso, o candidato ignora a existência da força de resistência do ar antes de abertura do paraquedas e ignota também o instante T_A do texto-base.

Alternativa C: Preferência do grupo ES. Esta alternativa representa bem a velocidade em função do tempo e não a força em função do tempo. Um aluno mais treinado pode assinalar esta alternativa se não perceber o que cada eixo do gráfico está representando.

Comentário:

O item descreve uma queda de um paraquedista e pressupõe que os candidatos saibam da relação entre resistência do ar e velocidade de queda. Este tópico é dado muitas vezes apenas como curiosidade ou muitas vezes não é trabalhado na educação básica. Barroso *et al.* (2018) entende que este item apresenta diferentes concepções alternativas em mecânica e pode ser utilizado para aplicá-las. Complementamos que a concepção alternativa depende do nível socioeconômico do candidato. Para cada um dos grupos, uma concepção diferente prevaleceu.

Três alternativas (A, B e D) apresentam a primeira parte do gráfico iguais. Desta forma, qualquer candidato que escolheu uma destas alternativas pode ter compreendido corretamente a primeira parte do exercício.

Na análise do item, buscando as possíveis dificuldades dos candidatos que possam explicar o baixo índice de acerto, Rinaldi (2017, p. 60) ressalta que “Não é fácil para os candidatos perceberem que a resultante das forças inicialmente apresenta um valor elevado (para baixo) e diminui até zero; e que, conforme consta no texto, passa

a outro valor elevado e negativo (para cima), a partir do qual o corpo inicia uma redução na taxa de aceleração até que a força resultante decaia até zero novamente.” E completa: “Os candidatos não percebem uma distinção clara entre a força resultante que age sobre um corpo e a velocidade do mesmo, ou seja, a força (ou a aceleração) é confundida com o movimento em si.” (p. 60).

Este item pode ser classificado na TBR como sendo de conhecimento conceitual na dimensão “analisar” do processo cognitivo, o que significa que para sua resolução o candidato deve dividir a informação em partes relevantes e irrelevantes e entender a inter-relação existente entre as partes de elementos básicos em um contexto mais elaborado (SILVA; MARTINS, 2014)

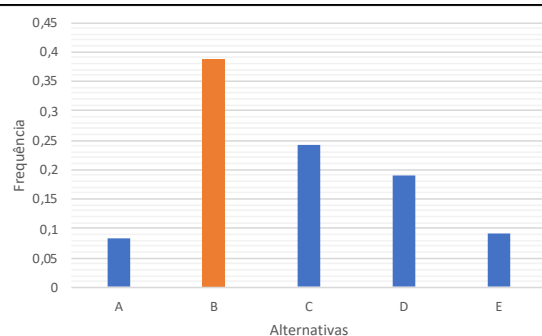
Q89 – 2013

QUESTÃO 89

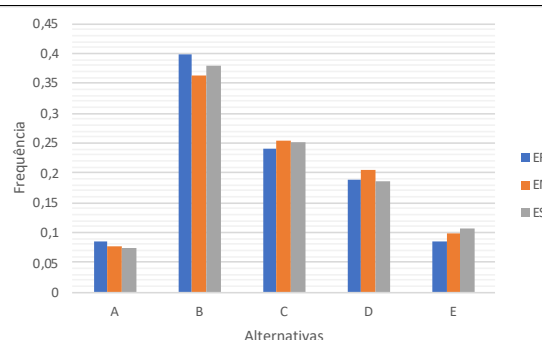
Aquecedores solares usados em residências têm o objetivo de elevar a temperatura da água até 70 °C. No entanto, a temperatura ideal da água para um banho é de 30 °C. Por isso, deve-se misturar a água aquecida com a água à temperatura ambiente de um outro reservatório, que se encontra a 25 °C.

Qual a razão entre a massa de água quente e a massa de água fria na mistura para um banho à temperatura ideal?

- ☐ A 0,111.
- ☒ B 0,125.
- ☐ C 0,357.
- ☐ D 0,428.
- ☐ E 0,833.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se de uma situação problema contextualizada numa situação próxima do dia a dia dos candidatos: aquecimento da água do banho. Temos aqui uma troca simples de calor. O texto-base não menciona, mas considerando o sistema termicamente isolado, temos:

$$Q_{quente} + Q_{fria} = 0$$

$$m_{quente} \cdot c_{\text{água}} \cdot (\theta_{\text{equilíbrio}} - \theta_{quente}) + m_{fria} \cdot c_{\text{água}} \cdot (\theta_{\text{equilíbrio}} - \theta_{fria}) = 0$$

Substituindo os valores fornecidos no enunciado e podemos cortar o calor específico da água:

$$\frac{m_{quente}}{m_{fria}} = -\frac{30 - 25}{30 - 70} = \frac{5}{40} = \frac{1}{8} = 0,125$$

Análise dos distratores:

Alternativa C: Atraiu de forma semelhante todos os grupos de candidatos. Se o candidato ignora a temperatura de equilíbrio e faz as contas apenas considerando as temperaturas iniciais da água quente e fria ele chega neste resultado ($\frac{m_{quente}}{m_{fria}} = \frac{25}{70} = 0,357$). Outro raciocínio possível é o candidato acredita que exista uma relação inversa entre a massa de água fria e quente e as suas temperaturas iniciais, ou seja, são grandezas inversamente proporcionais. Se o candidato dividir a temperatura da água fria pela temperatura da água quente ele chega na razão entre as massas.

Alternativa D: A manipulação algébrica dos números fornecidos no texto-base sem nenhum significado físico também leva ao valor numérico encontrado nesta alternativa. Se o candidato dividir a temperatura de equilíbrio pela temperatura da água quente ele chega no valor da alternativa D ($\frac{30}{70} = 0,428$).

Comentário:

Este item é mais um item da prova de 2013 que apresenta a curva característica do item (TRI) com inclinação negativa, o que indica que a chance do aluno com menor proficiência acertar é maior do que a chance do aluno com alta proficiência (RINALDI, 2017). Este resultado também pode ser observado no gráfico das frequências dos grupos EF, EM e ES em que o grupo EF é o que mais escolheu a alternativa correta.

Este resultado pode ser explicado já que a manipulação algébrica dos números presentes no enunciado, assim como podem levar a uma alternativa errada, também podem levar ao valor esperado da alternativa certa, se os alunos simplesmente calcularem a razão entre as diferenças de temperatura inicial e final ($\frac{\Delta\theta_{fria}}{\Delta\theta_{quente}} = \frac{25-30}{70-30} = 0,125$). Este fato explica parte da escolha dos candidatos de menor proficiência nesta alternativa, o que está de acordo com a sugestão de

Rinaldi (2017).

Silva e Martins (2014) entendem que neste item, não basta o candidato “lembrar” ou “entender” os conceitos de física, mas é necessário aplicá-los em uma situação diferente das que aparecem nos exercícios presentes nos livros didáticos do Ensino Médio, utilizando algoritmos e procedimentos. Portanto, trata-se de um item classificado na TBR como de conhecimento procedural e de processo cognitivo “aplicar”.

2014

Q46 -2014

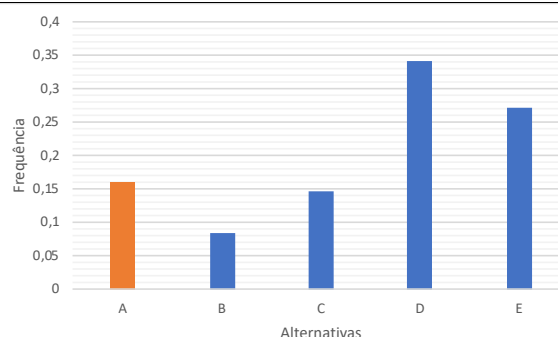
QUESTÃO 46

Christiaan Huygens, em 1656, criou o relógio de pêndulo. Nesse dispositivo, a pontualidade baseia-se na regularidade das pequenas oscilações do pêndulo. Para manter a precisão desse relógio, diversos problemas foram contornados. Por exemplo, a haste passou por ajustes até que, no início do século XX, houve uma inovação, que foi sua fabricação usando uma liga metálica que se comporta regularmente em um largo intervalo de temperaturas.

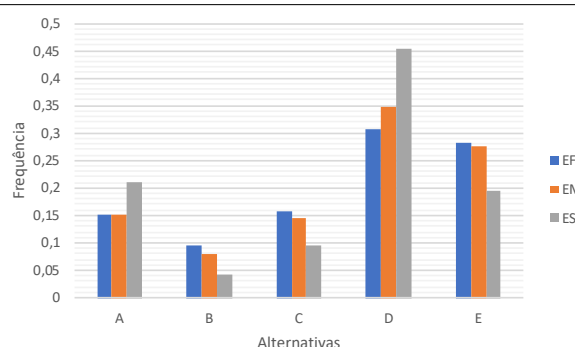
YODER, J. G. *Unrolling Time: Christiaan Huygens and the mathematization of nature*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004 (adaptado).

Desprezando a presença de forças dissipativas e considerando a aceleração da gravidade constante, para que esse tipo de relógio realize corretamente a contagem do tempo, é necessário que o(a)

- ☒ A comprimento da haste seja mantido constante.
- ☐ B massa do corpo suspenso pela haste seja pequena.
- ☐ C material da haste possua alta condutividade térmica.
- ☐ D amplitude da oscilação seja constante a qualquer temperatura.
- ☐ E energia potencial gravitacional do corpo suspenso se mantenha constante.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base descreve o relógio de pêndulo que precisou passar por diversas melhorias ao longo do tempo e exemplifica a troca do material que é feita a haste. Segundo o texto, a haste passou a ser feita de uma liga metálica que se comporta “regularmente em um largo intervalo de temperaturas”.

Sabemos que os materiais, quando submetidos a aumento de temperatura tendem a expandir e quando submetidos a temperaturas baixas tentem a contrair. Sabemos ainda que, para pequenas oscilações, o período de oscilação T de um pêndulo simples depende exclusivamente do comprimento L da haste e da aceleração da gravidade g :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Para que o período não se altere, o comprimento da haste e a gravidade não podem se alterar. Como intensidade do campo gravitacional depende da temperatura,

comprimento L da haste deve ser mantido constante.

Análise dos distratores:

Alternativa D: Alternativa mais assinalada em todos os grupos, com grande preferência dos candidatos do grupo ES. Ao escolher essa alternativa, o candidato pode ter feito uma associação entre as palavras e conceitos que aparecem no enunciado e no texto da resposta. No enunciado aparece “(...) se comporta regularmente em um largo intervalo de temperaturas.” E esta alternativa faz referência a amplitude em diferentes temperaturas. Trata-se, portanto, de interpretação direta do texto e desconhecimento do fenômeno físico analisado.

Spazziani (2019) completa: “[O candidato] percebe que no enunciado é citada a pontualidade dos relógios de pêndulo é baseada na regularidade de pequenas oscilações do mesmo, e que uma inovação que deixou esses mecanismos mais precisos foi uma liga que resiste melhor aos efeitos de temperatura. O candidato juntou as palavras “oscilação”, “constante” e “temperatura”, fazendo uma associação que a condição para que o relógio de pêndulo realize corretamente a contagem de tempo é a sua invariância a fatores relacionados à temperatura.” (p. 157).

Alternativa E: Atrai principalmente alunos dos grupos EF e EM. Como o enunciado fala que não existem forças dissipativas, os candidatos podem ter associado a conservação de energia mecânica, não atentando que a alternativa faz referência apenas a conservação de energia potencial. Percebe-se menos incidência dos candidatos do grupo ES, que pode estar associado ao fato que estes candidatos sabem que para que um pêndulo oscile, é necessária conversão de energia potencial gravitacional em energia cinética e vice e versa.

Comentário:

Percebe-se que, enquanto para os grupos EF e EM existem dois distratores equilibrados (D e E), no grupo ES a alternativa D aparece com maior frequência. O movimento harmônico simples (MHS) é um tópico ignorado por grande parte dos currículos escolares, devido a pouca incidência nos vestibulares e sua alta complexidade. O tópico relacionado a pêndulo simples, quando trabalhado, é trabalhado dentro da mecânica, mas acaba sendo pouco trabalhado no ensino médio. O desconhecimento da relação entre período de oscilação e comprimento

da haste faz com quem os candidatos busquem alguma lógica a partir dos dados fornecidos no enunciado, o que explica a atração para os distratores deste item. Spazziani (2019) reforça que “(...) por se tratar de um tópico pouco abordado no ensino médio, mesmo os alunos de classes mais altas, mais treinados (...) procuram por uma resposta nas alternativas que apresentem associações de palavras e conceitos que eles julguem corretos, utilizando-se de um ‘truque’ na escolha da resposta.” (p. 158). Porém, percebe-se que uma pequena parcela do grupo ES reconhece a relação entre período de oscilação e comprimento da haste.

Q50 – 2014

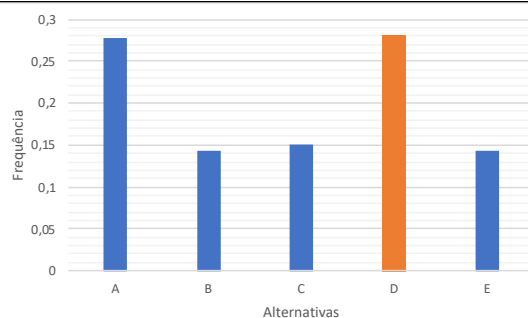
QUESTÃO 50

É comum aos fotógrafos tirar fotos coloridas em ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes, que contêm uma forte composição de luz verde. A consequência desse fato na fotografia é que todos os objetos claros, principalmente os brancos, aparecerão esverdeados. Para equilibrar as cores, deve-se usar um filtro adequado para diminuir a intensidade da luz verde que chega aos sensores da câmera fotográfica. Na escolha desse filtro, utiliza-se o conhecimento da composição das cores-luz primárias: vermelho, verde e azul; e das cores-luz secundárias: amarelo = vermelho + verde, ciano = verde + azul e magenta = vermelho + azul.

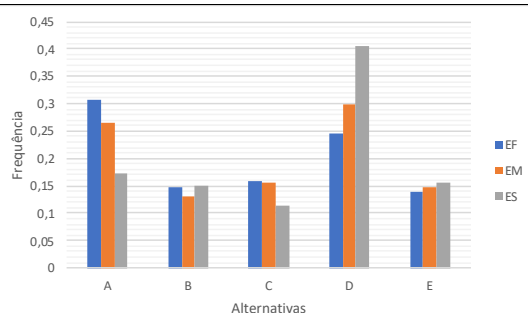
Disponível em: <http://nautilus.fis.uc.pt>. Acesso em: 20 maio 2014 (adaptado).

Na situação descrita, qual deve ser o filtro utilizado para que a fotografia apresente as cores naturais dos objetos?

- ☐ A Ciano.
- ☐ B Verde.
- ☐ C Amarelo.
- ☒ D Magenta.
- ☐ E Vermelho.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item propõe uma situação problema na qual um fotógrafo deseja diminuir a intensidade de luz verde que chega no sensor, pois suas fotos estão “esverdeadas”. Filtros são materiais que permitem a passagem apenas da luz da cor da qual eles são feitos.

Para diminuir a intensidade da luz verde na fotografia, deve-se usar um filtro que não permita a passagem da cor verde, mas permita a passagem das outras cores

primárias: vermelho e azul.

O texto-base apresenta o nome das combinações das cores primárias, sendo que o filtro que tem as cores vermelha + azul é o de coloração magenta.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Principal escolha do grupo EF e segunda opção do grupo EM. Este distrator pode ter atraído estes candidatos, pois a cor ciano é composta pelas cores primárias verde + azul na sua composição e o termo “esverdeado” pode remeter o aluno a coloração verde azulada. Os alunos que não entendem a função do filtro de permitir a passagem de determinada luz, escolhem um filtro que contenha a cor para que ele impeça essa luz de passar, ou seja, “filtrar” esta cor.

Além disso, se o candidato reconhece e sabe identificar a cor ciano ele pode ter escolhido esta alternativa por ser a cor, dentre as demais alternativas, que mais parece com a cor verde.

Comentário:

O item tenta trazer uma contextualização próxima dos candidatos, uma vez que faz referência a fotografia, prática bastante presente no dia a dia das pessoas principalmente depois da popularização dos smartphones e das redes sociais. Porém, a fotografia profissional, com uso de filtros não é algo cotidiano e sim de poucos especialistas.

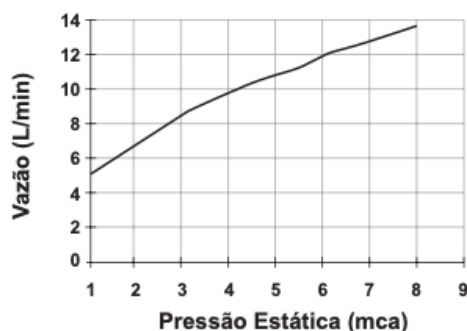
O termo filtro verde, pode transmitir a ideia de que filtre (bloqueie) a luz na cor verde e, ou seja, não permita a passagem da luz verde.

Percebe-se uma vantagem associada ao capital cultural institucionalizado (escolaridade dos pais), que faz com que o grupo ES assinale a alternativa correta com uma frequência 15 pontos percentuais maior do que o grupo EF. A confusão de termos (filtro/bloqueio ou esverdeado/ciano) está presente principalmente no grupo EF.

Q55-2014

QUESTÃO 55

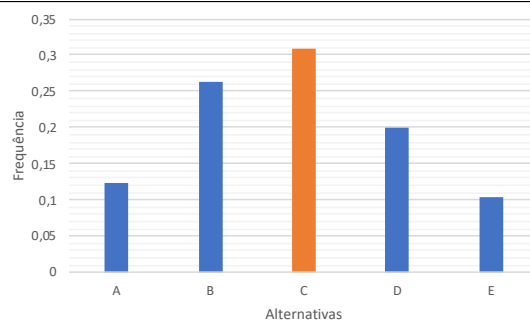
Uma pessoa, lendo o manual de uma ducha que acabou de adquirir para a sua casa, observa o gráfico, que relaciona a vazão na ducha com a pressão, medida em metros de coluna de água (mca).



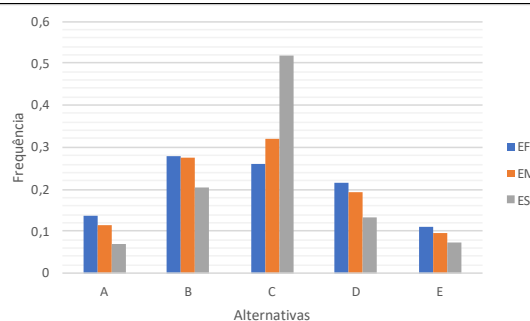
Nessa casa residem quatro pessoas. Cada uma delas toma um banho por dia, com duração média de 8 minutos, permanecendo o registro aberto com vazão máxima durante esse tempo. A ducha é instalada em um ponto seis metros abaixo do nível da lâmina de água, que se mantém constante dentro do reservatório.

Ao final de 30 dias, esses banhos consumirão um volume de água, em litros, igual a

- ☐ A 69 120.
- ☐ B 17 280.
- ☒ C 11 520.
- ☐ D 8 640.
- ☐ E 2 880.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item trata uma situação de uma estimativa de consumo de água a partir do gráfico de vazão fornecido no manual da ducha. Além disso, o texto fornece que na casa moram quatro pessoas, cada uma toma banho de 8 minutos por dia e utilizam o chuveiro na vazão máxima do local.

Para calcular o volume de água consumido em um mês, o candidato deve interpretar o texto que diz que “A ducha está instalada em um ponto **seis metros abaixo do nível da lâmina de água (...)** do reservatório” e fazer leitura direta do gráfico, onde encontramos para a pressão de **6mca** uma vazão de **12 L/min**.

Como $vazão = \frac{volume}{tempo}$, temos que $volume = vazão \cdot tempo$.

O tempo mensal de funcionamento do chuveiro por pessoa, tomando banho de 8min

por dia, durante 30 dias no mês é de:

$$\text{tempo de banho/pessoa} = 8 \cdot 30 = 240\text{min}$$

Para quatro pessoas:

$$\text{tempo de banho/família} = 4 \cdot 240 = 960\text{min}$$

Calculando o volume, em litros:

$$\text{volume} = \text{vazão} \cdot \text{tempo} = 12 \cdot 960 = 11.520 \text{ L.}$$

Análise dos distratores:

Alternativa B: Primeira escolha do grupo EF e segunda opção nos demais grupos.

Existem, pelo menos, dois raciocínios errados possíveis que levam ao valor desta alternativa. Caso o candidato troque 8 min de banho por 12 min (retirado do gráfico de vazão sem interpretar os valores dos eixos) nos termos da equação ele chegará ao $\text{tempo de banho} = 4 \cdot 12 \cdot 30 = 1.440\text{min}$. Caso o candidato coloque o valor da pressão da coluna de água no lugar do número de pessoas da família (6 no lugar de 4) ele chegará em $\text{tempo de banho} = 8 \cdot 6 \cdot 30 = 1.440\text{min}$. Em ambos os casos, quando substituimos no cálculo de volume ficamos com: $\text{volume} = \text{vazão} \cdot \text{tempo} = 12 \cdot 1440 = 17.280 \text{ L}$.

Alternativa D: Terceira opção em todos os grupos, mas chama a atenção em relação as alternativas A e E por apresentar uma frequência maior. Caso o candidato tenha utilizado uma vazão de 9 L/min ele chega no valor de 8.640L. Segundo Spazziani (2019, p. 163), “O que leva o candidato a buscar esse número no gráfico é a informação do enunciado ‘A ducha é instalada em um ponto seis metros abaixo do nível da lâmina de água’, e, ao olhar o gráfico, percebe-se que o maior valor apresentado de “altura” (metros de coluna de água, mca) é 9. Subtraindo 6 desse valor, tem-se 3 mca, e pelo gráfico, a vazão associada a essa pressão é justamente 9 litros por minuto”.

Outra possibilidade é o candidato utilizar raciocínio anterior, porém ter extraído o valor 9 da maior pressão encontrada no gráfico, já que o texto-base faz referência a “vazão máxima”.

Alternativa E: Alternativa menos escolhida entre os candidatos de todos os grupos. Apesar de não ser considerado um distrator, apresentaremos um raciocínio possível que pode ter levado o elaborador do item a inserir esta alternativa. Se o candidato esquecer de considerar que na família existem 4 pessoas tomando banho

diariamente chegam no valor de 2.880 L.

Alternativa A: Pela frequência de escolha não configurou um distrator do item, porém apresentaremos um raciocínio possível que pode atrair parte dos alunos. Conforme orientação do guia do elaborador, as alternativas do item devem conter raciocínios possíveis para o candidato que não souber o conteúdo (INEP, 2010). Caso o candidato multiplique todos os valores do enunciado ele chegará na alternativa A.

$$4 \text{ pessoas} \cdot 8 \text{ min} \cdot 30 \text{ dias} \cdot 6 \text{ metros} \cdot 12 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 69.120 \text{ L}$$

Comentário: Apesar de “tomar banho diariamente” se tratar de um assunto cotidiano, poucas pessoas já se depararam com o problema da relação entre vazão do chuveiro e pressão de coluna de água, sendo um assunto técnico para especialistas. Além disso, o gráfico de vazão em função da pressão não é um gráfico presente corriqueiramente nos exercícios contidos nos livros didáticos. Somado a isso, o imediatismo provoca no aluno a não reflexão sobre os valores encontrados. Ou seja, o resultado numérico não tem um significado físico, mas sim suficiente em si. No caso de questões de múltipla escolha, quando o candidato encontra entre as alternativas um valor numérico encontrado (principalmente em questões *multisep*) e valida seus cálculos comparando o resultado encontrado, sem que haja uma reflexão conceitual, ele acaba assinalando esta alternativa, dado o tempo limitado que tem para resolver cada um dos itens.

Sobre isso, percebe-se que entre todas as alternativas existem valores numéricos que podem ser obtidos a partir de operações e manipulações algébricas com os números disponíveis no enunciado, o que funciona como forte distrator para novatos que buscam fazer operações matemáticas e chegar em valores presentes entre as alternativas.

Verifica-se também que a falta de familiaridade dos candidatos com leitura de gráficos faz com que eles não se atentem para as variáveis físicas presentes nas alternativas (BEICHNER, 1994).

Identificamos no item uma vantagem significativa do grupo ES em relação aos demais (mais de 20 pontos percentuais em ambos os casos), o que indica que as concepções alternativas e as dificuldades aqui presentes estão mais superadas

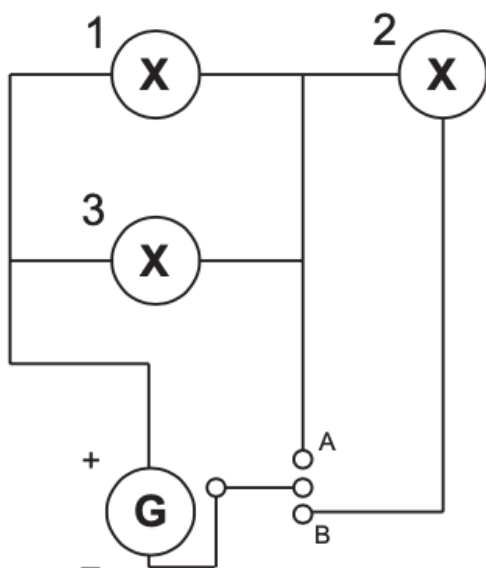
neste grupo do que nos demais.

Percebe-se ainda que a busca pelos distratores acontece principalmente nos grupos EF e EM o que é esperado já que questões que envolvem operações algébricas tendem a ser difícil para novatos, principalmente quando envolve múltiplos passos para sua resolução. Candidatos mais treinados e familiarizados com esta linguagem apresentam grande vantagem neste tipo de item.

Q57 – 2014

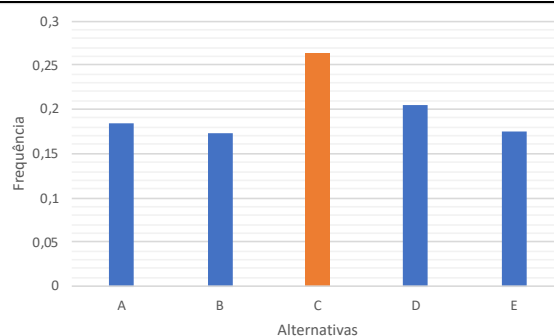
QUESTÃO 57

Um sistema de iluminação foi construído com um circuito de três lâmpadas iguais conectadas a um gerador (G) de tensão constante. Esse gerador possui uma chave que pode ser ligada nas posições A ou B.

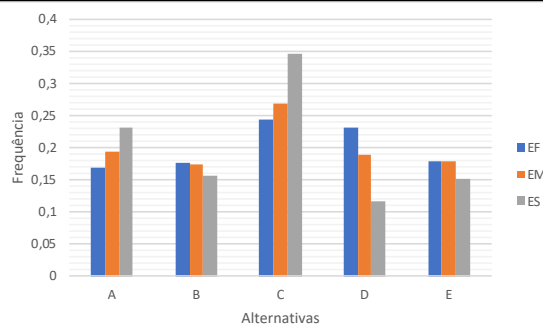


Considerando o funcionamento do circuito dado, a lâmpada 1 brilhará mais quando a chave estiver na posição

- ☐ A B, pois a corrente será maior nesse caso.
- ☐ B B, pois a potência total será maior nesse caso.
- ☒ C A, pois a resistência equivalente será menor nesse caso.
- ☐ D B, pois o gerador fornecerá uma maior tensão nesse caso.
- ☐ E A, pois a potência dissipada pelo gerador será menor nesse caso.



Concluintes do Ensino Médio



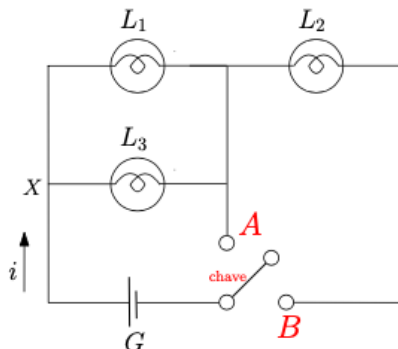
Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base apresenta o diagrama de um circuito com três lâmpadas ligadas em série e paralelo e o enunciado pergunta sobre onde deve se ligar a chave (ponto A ou B) para que a lâmpada 1 brilhe mais.

Redesenhando o circuito para facilitar a leitura da situação temos que:

Figura 48: Imagem auxiliar para resolução do item.



Fonte: Nakamura, 2020, p. 117

O brilho da lâmpada está associado a potência dissipada, quanto maior a potência, maior o brilho. Como as três lâmpadas são idênticas, é necessário analisar em qual das duas situações a lâmpada 1 estará submetida a maior tensão, já que $P = \frac{U^2}{R}$.

Com a chave na posição A, as lâmpadas 1 e 3 ficam ligadas em paralelo e a lâmpada 2 não acende.

Neste tipo de ligação, a tensão elétrica é a mesma nas duas lâmpadas. Neste caso, a potência dissipada na lâmpada 1 será, portanto, $P_{1A} = \frac{U^2}{R}$.

Podemos também determinar a potência calculando a resistência equivalente do circuito. Neste caso, como as lâmpadas são idênticas, temos que a resistência equivalente do circuito é dada por $R_{eqA} = \frac{R}{2}$.

A potência do circuito é dada por $P_A = \frac{U^2}{R_{eqA}} = 2 \frac{U^2}{R}$

A potência dissipada na lâmpada 1 será metade da potência total do circuito e, portanto $P_{1A} = \frac{P_A}{2} = \frac{U^2}{R}$

Com a chave na posição B, as lâmpadas 1 e 3 continuam em paralelo entre si, mas agora em série com a lâmpada 2.

Neste caso, a resistência equivalente do circuito é dada por

$$R_{eqB} = R_{eqA} + R = \frac{R}{2} + R = \frac{3R}{2}$$

Logo, a corrente total do circuito é de:

$$i_{tot} = \frac{U}{R_{eq_B}} = \frac{\frac{U}{3R}}{2} = \frac{2U}{3R}$$

A corrente elétrica que passa pelo resistor 1 é metade da corrente total, ou seja,

$$i_1 = \frac{U}{3R}$$

Calculando a potência dissipada pela lâmpada 1 temos:

$$P_{1_B} = R \cdot i^2 = R \cdot \left(\frac{U}{3R}\right)^2 = \frac{U^2}{9R}$$

Como a corrente é 1/3 da corrente que passa pela lâmpada 1 no circuito A, a potência dissipada será 9 vezes menor do que no circuito A.

Logo, a lâmpada 1 brilhará mais quando a chave estiver em A.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Para o grupo ES, este é o distrator mais procurado. Isso se deve pelo fato de que este candidato está familiarizado com a ideia de que quanto maior a quantidade de corrente que passar pela lâmpada, maior será o brilho da mesma, dado que sua resistência é fixa. Esta é a única alternativa que aparece o termo “maior corrente” no texto e o candidato que não conseguir calcular a corrente pode ser induzido erroneamente a esta alternativa.

Alternativa D: Distrator mais forte para os concluintes do Ensino Médio e para os grupos EF e EM e opção menos escolhida pelo grupo ES. Esta alternativa pode ter sido escolhida pelo fato de ser a alternativa que temos mais lâmpadas acessas, dando a sensação de que a potência dissipada será maior e o gerador fornecerá maior tensão. Neste caso o candidato não se atentou para o enunciado que diz que o gerador é de tensão constante. Segundo Nakamura (2020) “Quanto menor a escolaridade dos pais dos alunos, maior foi a preferência pela alternativa D, a qual diz ser L_1 mais brilhante quando a chave está na posição B, pois o gerador fornecerá uma maior tensão nesse caso. Isso indica que tais alunos não reconhecem o gerador como uma fonte de tensão constante, mas, provavelmente, como uma fonte de corrente constante, uma concepção alternativa muito comum.” (p. 118).

Alternativa E: Apesar de não ser um forte distrator, chama a atenção os grupos EF e EM são atraídos por esta alternativa na mesma proporção e o grupo EF é menos atraído pela alternativa. Esta concepção alternativa tem mesma natureza da

concepção presente na alternativa D. Aqui o candidato não reconhece o gerador como uma fonte de tensão constante e relaciona a chave na posição A a uma maior potência dissipada pelo gerador.

Comentário:

Este item é um exercício típico de papel e lápis presente nos mais diversos livros didáticos. Uma das dificuldades pode estar no fato de não conter números, ou seja, ser um exercício literal. O contexto do item é técnico e não cotidiano. Na busca por concepções alternativas em circuitos elétricos no ENEM, Nakamura (2020) comenta que apesar deste item se assemelha muito com itens encontrados em inventários clássicos de concepções alternativas utilizados em seu referencial teórico ele poderia ser mais bem estruturado e ser capaz de identificar concepções alternativas como “modelo sequencial” ou “corrente consumida”, por exemplo.

Candidatos mais treinados sabem que para uma mesma lâmpada, quanto maior a corrente elétrica que passar por ela, maior será o brilho. Candidatos que tem este conhecimento, mas que não conseguem realizar a conta podem ser induzidos ao erro.

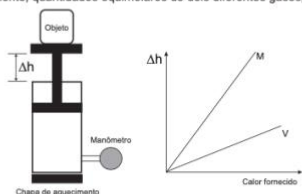
Percebe-se aqui uma vantagem do grupo ES em relação aos demais grupos, o que mostra a influência da escolaridade dos pais (*proxy* para capital cultural institucionalizado) no desempenho deste tipo de item. Chama a atenção que o principal distrator para os grupos EF e EM é a alternativa menos assinalada do grupo ES, o que pode indicar a influência do treino para excluir este distrator e reforçando que a concepção alternativa está presente nos grupos menos favorecidos.

Sobre a escolha dos candidatos pelas alternativas A e D, Nakamura (2020, p.118) alerta que “(...) a razão por trás da alta taxa de escolha desses dois distratores tem base na conhecida noção de que os alunos tendem a resolver questões de circuitos elétricos a partir da aplicação cega de equações, (...) e completa que esta escolha é expressa pela concepção alternativa em circuitos elétricos “resolução algorítmica sem respaldo conceitual. É conhecida a relação de que, quanto maior a potência dissipada na lâmpada, maior seu brilho. Daí é evocada a famosa equação, $P = U \cdot i$, mesmo não sendo a mais adequada neste caso (...)”

Q62-2014

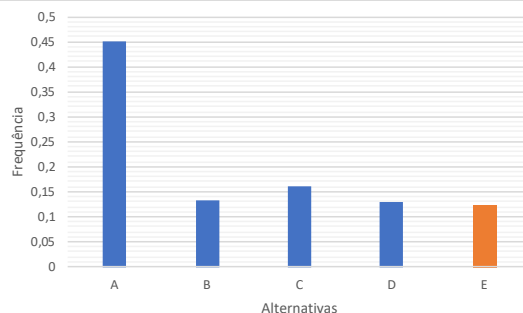
QUESTÃO 62

Um sistema de pistão contendo um gás é mostrado na figura. Sobre a extremidade superior do êmbolo, que pode movimentar-se livremente sem atrito, encontra-se um objeto. Através de uma chapa de aquecimento é possível fornecer calor ao gás e, com auxílio de um manômetro, medir sua pressão. A partir de diferentes valores de calor fornecido, considerando o sistema como hermético, o objeto elevou-se em valores Δh , como mostrado no gráfico. Foram estudadas, separadamente, quantidades equimolares de dois diferentes gases, denominados M e V.

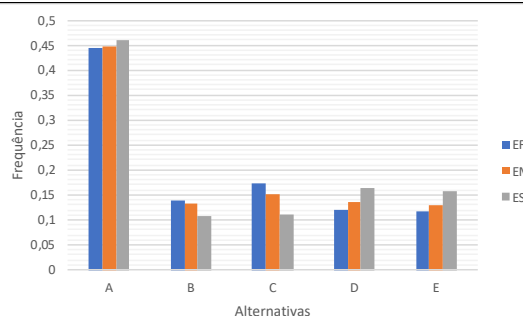


A diferença no comportamento dos gases no experimento decorre do fato de o gás M, em relação ao V, apresentar

- A maior pressão de vapor.
- B menor massa molecular.
- C maior compressibilidade.
- D menor energia de ativação.
- E menor capacidade calorífica.



Concluintes do Ensino Médio

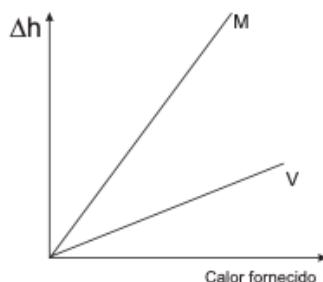


Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item propõe uma situação de experimento e bancada (especialista) em que dois gases em um sistema fechado com êmbolo livre (isobárico) são submetidos a aumento de temperatura. Neste tipo de sistema, pressupõe-se que o aumento de temperatura promova um aumento do volume e esta informação é disponível na forma de um gráfico de variação da altura (Δh) em função do calor fornecido.

Podemos observar no gráfico que o gás M precisa de menos calor para elevar a temperatura do que o gás V.



Como o pistão se move sem atrito, podemos dizer que o gás sofre transformação isobárica, ou seja, a pressão interna do sistema é constante.

Desta forma, podemos calcular o trabalho realizado pelo gás como:

$$\tau = p \cdot \Delta V = p \cdot A \cdot \Delta h$$

O calor necessário para variar o mesmo Δh é menor no gás M e a quantidade de calor fornecida com aumento de temperatura é dada por

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Para uma mesma variação de temperatura, será necessário mais calor quanto maior for o calor específico ou a capacidade térmica do gás.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Este distrator atraiu todos os grupos com praticamente a mesma frequência. Nesta alternativa os candidatos podem ter sido induzidos pelo enunciado que faz referência a grandeza “pressão”. Como o gás M sofre maior variação de altura, isso poderia estar associado a ideia de aumento da temperatura e consequentemente de pressão. Além disso, é de conhecimento geral que o aumento da temperatura pode gerar aumento da pressão de um gás. Neste sentido, para escolher esta alternativa o candidato não considerou o êmbolo livre que garante a manutenção da pressão dentro do recipiente (transformação isobárica).

Comentário:

Trata-se de um item contextualizado em um experimento de bancada (especialista) que aborda termodinâmica e transformações gasosas. Além disso, para a resolução, o candidato deve interpretar texto, figura e gráfico, ou seja, exige três tipos de leituras distintas. Além disso, algumas informações fornecidas no enunciado além de não contribuírem para a resolução do item ou para manter o rigor físico da situação, podem confundir os candidatos. Um exemplo disso é o “objeto” posicionado acima do êmbolo móvel. Qual a função deste objeto no texto-base? Este item pode ser considerado muito difícil dada a taxa de acerto próxima de 10%, ou seja, menos da metade do valor considerado “chute”. Este tipo de comportamento é comum quando um ou mais distratores são muito fortes nas alternativas ou o item apresenta problemas na formulação.

Percebe-se que a escolha nas alternativas erradas depende do grupo socioeconômico dos candidatos. Além do distrator principal, que atraiu todos os grupos, é notável que a escolha nas outras quatro alternativas, mesmo que com baixa frequência, os candidatos ES apresentam preferência pelas alternativas D

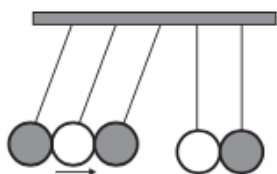
(errada) e E (correta), enquanto os alunos dos grupos EF e EM apresentam preferência por B e C. Uma possibilidade seria o conceito de capacidade térmica e energia de ativação não fazerem parte do conhecimento destes últimos grupos. Fernando Lang da Silveira¹⁸ em resposta a crítica a forma como o elaborador apresentou os distratores no item. Segundo ele, “A alternativa E é a única que usa algum termo (calor -> calorífica) utilizado no comando da questão! Portanto, dado que os distratores são todos completamente implausíveis, é fácil descobrir qual é a alternativa que o idealizador da questão pretende que seja a resposta correta.”. Além disso, o autor critica o uso da palavra “hermético” que além de pouco acessível (num exame que se diz democrático), não é usual no contexto da termodinâmica e é polissêmico. Ele sugere o uso de sistema “fechado”, dado que não a quantidade de partículas é constante, mas é possível a troca de energia através da chapa. Spazziani (2019) aponta que o item apresenta problemas de inconsistência em seu enunciado. Se o aluno optar por utilizar a 1ª lei da termodinâmica e considerar o gás monoatômico e ideal ele chegará que uma maior variação de altura do êmbolo pode estar associada a uma menor variação de energia interna e consequentemente menor variação de temperatura.

¹⁸ da Silveira, F. L. **Questão 75 da Prova de Ciências da Natureza do ENEM 2014 (caderno amarelo)**. Pergunte ao CREF. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=questao-75-da-prova-de-ciencias-da-natureza-do-enem-2014-caderno-amarelo>, acesso em 10/12/20

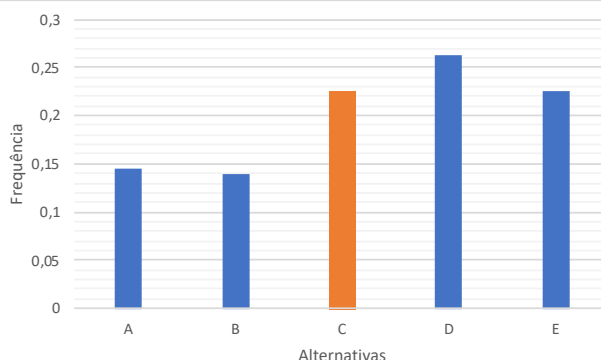
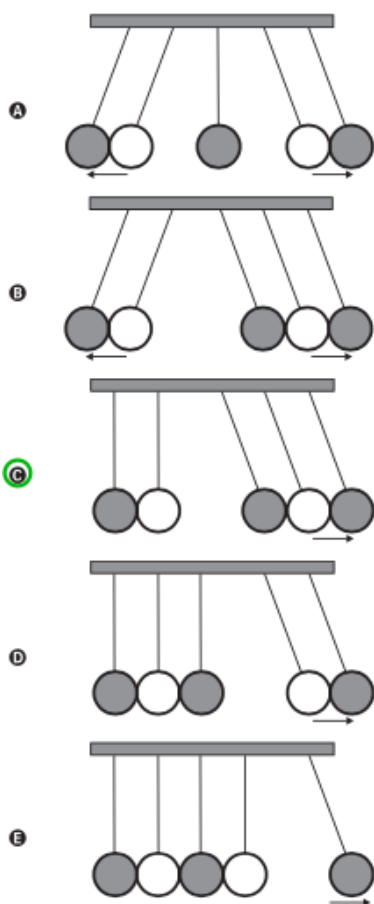
Q64 -2014

QUESTÃO 64

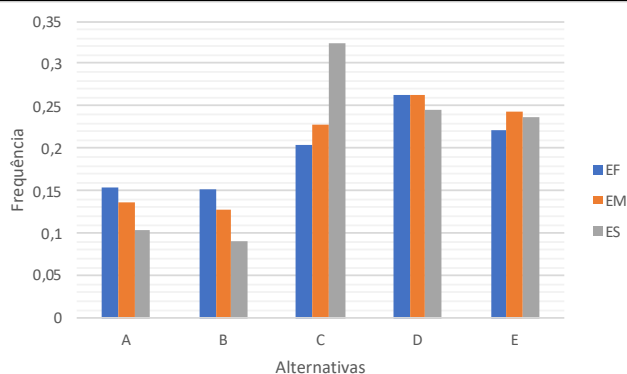
O pêndulo de Newton pode ser constituído por cinco pêndulos idênticos suspensos em um mesmo suporte. Em um dado instante, as esferas de três pêndulos são deslocadas para a esquerda e liberadas, deslocando-se para a direita e colidindo elasticamente com as outras duas esferas, que inicialmente estavam paradas.



O movimento dos pêndulos após a primeira colisão está representado em:



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se do pêndulo de Newton, um experimento de bancada (especialista) encontrado no mercado para ser vendido como brinquedo ou enfeite.

Como se trata de sistema mecanicamente isolado de forças externas e os choques são totalmente elásticos, podemos considerar que ocorrerá conservação da quantidade de movimento e conservação de energia.

No início do movimento, temos 3 esferas idênticas de massa m em movimento com

velocidade v logo a quantidade de movimento do sistema é:

$$Q_i = 3mv$$

Como a quantidade de movimento deve ser conservada, temos que $Q_f = Q_i$ e, portanto, após as colisões, devemos ter três esferas bolas com velocidade v .

$$Q_i = Q_f = 3mv.$$

Análise dos distratores:

Alternativa D: distrator mais forte em todos os grupos, principalmente EM e EF. O fato de assinalarem esta alternativa pode estar associada a ideia de, antes da colisão, termos duas esferas paradas e depois da colisão elas começam a se mover e as três que estavam em movimento ficam paradas. Isto só poderia ocorrer caso não houvesse conservação de energia nos choques, ou seja, se tivéssemos choques inelásticos. Esta ideia pode estar associada a ideia criada, por exemplo, em uma partida de bilhar onde a bola tacada permanece parada depois da colisão enquanto a outra bola entra em movimento.

Esta ideia não científica pode estar associada a diversos fenômenos de colisões que podem ser vivenciados no dia a dia das pessoas em que o objeto que colide tem massa menor ou igual ao objeto colidido.

Esta situação seria considerada verdadeira se apenas duas bolinhas estivessem em movimento no início do movimento.

Alternativa E: Segunda opção errada mais escolhida em todos os grupos analisados, esta alternativa pode estar associada ao fato de o candidato acreditar que uma esfera amortecer a colisão e transmite o movimento para a outra esfera. Este tipo ideia pode ser observado em um jogo de sinuca, por exemplo, porém o candidato não leva em consideração que na sinuca é uma bola, colidindo com uma bola e colidindo com outra, portanto associada a conceito não científico cotidiano. Esta situação seria considerada verdadeira se apenas uma bolinha estivesse em movimento no início do movimento.

Comentário:

O item aborda um o experimento do pêndulo de Newton (experimento de bancada), mas que muitas vezes é encontrado a venda como brinquedo ou enfeite. Encontrado também em muitos museus de ciências, o que não é uma realidade para a grande maioria da população que não vive em grandes cidades como São

Paulo. Pode se considerar que uma parcela dos candidatos já teve contato com este experimento, porém é impossível considerar que este experimento seja acessível a todos os candidatos.

Trata-se de um problema típico de colisão sem a necessidade de realização de contas. Todas as informações necessárias para a resolução estão no enunciado.

Percebe-se que o grupo ES leva uma grande vantagem na resolução deste item em relação ao demais grupos. Apenas neste grupo a alternativa correta é a mais assinalada entre as alternativas, mas mesmo neste grupo existem dois distratores fortes.

Associamos os distratores presentes nesta alternativa a ideias não científicas dos alunos relacionadas a concepções alternativas sensoriais. Levantamos a hipótese de que se a situação inicial apenas duas bolinhas estivessem em movimento, a incidência de acertos seria muito maior, o que não indicaria domínio do conteúdo e sim coincidência entre o senso comum e o conceito científico.

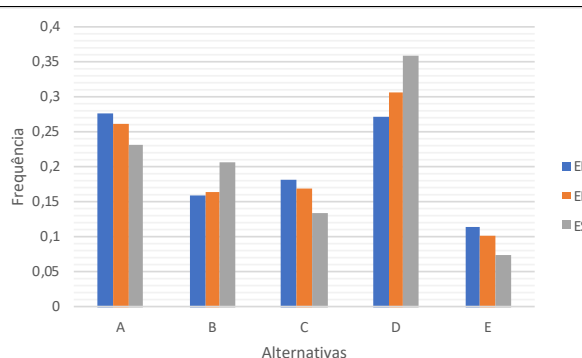
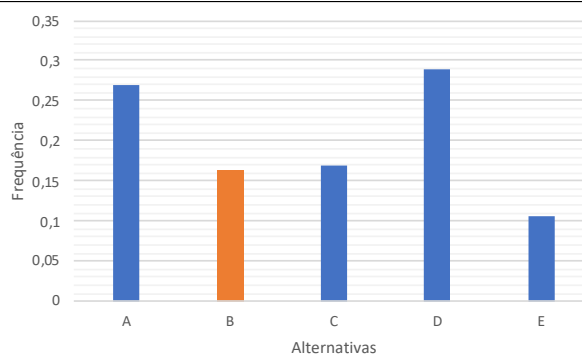
Q66 – 2014

QUESTÃO 66

A elevação da temperatura das águas de rios, lagos e mares diminui a solubilidade do oxigênio, pondo em risco as diversas formas de vida aquática que dependem desse gás. Se essa elevação de temperatura acontece por meios artificiais, dizemos que existe poluição térmica. As usinas nucleares, pela própria natureza do processo de geração de energia, podem causar esse tipo de poluição.

Que parte do ciclo de geração de energia das usinas nucleares está associada a esse tipo de poluição?

- ☐ A Fissão do material radioativo.
- ☒ B Condensação do vapor-d'água no final do processo.
- ☐ C Conversão de energia das turbinas pelos geradores.
- ☐ D Aquecimento da água líquida para gerar vapor-d'água.
- ☐ E Lançamento do vapor-d'água sobre as pás das turbinas.



Resolução:

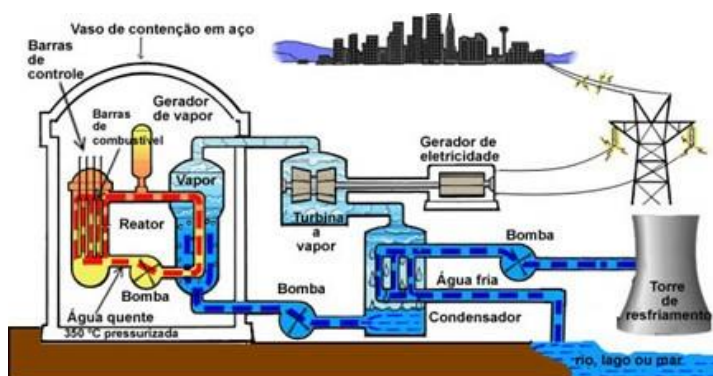
O item aborda o problema ambiental da poluição térmica causado pelo uso da água

no resfriamento de usinas nucleares. Este tipo de usina geralmente é construído próximo a rios e mares para que seja possível utilizar a água (em abundância) no resfriamento do sistema. Esta água utilizada para resfriar o sistema não entra em contato com o material radioativo, apenas faz a troca de calor, levando a energia térmica embora para o rio/mar.

As usinas nucleares utilizam água dos rios ou mar para resfriar o sistema, condensando o vapor que gira as turbinas dos geradores. Nesta troca de calor, a água sofre um aumento de temperatura e retorna para o mar/rio numa temperatura maior, provocando a poluição térmica, conforme é possível ver na Figura 49.

O uso de água de rio/mar se dá pelo volume total, fazendo com que este processo gere menos poluição térmica possível.

Figura 49: Funcionamento de usina nuclear.



Fonte: Como funciona uma usina nuclear? Disponível em <<https://blog.enem.com.br/acidente-de-chernobyl-entenda-o-que-aconteceu-com-a-usina-nuclear/>>, acesso, 05/02/2020.

Análise dos distratores:

Alternativa A: É de senso comum que as usinas nucleares geram poluição radioativa. A fissão nuclear que acontece no interior da usina não gera poluição apesar de ser o motivo do aquecimento do sistema. Percebe-se preferência por esta alternativa no grupo EF.

Esta alternativa não está errada por completo, pois o responsável pelo aquecimento da água que será descartada nos rios/mares é o material radioativo. Se não fosse este material, a água não aqueceria.

Alternativa D: Esta alternativa pode ter sido assinalada pelo candidato que, ao ler o enunciado, percebeu que se tratava de poluição térmica e associou a ao aumento de temperatura que evapora a água. Porém, o aquecimento da água, para gerar

vapor de água é o responsável por girar a turbina e consequentemente o gerador. Nesta etapa do aquecimento não é gerada poluição térmica, já que esta água aquecida não é lançada no ambiente e sim retorna para o sistema (sistema fechado). Esta alternativa é escolhida por aqueles alunos que sabem da necessidade da água ebulir e ser colocado em alta pressão para o funcionamento da turbina, mas esquece da necessidade de condensar esta água e retornar para o sistema.

Esta alternativa estaria certa se não existisse o sistema terciário de água (aberto) para refrigerar a água do sistema secundário (fechado).

Spazziani (2019) associa a escolha nesta alternativa nos termos presentes na alternativa e no texto. No texto-base aparece a definição de poluição térmica como aquecimento da água de lagos, rios e mares e na alternativa aparece aquecimento da água.

Comentário:

Para resolução deste exercício é necessário que o candidato conheça todas as etapas da geração de energia em termoeletrônica nucleares, já que aparecem diferentes etapas nas alternativas. O senso comum diz que este tipo de usina é poluente, pois trabalha com material radioativo, porém este material radioativo não entra em contato com a água dos rios e lagos.

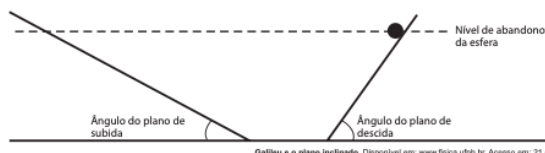
Consideramos que este item está bem alinhado com a matriz de referência do ENEM, sendo de fácil identificação qual tipo de competência e habilidade espera-se do aluno. Este item está associado à competência 3 associada a área de Ciências da Natureza: “Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.” (INEP, 201, p. 8). E especificamente à habilidade 10: “Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e(ou) destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais.” (INEP, 2010, p. 9), porém para que não seja necessário que o aluno saiba decorado o funcionamento de uma usina, o fornecimento de um esquema/figura apresentando o funcionamento da usina deixaria o item mais bem alinhado com a proposta de avaliar o candidato e não simplesmente selecionar aqueles que decoraram algum procedimento específico.

O conhecimento na necessidade do uso de água para resfriamento do sistema não é trivial, assim como os três sistemas por onde a água pode circular (2 fechados e um aberto). Alguns termos associados ao funcionamento de uma usina nuclear como Fissão e turbinas podem ter induzido respostas erradas, uma vez que o candidato pode não ter conhecimento do funcionamento completo da usina nuclear.

Q67 – 2014

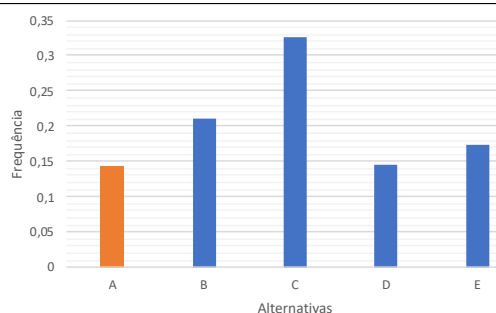
QUESTÃO 67

Para entender os movimentos dos corpos, Galileu discutiu o movimento de uma esfera de metal em dois planos inclinados sem atritos e com a possibilidade de se alterarem os ângulos de inclinação, conforme mostra a figura. Na descrição do experimento, quando a esfera de metal é abandonada para descer um plano inclinado de determinado nível, ela sempre atinge, no plano ascendente, no máximo, um nível igual àquele em que foi abandonada.

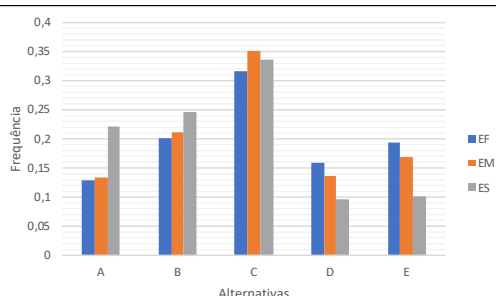


Se o ângulo de inclinação do plano de subida for reduzido a zero, a esfera

- ☒ A manterá sua velocidade constante, pois o impulso resultante sobre ela será nulo.
- ☐ B manterá sua velocidade constante, pois o impulso da descida continuará a empurrá-la.
- ☐ C diminuirá gradativamente a sua velocidade, pois não haverá mais impulso para empurrá-la.
- ☐ D diminuirá gradativamente a sua velocidade, pois o impulso resultante será contrário ao seu movimento.
- ☐ E aumentará gradativamente a sua velocidade, pois não haverá nenhum impulso contrário ao seu movimento.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item aborda um exercício de bancada histórico proposto por Galileu para explicar o conceito de Inércia. Trata-se de um exercício mental, já que as condições ideais não eram possíveis de ser feitas em laboratório.

O texto-base explica o funcionamento do experimento, dizendo que ao soltar a bolinha de uma determinada altura na primeira rampa, a mesma subirá a segunda rampa até atingir a mesma altura em relação ao chão. Se o ângulo de inclinação do plano de subida for reduzido à zero, a esfera passa a se deslocar num plano horizontal e não atingirá a altura inicial nunca. Se não tivermos forças dissipativas, a força resultante sobre a esfera passa a ser zero no plano horizontal e, portanto, a esfera deve se deslocar por inércia até que uma força seja aplicada nela, mantendo

a velocidade constante.

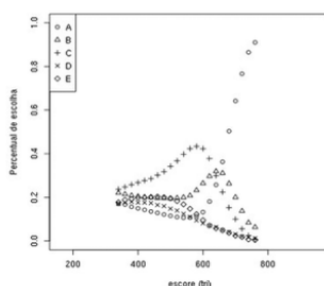
Análise dos distratores:

Alternativa C: Esta alternativa atraiu a maioria dos candidatos de todos os grupos analisados. Esta escolha está relacionada com o senso comum que diz que para manter algo em movimento é necessário que se aplique uma força constantemente favorável ao movimento (POZO; CRESPO, 2009, p. 213). Segundo os autores os alunos entendem que “A causa do movimento é sempre uma causa adquirida. Esta causa é uma força.” e completam “o corpo para quando a força se gasta” (p. 213). Esta ideia está de acordo com a realidade do dia a dia, onde temos forças dissipativas o tempo todo e não é possível manter um corpo em movimento sem a aplicação de uma força. No caso real, ao soltar a bolinha, ela diminuirá sua velocidade, pois haverá apenas forças dissipativas o que faz a alternativa atrair muitos candidatos de todos os grupos.

Spazziani (2019) completa que “[a alternativa] é escolhida por uma visão aristotélica da mecânica, impulso, força e relação entre essas grandezas com a velocidade.” (p. 180)

Rubini (2019) observa que a escolha pelo distrator C é crescente conforme o aumento das notas dos alunos (Figura 50). Esta tendência é invertida apenas para os alunos de maior nota no exame (a partir de 580 pontos). Este resultado pode indicar que esta concepção alternativa é muito presente mesmo naqueles que tiveram um bom desempenho geral na prova e, portanto, uma base mais sólida.

Figura 50: Percentuais de escolha de cada uma das alternativas em função da nota do aluno.



Fonte: Rubini (2019, p. 124)

Alternativa B: Apesar de a ideia de inércia estar presente na primeira parte do texto desta alternativa, o termo Impulso nesta alternativa está associado a “empurrar constantemente”. Traduzindo para este termo, a alternativa diria que o “empurrão

dado na esfera na descida mantém o movimento posteriormente”. Esta concepção alternativa de força adquirida é descrita por Pozo e Crespo (2009) que pontam que os alunos entendem que “A causa do movimento é sempre uma causa adquirida. Esta causa é uma força.” (p. 213). Neste caso, os alunos entendem a ideia de equilíbrio das forças e a manutenção da velocidade constante, mas necessitam de uma força “para frente” que anule as forças dissipativas existentes no ambiente para explicar este equilíbrio.

Para esta alternativa, observa-se um comportamento semelhante na curva dos percentuais de escolha em função do escore dos alunos (RUBINI, 2019), porém observa-se que esta alternativa começa a ser escolhida com maior frequência em uma proficiência maior dos alunos e apresenta queda apenas no final, quando o escore dos alunos é próximo do máximo. Isso também indica que os alunos que optaram por esta alternativa apresentam conhecimento parcial do conceito de inércia.

Alternativa E: Não se configura um distrator forte, porém chama a atenção a procura por parte significativa dos candidatos do rufo EF (terceira alternativa mais assinalada neste grupo). Associamos esta escolha a ideia de que o corpo “adquiriu força” e, se não houver forças dissipativas, a esfera continuará acelerando, já que essa força não será “gasta”.

Este tipo de concepção é bastante presente no senso comum e em pessoas que não tiveram contato com o conceito de inércia durante a escolaridade formal.

Comentário:

Trata-se de um item conceitual sobre inércia (1ª lei de Newton) que está carregado de concepções alternativas em suas alternativas. A dificuldade dos alunos de compreenderem completamente o conceito de Inércia está amplamente discutido na literatura (DRIVER *et al.* 2004; POZO; CRESPO, 2009; KLEINKE, 2017; RUBINI, 2019; SPAZZIANI, 2019;).

Ideias alternativas descritas por Driver *et al.* (2004) como: se há movimento, há uma força agindo; se não houver movimento, não há força agindo; quando um objeto está se movendo, existe uma força na direção de seu movimento; um objeto em movimento para quando sua força se esgota; um objeto em movimento tem uma força que o mantém em movimento e uma velocidade constante resulta de uma

força constante, estão presentes entre as alternativas deste item e estão enraizadas nos estudantes, conforme podemos ver pelas respostas. Neste sentido, este item pode ser utilizado como diagnóstico em sala de aula, assim como os inventários de concepções de força.

Estas concepções alternativas associadas a visão aristotélica de movimento são previstas e assinaladas com frequência por estudantes em inventários de concepções alternativas de força (FCI) em Hestenes *et al.* (1992).

Este exercício trata-se de um senso comum que gera muito erro conceitual de física. O conceito de Inércia (científico) é diferente daquele conceito de movimento dos corpos do senso comum (concepção alternativa sensorial) e muitas vezes durante a educação formal, surgem novas concepções alternativas de origem escolar que diferem do conceito científico. Nota-se que em todos os grupos a visão aristotélica de que é necessária uma força para manter um corpo em movimento domina, sendo um pouco menor no grupo ES, o que sugere que ocorreu a mudança conceitual do conceito de movimento do senso comum para o conceito de inércia em parte deste grupo.

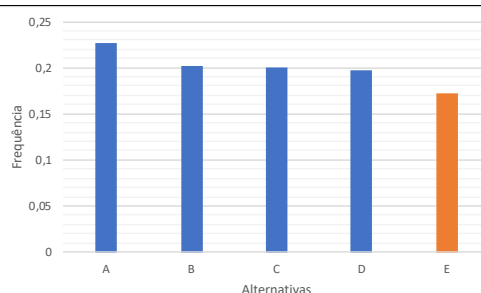
Q68- 2014

QUESTÃO 68

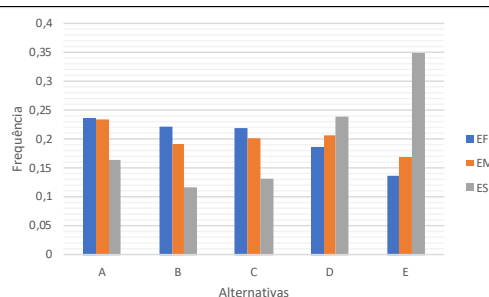
Uma proposta de dispositivo capaz de indicar a qualidade da gasolina vendida em postos e, consequentemente, evitar fraudes, poderia utilizar o conceito de refração luminosa. Nesse sentido, a gasolina não adulterada, na temperatura ambiente, apresenta razão entre os senos dos raios incidente e refratado igual a 1,4. Desse modo, fazendo incidir o feixe de luz proveniente do ar com um ângulo fixo e maior que zero, qualquer modificação no ângulo do feixe refratado indicará adulteração no combustível.

Em uma fiscalização rotineira, o teste apresentou o valor de 1,9. Qual foi o comportamento do raio refratado?

- ☐ A Mudou de sentido.
- ☐ B Sofreu reflexão total.
- ☐ C Atingiu o valor do ângulo limite.
- ☐ D Direcionou-se para a superfície de separação.
- ☒ E Aproximou-se da normal à superfície de separação.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

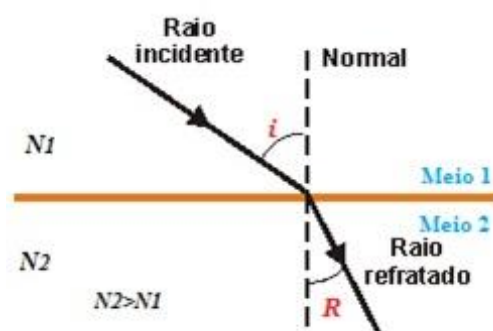
Resolução:

Este exercício trata de um dispositivo tecnológico que utiliza o princípio da refração para identificar se a gasolina vendida no posto é adulterada ou não.

O dispositivo funciona com o seguinte princípio:

Como os ângulos de incidência e refração são ângulos entre o raio de incidência (i) e o raio de refração (r), respectivamente, e a reta normal (Figura 51), o menor ângulo tem menor seno.

Figura 51: Ângulos de incidência e de refração de um raio de luz que muda de meio de propagação.



Fonte: Wikiciências, Leis de Refração da Luz Disponível em : https://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Leis_da_refração_da_luz, Acessado em 02/2021

Pela lei de Snell, temos que

$$\eta_{ar} \sin(i) = \eta_{gas} \sin(r)$$

Ou ainda

$$\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{\eta_{gas}}{\eta_{ar}}$$

Para o caso da gasolina normal, esta razão vale 1,4. No caso da gasolina adulterada, esta razão vale 1,9.

Para um mesmo ângulo de incidência, a única forma de aumentar a razão $\frac{\eta_{gas}}{\eta_{ar}}$, é diminuindo o $\sin(r)$ e, portanto, diminuindo o ângulo de refração r .

Logo, o raio refratado no caso da gasolina adulterada é menor do que para a gasolina não adulterada. Isso significa que o raio refratado se aproximou da normal à superfície de separação ou se afastou da superfície de separação.

Análise dos distratores:

Spazziani (2019) sugere a partir da distribuição das frequências que as escolhas

neste item foram aleatórias, porém, conseguimos a partir das pequenas diferenças de escolha nas escolaridades identificar possíveis raciocínios que os alunos podem ter feito para assinalar as alternativas erradas.

Alternativa A: Trata-se uma confusão de termos. Caso o candidato confunda o significado de sentido e direção, ele pode ter assinalado esta alternativa. Como o texto-base se refere a uma mudança no ângulo de refração, se houver a confusão de termos o aluno pode associar a mudança de ângulo a uma mudança de “sentido” e não de direção. Este tipo de confusão é mais frequente nos grupos EF e EM.

Alternativa B: Esta alternativa é a menos assinalada pelo grupo ES entre todas as alternativas. Só seria possível haver reflexão total da gasolina para o ar, porém no senso comum a ideia de que a reflexão total ocorra do meio menos refringente para o mais refringente é bastante presente.

Alternativa C: Dado que a reflexão total ocorre a partir do que chamamos de ângulo limite, esta alternativa apresenta a mesma justificativa de escolha que a alternativa B, porém apresenta o conceito de ângulo limite ao invés de reflexão total.

Alternativa D: principal distrator do grupo ES, porém não é considerado distrator no grupo EF, já que, depois da alternativa correta, é a alternativa menos assinalada neste grupo. Esta alternativa é assinalada pelos candidatos que não sabem diferenciar a reta normal à superfície da própria superfície. Esta alternativa também pode ser escolhida caso a lei de Snell seja aplicada de forma errada, ou seja $\frac{\sin(r)}{\sin(i)} = 1,9 = \frac{\eta_{ar}}{\eta_{gas}}$. Ambos os conceitos são conceitos que não existem no senso comum, sendo necessário o contato com eles na educação formal. Este tipo de escolha é possível apenas para os alunos que tiveram contato com esses conceitos.

Comentário: Trata-se de um item que aborda um aparato tecnológico para identificar se uma gasolina está ou não adulterada. Apesar deste tema ser um tema contextualizado no dia a dia das pessoas, entendemos que se trata de um contexto científico/tecnológico e mais próximo de especialistas do que de aprendizes. Por isso, este item apresenta um dos menores ICI de todas as provas, com as respostas tendendo ao aleatório. Apenas no grupo ES é possível perceber uma diferenciação entre as frequências de escolha na alternativa correta.

Percebe-se que a alternativa correta (E) é a menos assinalada dentre todas as

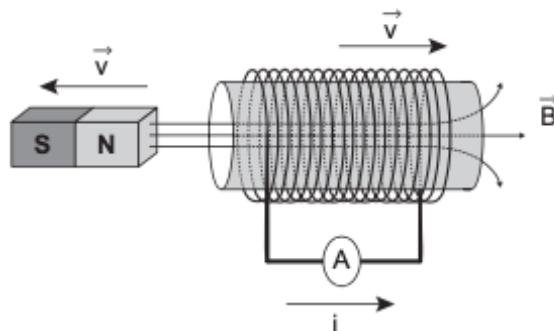
alternativas pelos grupos EF e EM, porém é a mais assinalada pelo grupo ES. Percebe-se que o conceito de “normal” está estabelecido apenas no grupo de maior nível socioeconômico. Vale destacar que para este conceito não existe semelhante no senso comum, sendo que o único contato que o candidato pode ter tido com a ideia de uma reta auxiliar perpendicular à superfície é na educação formal no nível básico.

Spazziani (2019) ressalta que “As alternativas A, B e C tiveram comportamento similar de taxa de resposta para candidatos de todas as classes. Por terem taxas de resposta inicialmente próximas à 25% e que decresceram com o aumento do índice socioeconômico, acredita-se que tenham comportamento similar por terem sido escolhidas aleatoriamente.” (p. 183). Quando olhamos para a resposta no grupo geral isso é válido, mas quando olhamos isoladamente para cada um dos grupos, identificamos que no grupo ES o distrator é outro.

Q72-2014

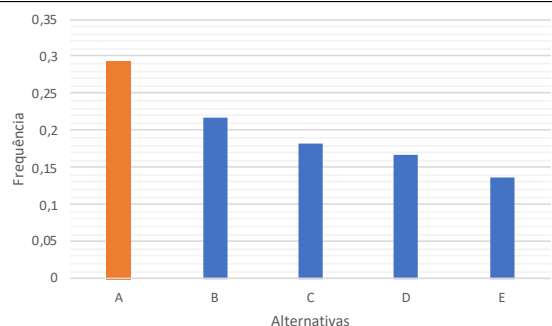
QUESTÃO 72

O funcionamento dos geradores de usinas elétricas baseia-se no fenômeno da indução eletromagnética, descoberto por Michael Faraday no século XIX. Pode-se observar esse fenômeno ao se movimentar um ímã e uma espira em sentidos opostos com módulo da velocidade igual a v , induzindo uma corrente elétrica de intensidade i , como ilustrado na figura.

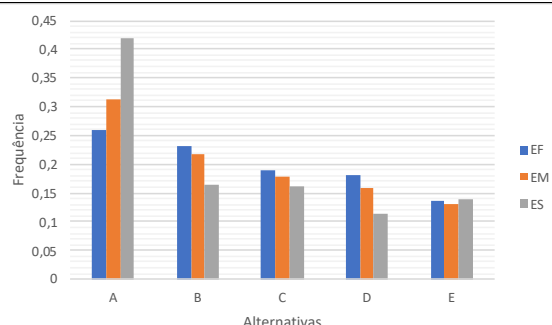


A fim de se obter uma corrente com o mesmo sentido da apresentada na figura, utilizando os mesmos materiais, outra possibilidade é mover a espira para a

- ☒ A esquerda e o ímã para a direita com polaridade invertida.
- ☐ B direita e o ímã para a esquerda com polaridade invertida.
- ☐ C esquerda e o ímã para a esquerda com mesma polaridade.
- ☐ D direita e manter o ímã em repouso com polaridade invertida.
- ☐ E esquerda e manter o ímã em repouso com mesma polaridade.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se de um aparato experimental de laboratório de ensino de física que serve para compreender o comportamento da corrente elétrica em uma bobina quando o ímã é movimentado em suas proximidades. No enunciado é apresentado um fenômeno e pede para que o candidato interprete o fenômeno (experimento) e consiga concluir o que aconteceria em uma outra situação, para verificar se o fenômeno é conhecido ou foi compreendido pelo próprio texto.

Na figura mostrada, está havendo afastamento relativo entre o ímã e a espira, observa-se uma corrente elétrica passando no amperímetro da esquerda para a direita e nessa situação, de acordo com a lei de Lenz, ocorre força de atração entre ambos e para isso ocorre a formação de um polo sul na extremidade esquerda da espira. O enunciado pede uma outra situação que apresente corrente no mesmo sentido e para isso, na extremidade esquerda da espira deve continuar formando

um polo sul.

Para obter polo Sul no lado esquerdo da espira, é necessário afastar um polo norte ou aproximar um polo sul e, portanto, para se obter corrente elétrica no mesmo sentido deve-se inverter tanto o ímã quanto o sentido do movimento dos corpos (movimento relativo).

Análise dos distratores:

Alternativa B: Atrai principalmente os candidatos dos grupos EF e EM. Esta alternativa pode estar associada ao fato de no enunciado pedir a situação em que você obtém corrente elétrica induzida no mesmo sentido e não a mesma polaridade na espira.

Segundo Spazziani (2019) este erro pode estar associado a uma ideia distorcida do candidato de que o sentido da corrente depende exclusivamente da polaridade do ímã e não do movimento relativo entre ímã e bobina.

Comentário:

Trata-se de um item experimental contextualizado em bancada de laboratório de ensino. A linguagem e o experimento se aproximam da realidade de especialistas (professores de física ou técnicos na área de eletrônica) e, portanto, se distancia bastante da realidade do aprendiz (concluintes do ensino médio). Outro ponto relevante que pode explicar o baixo desempenho neste item e a alta dispersão entre as alternativas é que, segundo Gaspar (2014), a experimentação em ciências nunca chegou a ser uma prática pedagógica rotineira, já que até meados do século XX, poucas escolas possuíam equipamentos para experimentos e demonstrações. Pouco se faz para mudar este cenário. Azevedo *et al.* (2009) sinalizam que as revistas de divulgação em física não valorizam esta temática da experimentação no ensino e, quando este assunto aparece, duas tendências são claras: Uma aponta para o uso de experimentos demonstrativos ou ilustrativos, o que submete a uma postura verificacionista, enquanto a outra tendência é associada a um tratamento quantitativo para os experimentos. Os autores afirmam que, muito embora as atividades experimentais de medição sejam importantes na formação de alunos, não devem encerrar as discussões quando o valor numérico é encontrado. Outros trabalhos apontam que o “fracasso experimental” no ensino de física pode estar associado a formação dos professores de física e suas condições de trabalho

(LABURU *et al.*, 2007).

Este experimento é de contexto de laboratório (especialista), ou seja, contexto longe do aluno e bastante técnico, o que faz com que a taxa de acerto, principalmente no grupo EF seja próximo da aleatoriedade. A ideia de variação de fluxo de campo magnético é extremamente abstrata e pouco trabalhada no ensino médio, o que reflete este desempenho. Villar e Kleinke (2018) já apontavam para baixo desempenho em itens com esta característica.

Segundo Fernando Lang da Silveira¹⁹, este item apresenta inúmeros problemas em sua formulação, começando pela figura que é mal feita passando por problemas conceituais na representação. Estes problemas ele atribui a necessidade dos elaboradores do ENEM de fazer o que chama de “contextualização a qualquer custo”.

Ainda segundo o autor, o item ainda apresenta problemas como:

- Como os autores optaram por colocar o símbolo de vetor sobre a velocidade V na figura, eles não poderiam ter indicado as duas velocidades com o mesmo símbolo, pois uma delas deveria ter um sinal negativo.
- As linhas de campo magnético que aparecem na figura não representam corretamente o campo magnético nem do ímã nem da bobina.
- Não é explicitado em momento algum em relação a qual referencial as velocidades representadas na figura estão se referindo.
- No comando da questão, o elaborador se refere a mover “A espira”. Uma bobina, como a representada na figura, é composta de várias espiras e então ao invés de “mover a espira” ficaria melhor “mover as espiras” ou, melhor ainda, “mover a bobina”.

Moedinger (2017) sugere que o item não é contextualizado de acordo com as recomendações do INEP, os distratores não foram bem elaborados e que de acordo com a TBR se trata de um item que exige conhecimento procedural na dimensão do entender.

¹⁹ Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=questao-72-da-prova-de-ciencias-da-natureza-caderno-azul-enem-2014>

Q76 – 2014

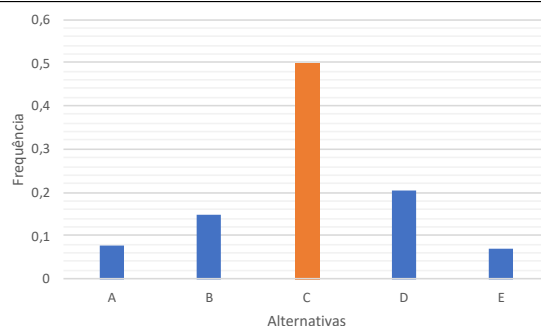
QUESTÃO 76

Alguns sistemas de segurança incluem detectores de movimento. Nesses sensores, existe uma substância que se polariza na presença de radiação eletromagnética de certa região de frequência, gerando uma tensão que pode ser amplificada e empregada para efeito de controle. Quando uma pessoa se aproxima do sistema, a radiação emitida por seu corpo é detectada por esse tipo de sensor.

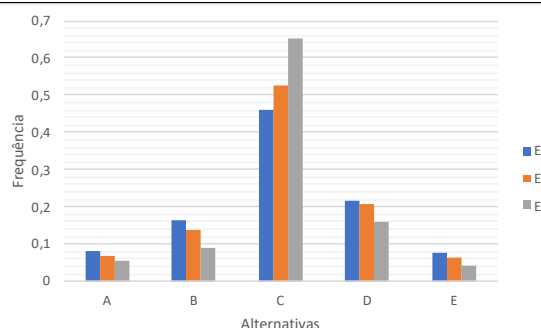
WENDLING, M. Sensores. Disponível em: www2.feg.unesp.br. Acesso em: 7 maio 2014 (adaptado).

A radiação captada por esse detector encontra-se na região de frequência

- ☐ A da luz visível.
- ☐ B do ultravioleta.
- ☒ C do infravermelho.
- ☐ D das micro-ondas.
- ☐ E das ondas longas de rádio.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se de um item contextualizado no dia a dia de pessoas que vivem principalmente em grandes cidades, onde detectores de presença estão presentes nos mais diversos locais. O item aborda um sensor de presença que detecta a radiação emitida pelo corpo humano.

O corpo humano emite calor por meio de seu metabolismo. O calor é transmitido através da radiação na faixa do infravermelho que é captada pelo detector.

Análise dos distratores:

Alternativa D: Esta questão não apresenta nenhum distrator forte, mas esta alternativa apresenta uma preferência em todos os grupos, depois da alternativa correta. Ela pode ser assinalada se a ideia de calor for associada ao micro-ondas das nossas casas que esquenta os alimentos e isso for associado ao calor emitido pelo corpo. O termo micro-ondas é mais presente no cotidiano das pessoas, assim como ultra violeta, o que faz com que algumas pessoas possam assinalar estas alternativas.

Comentário:

Este item aborda um tema em que o senso comum coincide com o conceito científico. Percebe-se que candidatos do grupo ES apresentam uma pequena vantagem em relação aos demais grupos e que a formalização deste conceito pode favorecer o desempenho do candidato, mas aparentemente não é decisivo.

Este item da forma que foi cobrado não é capaz de diferenciar o candidato que sabe os conceitos relacionado a ondulatória dos que não sabem, já que o senso comum coincide com o conceito científico.

Spazziani (2019) comenta que infravermelho, ultravioleta e micro-ondas são os três tipos de radiação mais falados no cotidiano das pessoas e este pode ser o motivo da escolha das três alternativas mais procuradas pelos candidatos.

Moedinger (2017) classifica o item na TBR como factual que necessita lembrar o conceito trabalhado.

Q82-2014

QUESTÃO 82

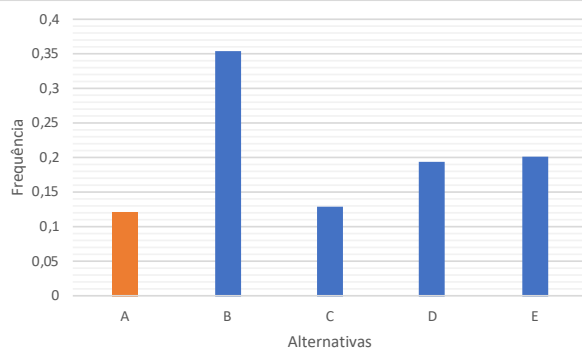
Um professor utiliza essa história em quadrinhos para discutir com os estudantes o movimento de satélites. Nesse sentido, pede a eles que analisem o movimento do coelhinho, considerando o módulo da velocidade constante.



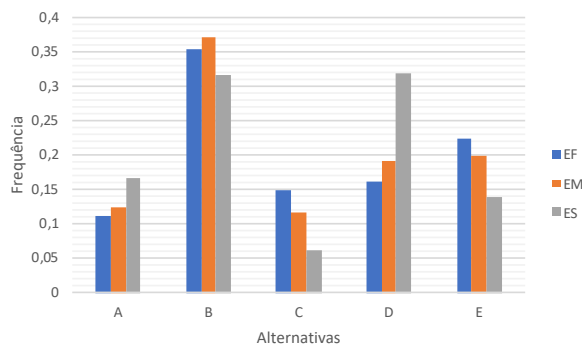
SOUSA, M. Cebolinha, n. 240, jun. 2006.

Desprezando a existência de forças dissipativas, o vetor aceleração tangencial do coelhinho, no terceiro quadrinho, é

- ☒ A) nulo.
- ☐ B) paralelo à sua velocidade linear e no mesmo sentido.
- ☐ C) paralelo à sua velocidade linear e no sentido oposto.
- ☐ D) perpendicular à sua velocidade linear e dirigido para o centro da Terra.
- ☐ E) perpendicular à sua velocidade linear e dirigido para fora da superfície da Terra.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Este item utiliza uma tirinha da turma da Monica como contexto para abordar um exercício de movimento circular uniforme. Trata-se de uma situação hipotética e impossível, em que o candidato deve fazer uma abstração e considerar apenas o que seria necessário para que ocorresse o movimento circular uniforme do coelhinho em torno da Terra.

Como o texto base pede para desprezar as forças dissipativas sobre o coelhinho, podemos considerar o módulo da velocidade é constante e o movimento do coelhinho é circular uniforme. Para que ocorra este tipo de movimento é necessário que a força resultante sobre o corpo seja a força resultante centrípeta, não havendo outras forças atuando sobre o coelhinho da Mônica. Neste caso, a componente tangencial (na direção do movimento) é nula.

Análise dos distratores:

Alternativa B: Alternativa mais assinalada pelos candidatos de todos os grupos. Esta alternativa é carregada de concepção aristotélica de movimento que diz que para ter movimento o corpo precisa ter uma força constante na direção do movimento (DRIVER *et al.*, 2004).

Alternativa D: Para o grupo ES aparece com a mesma frequência do distrator da alternativa B. Neste caso, os candidatos sabem da existência de uma aceleração centrípeta, resultado da atração gravitacional, porém confunde os aceleração centrípeta com aceleração tangencial. Vemos nesta alternativa uma superação da visão aristotélica do movimento, mas vemos também uma concepção alternativa comum associada a confusão de termos (DRIVER *et al.*, 2004).

Alternativa E: Segunda alternativa mais assinalada pelo grupo EF. Esta alternativa pode ser escolhida se o candidato pensar que é necessário compensar a força da gravidade para que o coelhinho não “caia”. Esta interpretação carrega aspectos da visão aristotélica de movimento que propões que para ter movimento é necessária uma força.

Comentário:

Trata-se de um item que descreve uma situação hipotética e impossível que o candidato deve utilizar as leis da física para explicar, se fosse possível, como ocorre o movimento do coelhinho da Mônica dando a volta na Terra em movimento circular uniforme.

A questão compara o movimento do coelhinho da Mônica com satélites orbitando a Terra. A ideia de igualar a força centrípeta a força de atração gravitacional e aproximação destes movimentos de movimento circular uniforme é trabalhado no Ensino Médio. A questão exige que o candidato saiba a diferença entre o conceito de aceleração centrípeta e tangencial e compreenda como se dá o movimento

circular uniforme, mas não exige nenhuma manipulação algébrica para sua resolução, tratando de um item puramente conceitual.

Percebe-se diferentes distratores para os grupos, o que mostra diferentes concepções e níveis de aprendizagem. A alternativa B mostra-se um distrator para todos os grupos e coincide com o senso comum e visão aristotélica de que para ter movimento é necessária uma força constante na direção do movimento. A alternativa que atraiu os candidatos do grupo ES pressupõe o conhecimento da força centrípeta, porém ocorre uma confusão de termos. Podemos associar este erro a uma concepção alternativa escolar, já que pressupõe a formalização do conceito, mas a não compreensão por parte dos estudantes. Por outro lado, o grupo EF demonstra não conhecer o movimento circular uniforme quando sugere uma força radial para fora, dando uma ideia de “sustentação” para o coelhinho não cair. Esta ideia está mais próxima de um senso comum do que de uma ideia aceita pela ciência.

Spazziani (2019) sugere que por se tratar de uma questão de pura interpretação de texto e aplicação de um conceito, os candidatos necessitam de uma formação para leitura e interpretação de textos. Adicionamos a isso que é necessário reforçar os conceitos de força resultante e força resultante centrípeta associadas ao movimento circular.

Moedinger (2017) sugere que para resolver o item é necessário que o aluno lembre do conceito de força centrípeta e o nível taxonômico da dimensão do conhecimento necessário para resolver o item é o factual.

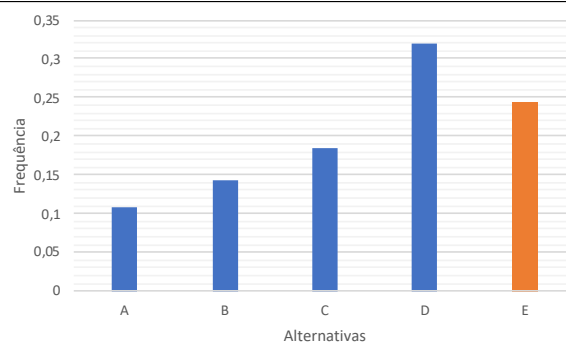
Q84-2014

QUESTÃO 84

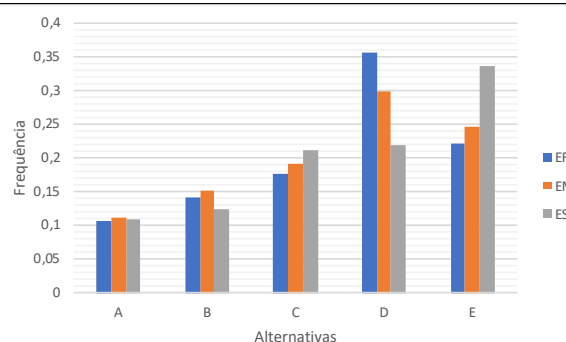
Ao sintonizarmos uma estação de rádio ou um canal de TV em um aparelho, estamos alterando algumas características elétricas de seu circuito receptor. Das inúmeras ondas eletromagnéticas que chegam simultaneamente ao receptor, somente aquelas que oscilam com determinada frequência resultarão em máxima absorção de energia.

O fenômeno descrito é a

- ☐ A difração.
- ☐ B refração.
- ☐ C polarização.
- ☐ D interferência.
- ☒ E ressonância.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Assistir televisão ou sintonizar uma estação de rádio são práticas comuns no dia a dia da maioria das pessoas. Para que seja possível sintonizar num canal de televisão ou numa estação de rádio é preciso que a antena receptora consiga absorver ao máximo a onda eletromagnética emitida pela operadora.

Para ocorrer máxima absorção de energia, o circuito receptor deve oscilar com a mesma frequência das ondas emitidas pela fonte, a estação de rádio ou o canal de TV. Isso caracteriza fenômeno da ressonância.

Análise dos distratores:

Alternativa D: atrai principalmente os candidatos dos grupos EF e EM. A escolha desta alternativa pode estar associada com a ideia de que existem diversos sinais que interferem na transmissão de TV/rádio. Muitos já devem ter ouvido “interferência” de outra estação de rádio.

No dia a dia não se fala a palavra ressonância associada a transmissão de TV/rádio, mas o termo interferência é bastante comum. Portanto, um aluno que desconheça

o fenômeno eletromagnético que explica a sintonização da frequência costuma optar por termos e conceitos que eles conhecem concretamente.

Comentário:

Trata-se de um item conceitual em que é necessário conhecer os fenômenos ondulatórios e conseguir aplicá-los em diferentes contextos. A contextualização parece ser cotidiana dos alunos, mas a explicação física do funcionamento da sintonização de rádio e televisão é mais próxima de uma linguagem técnica.

Observa-se que quanto menor a escolaridade dos pais do candidato, mais ele escolhe a alternativa D, o que pode indicar uma relação entre capital cultural e desempenho neste item. Conhecer os fenômenos ondulatórios parece ser privilégio de candidatos com mais cultura na família ou então associado ao acesso que e investimento que este grupo dá para a escolarização, já que trata-se de conceitos trabalhados na educação formal que não estão presentes no senso comum das pessoas.

Moedinger (2017) considera esta questão inapropriada, uma vez que os conteúdos relacionados a fenômenos como difração, ressonância, polarização e interferência não aparecem explicitamente na matriz de conteúdos de física. Entendemos que, por se tratar de fenômenos ondulatórios, que aparece explicitamente nos objetos de conhecimento, eles poderiam ser cobrados na prova. O autor considera que de acordo com a TBR o item pode ser classificado como lembrar para a dimensão cognitiva e o factual para o domínio do conhecimento.

Q87 – 2014

QUESTÃO 87

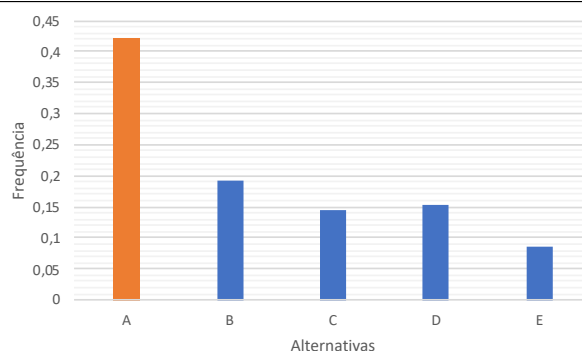
Quando adolescente, as nossas tardes, após as aulas, consistiam em tomar às mãos o violão e o dicionário de acordes de Almir Chediak e desafiar nosso amigo Hamilton a descobrir, apenas ouvindo o acorde, quais notas eram escolhidas. Sempre perdíamos a aposta, ele possui o ouvido absoluto.

O ouvido absoluto é uma característica perceptual de poucos indivíduos capazes de identificar notas isoladas sem outras referências, isto é, sem precisar relacioná-las com outras notas de uma melodia.

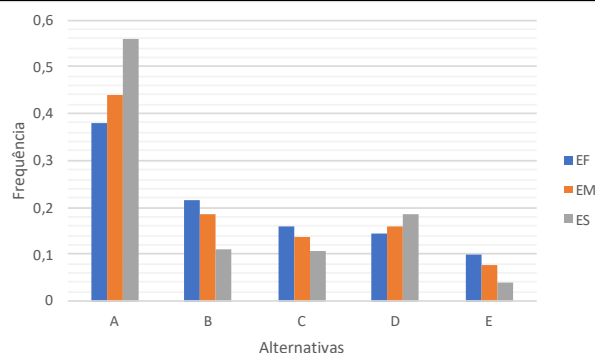
LENT, R. O cérebro do meu professor de acordeão. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br>. Acesso em: 15 ago. 2012 (adaptado).

No contexto apresentado, a propriedade física das ondas que permite essa distinção entre as notas é a

- ☒ A frequência.
☐ B intensidade.
☐ C forma da onda.
☐ D amplitude da onda.
☐ E velocidade de propagação.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item descreve uma situação cotidiana de crianças, mas que não faz parte da realidade da maioria dos candidatos que realizam o ENEM. O texto-base descreve o significado de ter ouvido absoluto, apontando para a habilidade de diferenciar notas musicais apenas ouvindo o som produzido por um instrumento musical.

O que diferencia uma nota musical de outra é a frequência das notas. Diferente do que muitos pensam, a qualidade do Som que diferencia sons graves de agudos é conhecida como altura e está associada a frequência das notas musicais e não como intensidade.

Análise dos distratores:

Alternativa B: apesar de não aparecer como distrator forte, esta alternativa é escolhida pelos grupos EF e EM. Existe uma confusão de termos entre o senso comum (cotidiano) e a linguagem técnica da acústica ondulatória. A intensidade do som (o volume) muitas vezes está associada a qualidades do som como som alto ou som baixo no senso comum. Porém o som ser alto ou baixo está associado a

frequência na linguagem técnica e o volume mais intenso e volume menos intenso estão associados com a intensidade.

Alternativa D: dentre as alternativas erradas é a mais escolhida pelo grupo ES. A amplitude da onda está associada com a intensidade (volume) e não com a frequência, porém pode haver uma confusão de termos nos alunos que tiveram contato com os conceitos de ondulatória na educação formal que confundem amplitude com frequência.

Comentário:

Trata-se de um item qualitativo em que é necessário conhecer a definição das qualidades do som para poder resolver. A contextualização é cotidiana, mas não no cotidiano da maioria dos candidatos e segundo Spazziani (2019) “o candidato deveria conhecer bem as propriedades da ondulatória, entendendo o que elas são e o que as distingue.” (p. 195), ou seja, não basta a interpretação do texto para resolver o item, se o conceito físico não estiver estabelecido.

Percebe-se que a maioria dos alunos conseguem associar a nota musical a frequência do som emitido pelo instrumento musical, porém é perceptível a vantagem do grupo ES neste item com quase 20% a mais de acerto do que o grupo EF. Percebe-se ainda que a dificuldade apresentada pelo grupo ES é diferente da dificuldade apresentada pelo grupo EF, já que a alternativa errada mais escolhida por cada um dos grupos é diferente. Isso significa que a origem das concepções alternativas destes grupos pode ser distinta. Enquanto o grupo EF apresenta concepções alternativas de origem sensorial e social, o grupo ES apresenta concepções alternativas de origem escolar.

Moedinger (2017) classifica este item como lembrar na dimensão de processo cognitivo da TBR e faz uma suposição comparando os resultados obtidos neste item e com os resultados do item Q84-2014 de que o aluno se lembra mais das grandezas características, que são na verdade em pequeno número, do que dos fenômenos em si, alguns dos quais são raramente tratados no ensino médio.

Q90 – 2014

QUESTÃO 90

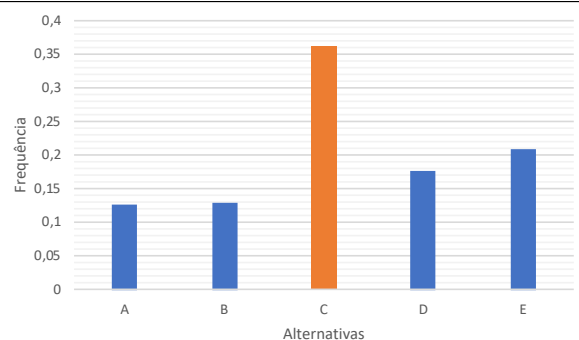
As lentes fotocromáticas escurecem quando expostas à luz solar por causa de reações químicas reversíveis entre uma espécie incolor e outra colorida. Diversas reações podem ser utilizadas, e a escolha do melhor reagente para esse fim se baseia em três principais aspectos: (i) o quanto escurece a lente; (ii) o tempo de escurecimento quando exposta à luz solar; e (iii) o tempo de esmaecimento em ambiente sem forte luz solar. A transmitância indica a razão entre a quantidade de luz que atravessa o meio e a quantidade de luz que incide sobre ele.

Durante um teste de controle para o desenvolvimento de novas lentes fotocromáticas, foram analisadas cinco amostras, que utilizam reagentes químicos diferentes. No quadro, são apresentados os resultados.

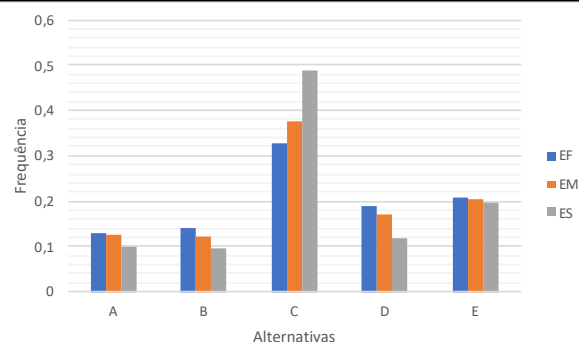
Amostra	Tempo de escurecimento (segundo)	Tempo de esmaecimento (segundo)	Transmitância média da lente quando exposta à luz solar (%)
1	20	50	80
2	40	30	90
3	20	30	50
4	50	50	50
5	40	20	95

Considerando os três aspectos, qual é a melhor amostra de lente fotocromática para se utilizar em óculos?

- ☐ A 1
☐ B 2
☒ C 3
☐ D 4
☐ E 5



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Segundo o texto base do enunciado as lentes fotocromáticas são feitas de uma substância e a escolha da melhor substância leva em conta os 3 aspectos descritos no texto: tempo de escurecimento, tempo de esmaecimento e transmitância. Cabe ao candidato perceber que é preferível que tempo de escurecimento e esmaecimento sejam o menor possível para que a pessoa não precise esperar enquanto os óculos escurecem/esmaecem e a transmitância deve ser a menor possível quando exposto a luz solar para que a luz não incomode o usuário.

No enunciado não fica claro se é melhor escurecer e clarear rapidamente, mas é intuitivo que na luz do Sol, quanto mais rápido os óculos escurecer, melhor será.

Neste sentido, a melhor das amostras é a que escurecer no menor tempo, esmaecer no menor tempo e apresentar a menor transmitância quando exposto ao Sol.

Análise dos distratores:

Alternativa E: Sugerimos que a escolha desta alternativa seja por esta apresentar

a maior transmitância entre todas as alternativas. O candidato que não sabe o significado físico deste termo e não compreende a explicação presente no texto-base pode escolher a alternativa por apresentar o maior valor nesta propriedade. Além disso, dentre as alternativas é a amostra que esmaece mais rapidamente.

Moedinger (2017) sugere que “Esta alternativa foi plausível para o aluno que não percebeu que uma lente fotocromática tem a função de escurecer, ou então não entendeu o significado de transmitância explicado no texto-base.” (p. 93)

Alternativa D: segunda escolha entre os distratores dos grupos EF e EM. Apresenta maior tempo de escurecimento e esmaecimento e menor transmitância. Neste caso, o candidato pode ter escolhido a lente que demora mais para atingir o escurecimento e retornar para a cor transparente, mas permite a passagem de menos luz. Como nem o enunciado, nem o texto-base deixam claro que a melhor amostra é a de menor tempo de escurecimento/esmaecimento o candidato que não perceber que estas características são desejáveis opta por esta alternativa.

Comentário:

Trata-se de um item contextualizado no cotidiano de muitas pessoas por tratar da temática “óculos” que é comum no dia a dia de muita gente. As lentes fotocromáticas aparecem em comerciais de televisão com frequência, o que também corrobora com a ideia de que o item trata de um assunto presente no dia a dia dos estudantes. Vale ressaltar que escurecimento/esmaecimento e transmitância são assuntos não trabalhados ou pouco trabalhados na escolaridade básica, o que pode dificultar a resolução do item, porém todas as definições aparecem no texto-base. Sendo assim, a interpretação do texto e a leitura da tabela são fundamentais para a resolução do item. Para sua resolução é necessário que o candidato avalie a lente que melhor atende a demanda a partir de uma interpretação de texto e tabela.

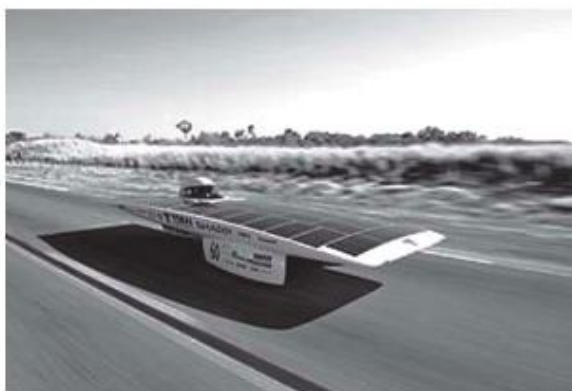
Moedinger (2017) sugere que o item é puramente de interpretação de texto e avaliação da situação descrita, não sendo necessária a utilização de conhecimentos prévios de física. Neste sentido ele indica a impossibilidade de classificar o item de acordo com a TBR.

2015

Q49 – 2015

QUESTÃO 49

Um carro solar é um veículo que utiliza apenas a energia solar para a sua locomoção. Tipicamente, o carro contém um painel fotovoltaico que converte a energia do Sol em energia elétrica que, por sua vez, alimenta um motor elétrico. A imagem mostra o carro solar Tokai Challenger, desenvolvido na Universidade de Tokai, no Japão, e que venceu o World Solar Challenge de 2009, uma corrida internacional de carros solares, tendo atingido uma velocidade média acima de 100 km/h.

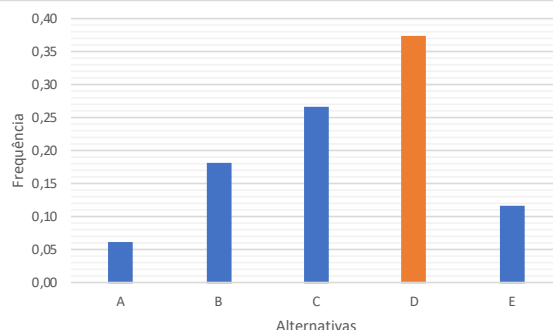


Disponível em: www.physics.hku.hk. Acesso em: 3 jun. 2015.

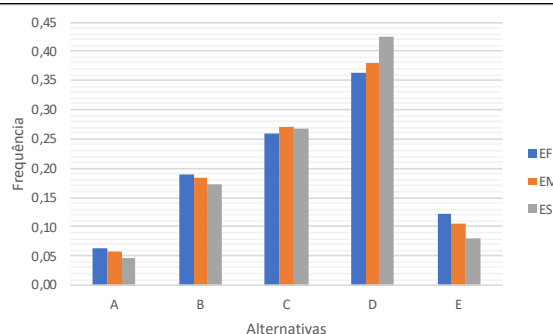
Considere uma região plana onde a insolação (energia solar por unidade de tempo e de área que chega à superfície da Terra) seja de $1\,000\text{ W/m}^2$, que o carro solar possua massa de 200 kg e seja construído de forma que o painel fotovoltaico em seu topo tenha uma área de $9,0\text{ m}^2$ e rendimento de 30%.

Desprezando as forças de resistência do ar, o tempo que esse carro solar levaria, a partir do repouso, para atingir a velocidade de 108 km/h é um valor mais próximo de

- A 1,0 s.
- B 4,0 s.
- C 10 s.
- D 33 s.**
- E 300 s.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O contexto deste item pode ser considerado “tecnológico” uma vez que trata de um assunto específico, longe da realidade dos concluintes do ensino médio. O texto-base descreve o funcionamento de um carro movido a energia solar com algumas especificações técnicas e o rendimento do veículo.

Temos que a energia Solar incidente na placa tem uma intensidade de 1000 W/m^2 . Como a placa tem 9 m^2 potência total irradiada na placa é de 9000 W .

O enunciado diz que apenas 30% da potência total é utilizada, portanto

$$P_{\text{útil}} = 9000 \cdot 30\% = 2700\text{ W}$$

Devemos desconsiderar todas as forças resistivas e, portanto, pelo teorema da energia cinética, a variação da energia cinética é igual ao trabalho da força resultante sobre o veículo e toda a potência útil é transformada em energia cinética. O veículo parte do repouso e a velocidade final do veículo é de $108\text{km/h} = 30\text{m/s}$. Pela definição de potência:

$$P_{\text{útil}} = \frac{\Delta E_c}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta E_c}{P_{\text{útil}}} \quad \Delta t = \frac{\frac{mv_f^2}{2} - \frac{mv_i^2}{2}}{P_{\text{útil}}} = \frac{200 \cdot 30^2}{2 \cdot 2700} = 33,3\text{s}$$

Análise dos distratores:

Alternativa C: Opção mais escolhida pelos candidatos depois da alternativa certa. Se o aluno não considerar o rendimento do painel de 30% ele chega no valor da alternativa;

$$P_{\text{útil}} = \frac{\Delta E_c}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta E_c}{P_{\text{útil}}} \quad \Delta t = \frac{200 \cdot 30^2}{2 \cdot 9000} = 10\text{s}$$

Alternativa B: se o candidato esquecer de converter a unidade de velocidade e não elevar o quadrado ao calcular a energia cinética ele obtém como resposta 4s:

$$P_{\text{útil}} = \frac{\Delta E_c}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta E_c}{P_{\text{útil}}} \quad \Delta t = \frac{200 \cdot 108}{2 \cdot 2700} = 4\text{s}$$

Alternativa E: temos que 30% da potência do sol (1000 W/m^2). Se o candidato só fizer operações com os números presentes no enunciado pode chegar na alternativa e.

Comentário:

A questão exige múltiplos passos para sua resolução o que é considerado um fator gerador de erros, principalmente entre novatos.

As características e a resolução do item sugerem que o desempenho dos concluintes do ensino médio seja baixa. Pelos resultados apresentados em todos os outros itens de todos os outros anos esperávamos que um item *multi-step* que necessitam de conceitos de física, não apresentasse altos índices de acerto como observamos aqui. Entendemos que o alto desempenho neste item esteja não esteja associado a resolução na íntegra do item e sim a algum raciocínio diferente do esperado em que o valor numérico coincide com o valor esperado pelo gabarito.

Um raciocínio possível que a alternativa D é a única alternativa que não contém um “número notável”, ou seja, ela destoa das demais alternativas.

Outra possibilidade é o candidato que não sabe o que fazer tentar realizar operações com os números presentes no texto-base até obter um valor encontrado nas alternativas. Se o candidato dividir a insolação pelo rendimento ele chega em

$$\frac{1000}{30} = 33,33$$

Uma última alternativa é o candidato buscar o “bom senso” na resolução do item. Existem diversos testes de veículos que aparecem em programas de televisão ou propagandas em que os carros são submetidos a testes de aceleração. A aceleração de 0 a 100km/h em 1s é inviável e em 300s (5 min) é muito lento, restando o chute entra as outras 3 alternativas, que são exatamente as três mais assinaladas.

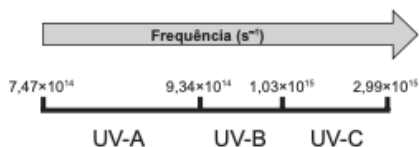
Neste sentido, sugerimos que o “bom desempenho” neste item seja fruto de distratores mal elaborados e não de conhecimento dos candidatos dos conceitos físicos apresentados.

Entre as alternativas encontram-se distratores que consideram diferentes tipos de operações feitas pelos alunos na resolução. O imediatismo faz com que ao encontrar um valor compatível com uma das alternativas o candidato assinale imediatamente (MARCOM; KLEINKE, 2017).

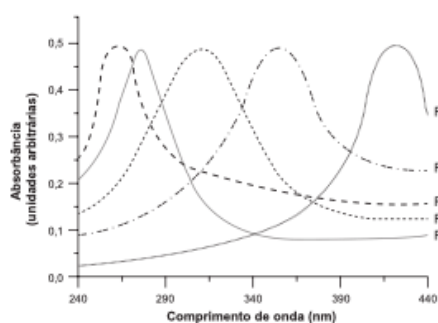
Q50-2015

QUESTÃO 50

A radiação ultravioleta (UV) é dividida, de acordo com três faixas de frequência, em UV-A, UV-B e UV-C, conforme a figura.



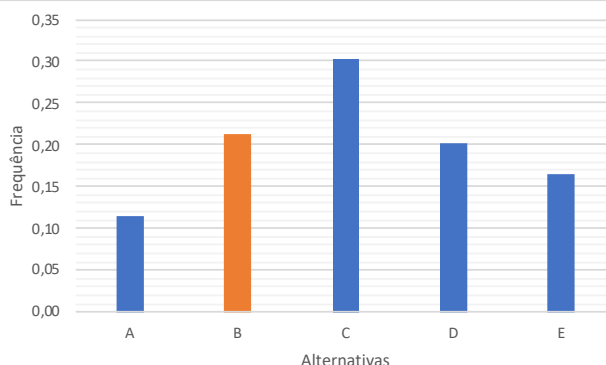
Para selecionar um filtro solar que apresente absorção máxima na faixa UV-B, uma pessoa analisou os espectros de absorção da radiação UV de cinco filtros solares:



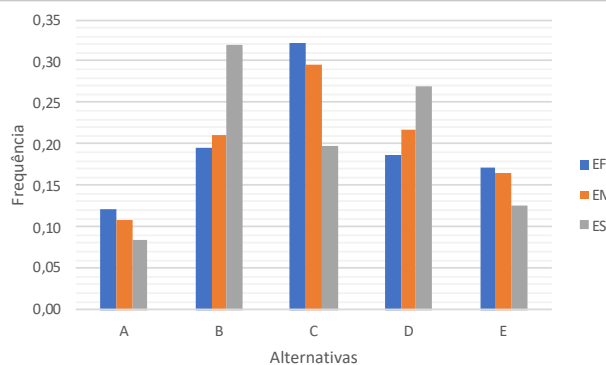
Considere:
velocidade da luz = $3,0 \times 10^8$ m/s e $1 \text{ nm} = 1,0 \times 10^{-9}$ m.

O filtro solar que a pessoa deve selecionar é o

- ☐ A V.
☒ B IV.
☐ C III.
☐ D II.
☐ E I.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item aborda um tema cotidiano do uso do protetor solar e os impactos da exposição ao Sol e a radiação UV. Apesar disso, o tema abordado no item é ondulatória e é necessária a leitura de gráfico e esquema para resolução do item.

Precisamos encontrar qual filtro é o mais recomendado para absorver os raios UV-B. Para isso é necessário calcularmos os comprimentos de ondas mínimo e máximo para a faixa UV-B, a partir da relação $v = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f}$

$$\text{Para a frequência máxima: } \lambda_{\text{mín}} = \frac{v}{f_{\text{máx}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,03 \cdot 10^{15}} = 291 \text{ nm}$$

$$\text{Para a frequência mínima: } \lambda_{\text{máx}} = \frac{v}{f_{\text{mín}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{9,34 \cdot 10^{14}} = 321 \text{ nm}$$

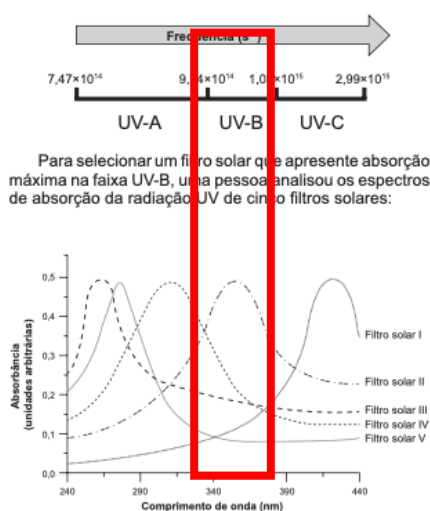
Assim, o filtro que tem maior absorvência entre 291 nm e 321 nm, de acordo com o gráfico, corresponde ao filtro IV.

Análise dos distratores:

Alternativa C: Principal distrator dos grupos EF e EM. O filtro solar III é o que apresentam maior pico de absorvância, porém na faixa de frequência que não é do UV-B. Se o candidato buscar apenas pela “maior absorvância” ele assinala esta alternativa.

Alternativa D: Principal distrator do grupo ES. A escolha do filtro solar II pode estar associada a diagramação da prova, já que na Figura 52 a região UV-B e o pico no gráfico encontram-se um abaixo do outro, conforme a figura:

Figura 52: Gráficos e esquemas presentes no texto-base do item com destaque para a região que pode ter induzido os alunos ao erro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, se o candidato calcula apenas o comprimento de onda associado a frequência mínima encontrará o valor de 321nm , que se encontra no início da curva II. Se o candidato não perceber que frequência e comprimento de onda são inversamente proporcionais ele pode confundir achando que este é o valor do comprimento de onda mínimo, o que sugere a curva II.

Comentário:

Este item exige leitura e interpretação de gráfico, figura e texto além de utilização da equação fundamental da ondulatória.

Trata-se de um item qualitativo e quantitativo em que a manipulação de fórmulas é necessária para a resolução além de exigir a mudança de unidade.

Caso o aluno tenha tentado resolver o exercício associando apenas a figura e o gráfico sem realizar nenhuma conta, por falta de tempo ou imediatismo, ele é

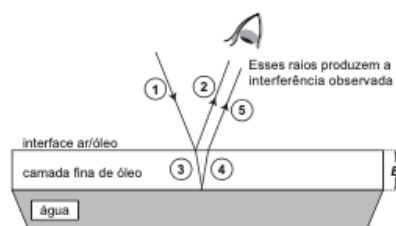
induzido ao erro. Percebe-se que este tipo de raciocínio é mais presente nos grupos ES, que tem mais treino para realização de exercícios do que os demais candidatos. Observa-se os grupos EF e EM com um comportamento muito próximo neste item. Ambos os grupos mostram desconhecimento das relações matemáticas e buscam na intuição resolver este tipo de item (CLEMENT, 1994).

Neste sentido, é perceptível que as dificuldades apresentadas pelo grupo ES são diferentes das dificuldades apresentadas pelos grupos EF e EM, ou seja, o treino novamente pode ter gerado uma concepção alternativa de origem escolar no grupo de maior nível socioeconômico.

Q53 – 2015

QUESTÃO 53

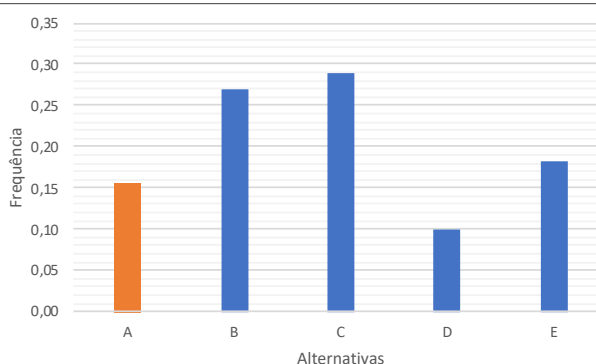
Certos tipos de superfícies na natureza podem refletir luz de forma a gerar um efeito de arco-íris. Essa característica é conhecida como iridescência e ocorre por causa do fenômeno da interferência de película fina. A figura ilustra o esquema de uma fina camada iridescente de óleo sobre uma poça d'água. Parte do feixe de luz branca incidente (1) reflete na interface ar/óleo e sofre inversão de fase (2), o que equivale a uma mudança de meio comprimento de onda. A parte refratada do feixe (3) incide na interface óleo/água e sofre reflexão sem inversão de fase (4). O observador indicado enxergará aquela região do filme com coloração equivalente à do comprimento de onda que sofre interferência completamente construtiva entre os raios (2) e (5), mas essa condição só é possível para uma espessura mínima da película. Considere que o caminho percorrido em (3) e (4) corresponde ao dobro da espessura E da película de óleo.



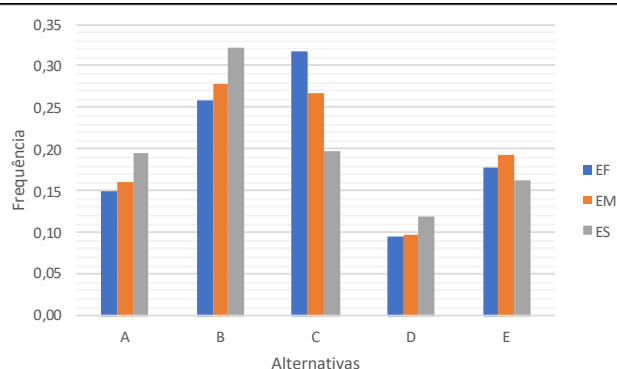
Disponível em: <http://2011.igem.org>. Acesso em: 18 nov. 2014 (adaptado).

Expressa em termos do comprimento de onda (λ), a espessura mínima é igual a

- A) $\frac{\lambda}{4}$
- B) $\frac{\lambda}{2}$
- C) $\frac{3\lambda}{4}$
- D) λ
- E) 2λ



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item aborda uma situação que já foi vivenciada por muitos (quase todos) os candidatos que prestam o ENEM e traz a explicação física para o fenômeno observado. Trata-se de um item que aborda a ondulatória e, mais especificamente, a interferência de ondas.

O texto-base diz que o raio de luz que refrata na camada fina de óleo percorre os caminhos 3 e 4, que correspondem, cada um, a espessura da película de óleo. Neste sentido, a diferença entre os caminhos percorridos pelos dois raios que atingem o olho do observador é o dobro da espessura da lâmina, ou seja, $\Delta x = 2E$. Para que enxerguemos o efeito do “arco-íris” na película de óleo, é necessário que ocorra uma interferência construtiva entre as ondas refletida e refratada, caso contrário o que veríamos é uma mancha preta. Esta informação também é fornecida no texto-base quando diz que as ondas 2 e 5 interferem construtivamente.

Como há inversão de fase na primeira reflexão e não há na refração nem na segunda reflexão, a interferência ocorrerá entre uma onda em fase e outra em oposição de fase, ou seja, com inversão de fase. Assim, a diferença de caminhos percorrido pelas ondas deve ser igual a um múltiplo ímpar de $\frac{\lambda}{2}$ para que a interferência seja construtiva.

Então:

$$\Delta x = n \frac{\lambda}{2}; (n = 1, 3, 5, \dots)$$

Como o enunciado pede a espessura mínima o menor caminho acontecerá quando a diferença entre os caminhos for de meia onda, ou seja, quando, a interferência com o menor Δx que ocorre em $n = 1$. Assim:

$$\Delta x = 2E_{\min} = 1 \cdot \frac{\lambda}{2} \Rightarrow E_{\min} = \frac{\lambda}{4}.$$

Análise dos distratores:

Alternativa B: Alternativa mais escolhida pelos candidatos do grupo ES. Este grupo provavelmente teve mais contato com conceitos de ondulatória do que os demais e, portanto, sabe que a interferência construtiva ocorre quando as ondas se sobrepõem. Se o candidato procurar por uma interferência construtiva de ondas sem inversão de fase ele chegará que o menor caminho acontece quando $2E = \lambda$,

ou seja, $E = \frac{\lambda}{2}$.

Outra possibilidade é o candidato associar o caminho percorrido pela onda refratada a um comprimento de onda. Como a onda vai e volta dentro da gota de óleo, cada parte do percurso corresponderia a meia onda.

Alternativa C: Alternativa mais escolhida pelos concluintes do Ensino Médio e é a mais escolhida pelo grupo EF. Na figura, os raios que passam pela lâmina de óleo estão numerados com os números 3 e 4, o que pode fazer com que o aluno que não sabe como desenvolver um raciocínio para resolver o problema escolha uma alternativa que apresente esses números, ou seja, $\frac{3\lambda}{4}$. Além disso, existem duas alternativas com o denominador 4, o que pode fazer com que os alunos se dividam entre essas duas alternativas.

Segundo Spazziani (2019) “(...) caso o candidato, ao pensar corretamente na condição da interferência construtiva, não considera que a espessura mínima é dada pelo menor valor possível de oscilações (comprimentos de onda) da onda luminosa: zero. Ao considerar esse valor como um, encontra-se a alternativa C.” (p. 209).

O autor sugere ainda uma terceira possibilidade:

“O candidato deve observar que a distância percorrida em 3 e em 4, juntas, equivalem a duas vezes a espessura, ou seja, $2E$. Essa distância deve ser igual a um comprimento de onda λ mais meio comprimento de onda λ – que resulta da inversão de fase. Em termos equacionados:

$$2E = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda.$$

Para $n = 1$ temos o valor encontrado na alternativa.” (p. 209)

Alternativa E: Caso o candidato perceba que a espessura é duas vezes a distância percorrida pelo raio de luz e confunda a distância percorrida pelo raio de luz com o comprimento de onda. $E = 2\lambda$.

Neste caso, como ocorre a inversão de fase da onda refratada, a interferência seria do tipo destrutiva e além disso não seria o menor caminho possível.

Comentário:

Apesar de o item abordar um fenômeno que provavelmente muitos candidatos já presenciaram, a explicação física do mesmo não é conhecida e, além disso, é pouco

trabalhada na educação básica. O item requer leitura cuidadosa do texto acompanhada de uma imagem, que do ponto de vista dos autores, é uma leitura extremamente complexa até para especialistas.

Além da interpretação da situação problema apresentada, para resolução do item é necessário que o candidato conheça o fenômeno de interferência e saiba em que situação ocorre a interferência construtiva e a interferência destrutiva.

Supomos que muitos candidatos optem pelo caminho de resolver este item pela intuição e não aplicando os conceitos físicos de ondulatória, buscando relacionar informações fornecidas no texto-base até encontrar um valor presente entre as alternativas.

Percebe-se que o padrão de respostas entre os grupos é distinto em termos de distratores, o que mostra que os grupos percorreram diferentes caminhos na resolução deste item. As experiências vivenciadas por esses grupos direcionam o raciocínio de forma diferente, ou seja, enquanto o grupo ES parece ter tido dificuldades na interpretação da situação e manipulação das fórmulas, o grupo EF buscou na imagem informações que pudessem auxiliar no raciocínio, sem levar em conta o significado físico dos dados apresentados.

Marcom (2019) classifica este item como domínio algoritmo de acordo com a Taxonomia de Smith.

Q57-2015

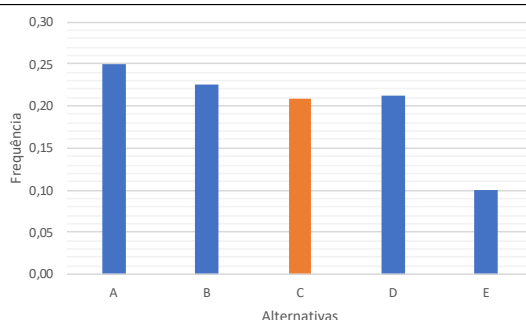
QUESTÃO 57

O ar atmosférico pode ser utilizado para armazenar o excedente de energia gerada no sistema elétrico, diminuindo seu desperdício, por meio do seguinte processo: água e gás carbônico são inicialmente removidos do ar atmosférico e a massa de ar restante é resfriada até $-198\text{ }^{\circ}\text{C}$. Presente na proporção de 78% dessa massa de ar, o nitrogênio gasoso é liquefeito, ocupando um volume 700 vezes menor. A energia excedente do sistema elétrico é utilizada nesse processo, sendo parcialmente recuperada quando o nitrogênio líquido, exposto à temperatura ambiente, entra em ebulição e se expande, fazendo girar turbinas que convertem energia mecânica em energia elétrica.

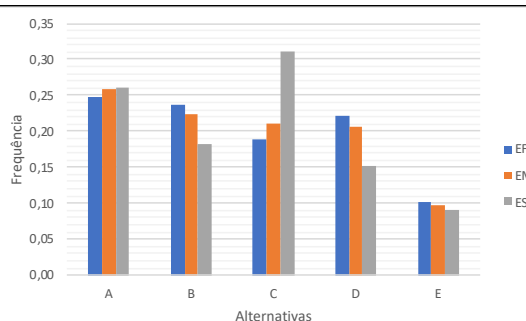
MACHADO, R. Disponível em: www.correiobraziliense.com.br. Acesso em: 9 set. 2013 (adaptado).

No processo descrito, o excedente de energia elétrica é armazenado pela

- ☐ A expansão do nitrogênio durante a ebulição.
- ☐ B absorção de calor pelo nitrogênio durante a ebulição.
- ☒ C realização de trabalho sobre o nitrogênio durante a liquefação.
- ☐ D retirada de água e gás carbônico da atmosfera antes do resfriamento.
- ☐ E liberação de calor do nitrogênio para a vizinhança durante a liquefação.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item descreve um processo tecnológico (sofisticado) de aproveitamento do trabalho realizado na expansão de um gás para geração de energia elétrica. Para que seja possível liquefazer o gás nitrogênio, é necessário realizar trabalho sobre o gás, para que seja possível baixar sua temperatura.

O gás nitrogênio está presente no ar (estado inicial). Em seguida ele “é liquefeito, ocupando um volume 700 vezes menor”, para finalmente expandir ao estado inicial, quando é utilizado para girar as turbinas. O armazenamento da energia ocorre na segunda etapa, quando ele é liquefeito.

Para haver resfriamento e liquefação do nitrogênio, o sistema de refrigeração deve realizar trabalho sobre o gás que armazenará o excedente de energia elétrica que será liberado na expansão do gás.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Principal escolha dos concluintes do Ensino Médio e dos grupos EF, EM e ES. O texto-base faz referência a ebulição e a consequente expansão que o

gás sofre que é a responsável por girar a turbina. Neste momento a energia armazenada está sendo consumida. Se o candidato não se atenta que o enunciado pede a etapa do processo em que a energia é armazenada ele pode buscar por má interpretação do texto esta alternativa.

Alternativa B: Esta alternativa é escolhida quase que na mesma frequência que a alternativa A pelos grupos EF e EM. Caso o candidato relacione a ebulição do gás a absorção de calor do ambiente ele pode assinalar esta alternativa.

Comentário:

O item é conceitual e está contextualizado em uma situação tecnológica e apresenta um enunciado confuso, onde não é simples de compreender a situação problema descrita. Este conteúdo é trabalhado, muitas vezes, no curso de química do ensino Médio e, por isso, alguns trabalhos como Spazziani (2019) não consideram este item no seu escopo de trabalho.

A princípio, para a resolução do item basta compreensão e interpretação do texto, não sendo necessário conhecimentos prévios de física ou química. Porém, o conhecimento de transformações e ciclos termodinâmicos pode ajudar o candidato a desempenhar neste item.

Diversas informações irrelevantes são fornecidas no enunciado, o que segundo Chagas (2019) configura carga cognitiva estranha. Informações como a porcentagem de nitrogênio no ar e a temperatura de liquefação do nitrogênio são fornecidos, mas não são necessários. Esta informação irrelevante pode apenas atrapalhar a resolução do item ocupando memória de processamento do candidato que busca utilizar os dados fornecidos no problema.

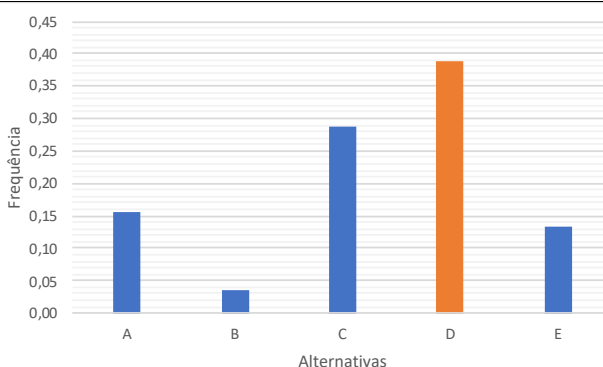
Q63 – 2015

QUESTÃO 63

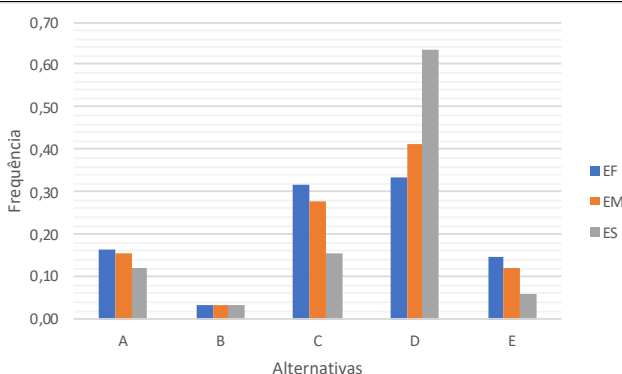
Uma pessoa abre sua geladeira, verifica o que há dentro e depois fecha a porta dessa geladeira. Em seguida, ela tenta abrir a geladeira novamente, mas só consegue fazer isso depois de exercer uma força mais intensa do que a habitual.

A dificuldade extra para reabrir a geladeira ocorre porque o(a)

- ☐ A volume de ar dentro da geladeira diminuiu.
- ☐ B motor da geladeira está funcionando com potência máxima.
- ☐ C força exercida pelo ímã fixado na porta da geladeira aumenta.
- ☒ D pressão no interior da geladeira está abaixo da pressão externa.
- ☐ E temperatura no interior da geladeira é inferior ao valor existente antes de ela ser aberta.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se de um item contextualizado no cotidiano de todos os candidatos que realizam o ENEM. Muito provável que a grande maioria dos candidatos já tenha passado pela situação descrita no texto-base que diz que a força necessária para abrir a porta da geladeira logo após fechar é maior do que a força necessária para abrir a primeira vez.

Quando a geladeira é aberta, ocorre entrada de ar quente e saída de ar frio por convecção. Após fechar a porta, esse ar quente, inicialmente à temperatura T_0 e à pressão atmosférica, é resfriado a volume constante, à temperatura interna da geladeira.

Como ocorre o resfriamento rápido, a volume constante (transformação isovolumétrica), do ar dentro da geladeira, temos da equação geral dos gases:

$$\frac{p_{final}}{T_{final}} = \frac{p_{inicial}}{T_{inicial}} = constante$$

Temos, portanto, que pressão e temperatura são grandezas que variam de forma diretamente proporcional. Se a temperatura final dentro da geladeira é menor do que a inicial (a volume constante), a pressão do ar no interior da geladeira será menor que a pressão externa, dificultando a abertura da porta, ou seja, existe uma força para dentro da geladeira gerada pela diferença de pressão.

Análise dos distratores:

Alternativa C: distrator principal dos candidatos do grupo EF. Esta é a única alternativa que aparece o termo força, que também aparece no enunciado “(...) exercer uma **força** mais intensa do que a habitual.”. Logo, os candidatos menos preparados escolhem esta alternativa.

Comentário:

Trata-se de um item conceitual (MARCOM, 2019) contextualizada no cotidiano dos candidatos. É necessário compreender fenômenos relacionados com transformações gasosas para responder corretamente este item.

Observa-se que o desempenho dos candidatos do grupo ES é substancialmente melhor do que os candidatos do grupo EF (30% maior) e EM (20% maior). É possível ver aqui que o senso comum ou concepções alternativas associadas a explicação deste fenômeno foi superado na educação formal do grupo ES, enquanto os grupos EM e EF continuam apresentando ideias não científicas enraizadas.

Segundo Villar e Kleinke (2018) “Nos itens de física experimental quando o contexto do item é mais próximo do aluno, o desempenho dos candidatos é melhor. (...) Contudo, nestes itens, observa-se uma maior diferença no desempenho dos candidatos dos grupos cujos pais têm ensino superior completo, quando comparados com os outros grupos.” (p. 7)

Vale comentar que a alternativa B recebeu menos de 4% de escolha entre os candidatos de todos os grupos. Esta alternativa apresenta um texto completamente absurdo que não tem relação alguma com o item e isso foi percebido pelos candidatos que fizeram o item. É de se supor que estes 4% que assinalaram esta alternativa compõe um grupo de candidatos que “chutaram” qualquer uma dentre as alternativas e, portanto, 4% de todas as outras alternativas também poderiam estar associadas ao chute neste item. Se esta hipótese estiver correta, temos que aproximadamente 20% dos alunos chutaram este item.

Q64-2015

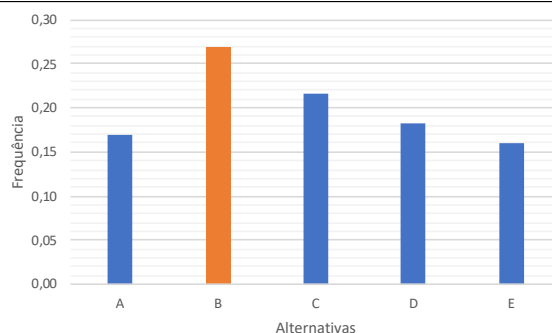
QUESTÃO 64

Uma análise criteriosa do desempenho de Usain Bolt na quebra do recorde mundial dos 100 metros rasos mostrou que, apesar de ser o último dos corredores a reagir ao tiro e iniciar a corrida, seus primeiros 30 metros foram os mais velozes já feitos em um recorde mundial, cruzando essa marca em 3,78 segundos. Até se colocar com o corpo reto, foram 13 passadas, mostrando sua potência durante a aceleração, o momento mais importante da corrida. Ao final desse percurso, Bolt havia atingido a velocidade máxima de 12 m/s.

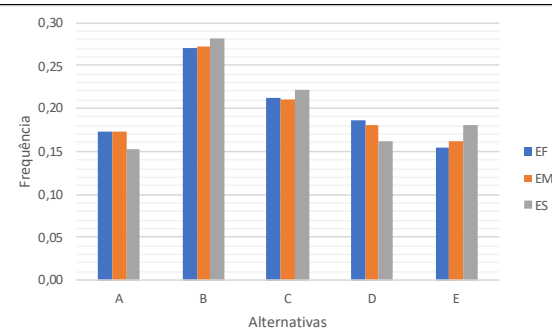
Disponível em: <http://esporte.uol.com.br>. Acesso em: 5 ago. 2012 (adaptado).

Supondo que a massa desse corredor seja igual a 90 kg, o trabalho total realizado nas 13 primeiras passadas é mais próximo de:

- A $5,4 \times 10^2$ J.
- B $6,5 \times 10^3$ J.**
- C $8,6 \times 10^3$ J.
- D $1,3 \times 10^4$ J.
- E $3,2 \times 10^4$ J.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Este item aborda uma situação de mecânica onde é necessário utilizar o teorema da energia cinética para resolver a situação-problema. O recorde mundial nos 100m rasos atingido por Usain Bolt é amplamente conhecido pelos candidatos, sendo o item um exercício de lápis e papel, parecido com os exercícios de fixação de final de capítulo.

São fornecidos os dados: $m = 90\text{kg}$ e $v_f = 12\text{m/s}$, além de que o Bolt parte do repouso no início da corrida, ou seja, $v_i = 0$.

O teorema da energia cinética diz que o trabalho da força resultante realizado sobre o atleta é dado pela variação da energia cinética do mesmo e, portanto,

$$W = \Delta E_c = \frac{mv_f^2}{2} - \frac{mv_i^2}{2} = 90 \cdot \frac{12^2}{2} = 6,48 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Análise dos distratores:

Alternativa C: O texto-base pode induzir à esta alternativa se o candidato considerar que o Bolt desenvolve um movimento uniformemente variado, ou seja, se a aceleração do Bolt for a mesma ao longo de todo o percurso e, portanto, a

força resultante for constante. O candidato deve raciocinar erroneamente da seguinte maneira: Calculando a aceleração escalar média (constante):

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{12}{3,78} = 3,17 \text{ m/s}^2$$

Calculando a força resultante “constante” resultante:

$$F_r = m \cdot a_m = 90 \cdot 3,17 = 286 \text{ N}$$

Calculando o Trabalho da força resultante (constante):

$$W_{F_r} = F_r \cdot d = 286 \cdot 30 = 8,6 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Essa resolução está errada, pois a aceleração escalar média é aquela que permite atingir a mesma velocidade no mesmo tempo e não percorrer a mesma distância no mesmo tempo.

Ela somente seria correta se o enunciado garantisse que a força resultante fosse constante, ou seja, que aceleração foi constante (movimento uniformemente variado). Porém, nesse caso, o espaço percorrido teria que ser menor que 30 m. É mais provável que a aceleração de Bolt no início da prova foi maior e à medida que a prova vai avançando a aceleração vai diminuindo e vai se atingindo uma velocidade máxima. Desta forma, para o mesmo intervalo de tempo, o deslocamento é maior (maior área no gráfico vxt).

Alternativa D: Esta alternativa tem uma pequena preferência pelos grupos EF e EM. Caso o candidato faça corretamente o raciocínio de utilizar o teorema da energia cinética, mas calcule a energia cinética utilizando a expressão errada: $E_c = mv^2$, ele chegará ao valor próximo a esta alternativa.

$$W = \Delta E_c = mv_f^2 - mv_i^2 = 90 \cdot 12^2 = 1,29 \cdot 10^4 \text{ J}.$$

Comentário:

Trata-se de um item algorítmico (MARCOM, 2019) em que é necessário lembrar a fórmula do teorema da energia cinética para sua resolução. Não são necessários múltiplos passos para a resolução do item, mas é necessária a manipulação algébrica para a sua resolução (item quantitativo).

É perceptível pelo baixíssimo ($ICI = 0,01$) que as escolhas dos candidatos neste item foi quase que ao acaso e que este conteúdo parece não fazer parte do escopo dos conteúdos trabalhados no ensino médio, em média, em nenhum dos grupos

analisados.

Os exercícios de fixação de final de capítulo de trabalho costumam trabalhar com exercícios onde a força resultante sobre o corpo é constante e, portanto, é possível aplicar a definição de trabalho como $W_{F_r} = F_r \cdot d$. Nossa hipótese é que este tipo de treino pode ter prejudicado os candidatos que se prepararam, pois os mesmos não costumam compreender plenamente o significado e as implicações físicas das fórmulas que aplicam e sim, lembram apenas da forma da equação (SHERIN, 2001).

Spazziani (2019) sugere que “o candidato deveria identificar quais os dados fornecidos e perceber qual a relação entre eles, sendo uma questão [item] de resolução direta” (p. 215)

Q65 – 2015

QUESTÃO 65

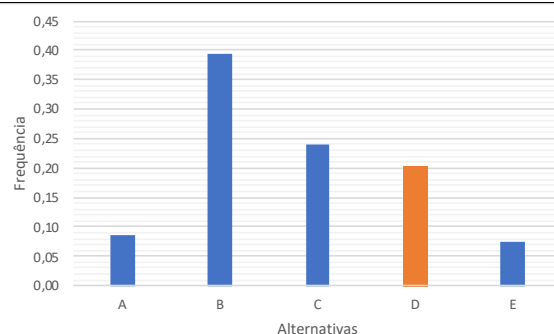
Uma garrafa térmica tem como função evitar a troca de calor entre o líquido nela contido e o ambiente, mantendo a temperatura de seu conteúdo constante. Uma forma de orientar os consumidores na compra de uma garrafa térmica seria criar um selo de qualidade, como se faz atualmente para informar o consumo de energia de eletrodomésticos. O selo identificaria cinco categorias e informaria a variação de temperatura do conteúdo da garrafa, depois de decorridas seis horas de seu fechamento, por meio de uma porcentagem do valor inicial da temperatura de equilíbrio do líquido na garrafa. O quadro apresenta as categorias e os intervalos de variação percentual da temperatura.

Tipo de selo	Variação de temperatura
A	menor que 10%
B	entre 10% e 25%
C	entre 25% e 40%
D	entre 40% e 55%
E	maior que 55%

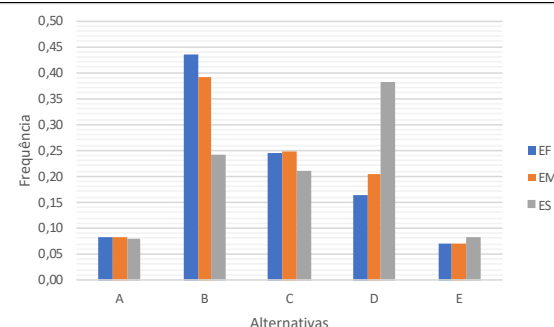
Para atribuir uma categoria a um modelo de garrafa térmica, são preparadas e misturadas, em uma garrafa, duas amostras de água, uma a 10 °C e outra a 40 °C, na proporção de um terço de água fria para dois terços de água quente. A garrafa é fechada. Seis horas depois, abre-se a garrafa e mede-se a temperatura da água, obtendo-se 16 °C.

Qual selo deveria ser posto na garrafa térmica testada?

- ☐ A
☐ B
☐ C
☒ D
☐ E



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item aborda uma situação-problema onde deve se avaliar qual o selo deveria ser posto numa garrafa térmica que represente corretamente a variação de temperatura

que o conteúdo da garrafa sofre depois de 6h.

Para avaliar a qualidade da garrafa é necessário comparar uma situação ideal de troca de calor com a situação real e para isso são fornecidos os seguintes dados:

São misturados $m_1 = \frac{m}{3}$ de água a $\theta_1 = 10^\circ C$ com $m_2 = \frac{2m}{3}$ de água a $\theta_2 = 40^\circ C$.

Para determinar a temperatura de equilíbrio na situação, temos que desprezar a capacidade térmica da garrafa, considerando o sistema termicamente isolado.

Sabemos que a $\sum Q = 0$ e que a água fria recebe calor (Q_1) até atingir o equilíbrio e a água quente perde calor (Q_2), portanto:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$m_1 \cdot c \cdot (\Delta\theta_1) + m_2 \cdot c \cdot (\Delta\theta_2) = \frac{m}{3} \cdot c \cdot (\theta_e - 10) + \frac{2m}{3} \cdot c \cdot (\theta_e - 40) = 0$$

$$\theta_e - 10 + 2\theta_e - 80 = 0 \Rightarrow \theta_e = 30^\circ C$$

O texto-base diz que depois de 6h o sistema encontra-se a $16^\circ C$, ou seja, $14^\circ C$ a menos do que deveria estar se o sistema fosse realmente isolado.

Isso representa uma variação percentual de:

$$\frac{16 - 30}{30} \cong 0,47 = 47\%$$

Como 47% está entre 40% e 50%, o selo deve ser o D.

Análise dos distratores:

Alternativa B: Alternativa mais escolhida pelos grupos EF e EM. Chama a atenção quase 45% dos candidatos do grupo EF optarem por esta alternativa. Nesta alternativa, a temperatura de equilíbrio fornecida no texto base ($16^\circ C$) está (numericamente) entre 10 e 25. O candidato, principalmente do grupo de menor nível socioeconômico, busca na tabela um intervalo no qual se encaixa o valor da temperatura de equilíbrio, não atentando para o fato de que a temperatura é dada em graus celsius e o intervalo é de porcentagens. Este comportamento de buscar soluções de forma intuitiva são previstas, principalmente em itens que exigem manipulação de fórmulas e equações matemáticas (CLEMENT, 1994).

Outra possibilidade é o candidato calcular a temperatura de equilíbrio como sendo a média das temperaturas máxima e mínima ($\theta_e = \frac{(\theta_{\max} + \theta_{\min})}{2} = 25^\circ C$) e assinala a alternativa B que tem este valor numérico em porcentagem.

Alternativa C: Segunda maior escolha dos concluintes do Ensino Médio e dos

grupos EF e EM. Esta alternativa pode ser escolhida por diversos motivos. Spazziani (2019) defende que “(...) ao realizar o balanço energético o candidato não se atente para as proporções de água fria e água quente, um terço e dois terços respectivamente. Desse modo, encontra uma temperatura final de 25°C , e ao fazer a variação percentual em relação à temperatura final de 16°C , encontra 36% de variação.”

Outra possibilidade é o candidato calcular a temperatura de equilíbrio teórica corretamente e obter 30°C . Este valor encontra-se entre 25 e 40 e o candidato pode assinalar esta alternativa por imediatismo (MARCOM; KLEINKE, 2017).

Uma terceira possibilidade é o aluno calcular a temperatura de equilíbrio fazendo a média entre a temperatura máxima e a temperatura mínima, sem atentar para as massas, o que obtém o valor de 25°C . Neste caso ele pode assinalar tanto a alternativa B, quanto a C.

Comentário:

O item aborda uma situação-problema que envolve troca de calor em uma situação real em que o aluno deve confrontar com a situação ideal. Este tipo de situação de troca de calor com perda de parte de calor para o meio não costuma aparecer nos exercícios presentes nos livros didáticos, que trabalham sempre com a situação ideal.

Percebe-se uma grande discrepância entre o desempenho dos candidatos do grupo ES em relação aos demais grupos, o que mostra que, principalmente no grupo EF, o desconhecimento total do conteúdo exigido no item faz com que o candidato busque nas informações fornecidas alguma forma intuitiva de responder o item, não levando em consideração o significado físico das grandezas envolvidas. Verifica-se que se trata de um assunto trabalhado no ensino médio, principalmente para o grupo ES.

Além de ser um item que necessita lembrar as fórmulas, são necessários alguns passos algébricos para sua resolução, ou seja, é um item quantitativo e *multistep*, o que já é conhecido na literatura como itens com menor índice de acerto (KLEINKE, 2017).

Q68 – 2015

QUESTÃO 68 ◇◇◇◇◇

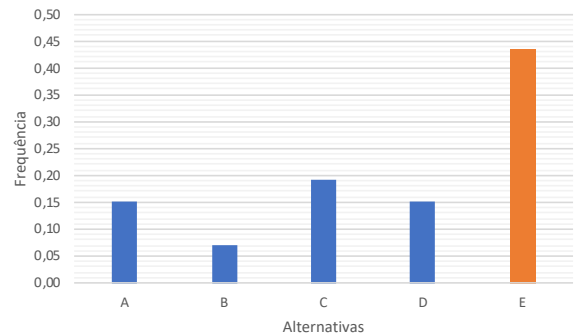
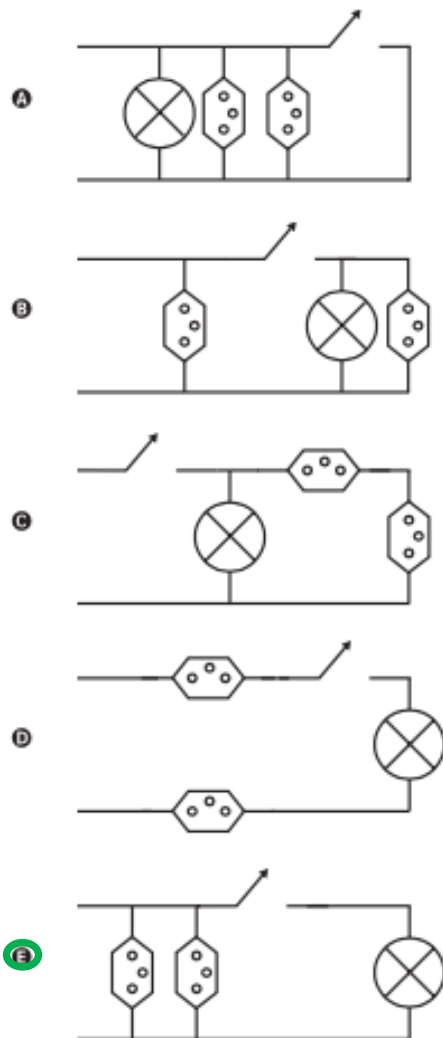
Um estudante, precisando instalar um computador, um monitor e uma lâmpada em seu quarto, verificou que precisaria fazer a instalação de duas tomadas e um interruptor na rede elétrica. Decidiu esboçar com antecedência o esquema elétrico.

“O circuito deve ser tal que as tomadas e a lâmpada devam estar submetidas à tensão nominal da rede elétrica e a lâmpada deve poder ser ligada ou desligada por um interruptor sem afetar os outros dispositivos” — pensou.

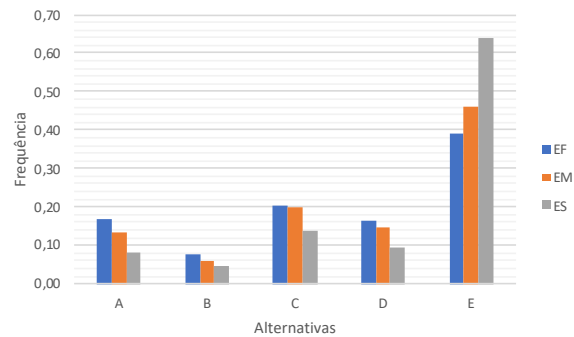
Símbolos adotados:

Lâmpada:  Tomada:  Interruptor: 

Qual dos circuitos esboçados atende às exigências?



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Este item aborda uma situação de instalação elétrica residencial em que um esquema é apresentado para representar uma situação descrita no texto-base.

Apesar de ser um tema presente no cotidiano, ele segue uma linguagem técnica de especialista.

Para responder esse item os candidatos devem compreender de que forma a corrente elétrica se movimenta pelo circuito de tal forma que ao desligar a lâmpada as tomadas não sejam afetadas.

Além disso, para ficarem sob mesma ddp, os três dispositivos devem ser associados em paralelo. Porém, a chave deve ligar e desligar apenas a lâmpada, devendo estar em série apenas com esta.

Análise dos distratores:

Alternativa C: Nesta alternativa os interruptores encontram-se em paralelo com a lâmpada, mas em série entre si. Este pode ter sido um problema de interpretação de texto, já que as duas tomadas juntas estão submetidas a mesma tensão que a lâmpada.

Nakamura (2020) classifica que esta escolha está associada a concepção alternativa “circuito aberto/incompleto” que ocorre quando o candidato tem dificuldade de enxergar o circuito completo e fechado.

Marcom (2019), por sua vez, acredita que este erro pode estar associado a diferentes origens: “a primeira de ordem conceitual a qual os respondentes desse distrator não conhecem as diferenças entre as ligações em série e paralelo. A segunda relaciona-se a um conhecimento não científico, em as pessoas têm em seu imaginário que as ligações elétricas são sequenciais de tal modo que os elementos estão dispostos de forma seriada no circuito. Essa ideia, pode estar relacionada ao fato da ligação elétrica estar escondida, ao mesmo tempo em que eles imaginam que é o mesmo fio que faz a ligação inteira.” (p. 95)

Alternativa A: Nesta alternativa todos os componentes estão em paralelo entre si, conforme solicitado pelo enunciado, porém o interruptor está apenas gerando um curto-circuito.

Sobre esta escolha, Marcom (2019) destaca que “O distrator (A), por sua vez assemelha-se mais a alternativa correta, observamos que os elementos estão todos em paralelo o que significa que todos estarão sobre mesma tensão e funcionarão de forma correta. Contudo, a lâmpada não está conectada ao interruptor, fazendo com que permaneça sempre ligada.” (p.95)

O autor completa:

“Apesar do erro presente no distrator (A), podemos supor que os candidatos que assinalaram essa alternativa detêm parte do conhecimento necessário para responder ao item.” (p.95)

Comentário:

Trata-se de um item conceitual (MARCOM, 2019) que envolve a transposição de uma situação descrita num texto para um esquema em figura. O candidato deve entender de circuitos elétricos e como a corrente elétrica flui em um circuito elétrico, pra responder este item. O item está elaborado em um contexto e linguagem técnica de instalação residencial e circuito elétrico.

Observamos grande discrepância entre a taxa de acerto (*IFI*) entre os grupos analisados, indica que existe diferença na escolarização dos grupos analisados, uma vez que se trata de um conteúdo puramente escolar. Os grupos EF e EM não demonstram ter superado completamente as concepções alternativas ligadas a circuitos elétricos, o que indica falha na escolarização dos mesmos.

O contexto deste item parece próximo dos candidatos, já que instalações elétricas estão presentes na cada de todos os candidatos, mas trata-se de um contexto técnico, próximo de especialistas.

Marcom (2019) destaca os distratores estão associados a caminhos possíveis e que os candidatos têm um conhecimento parcial do conceito e que neste caso fica evidente como o capital cultural e a violência simbólica marcam os processos de aprendizagem, podendo ser os geradores principais de tais diferenças entre os grupos. Além disso, ele percebe uma discrepância em relação ao desempenho dos diferentes sexos. Segundo ele “Acreditamos que essa diferença está diretamente ligada a violência simbólica que as mulheres sofrem ao se depararem com conceitos da área de Ciências da Natureza, área de reduto masculino.” (MARCOM, 2019, p. 97)

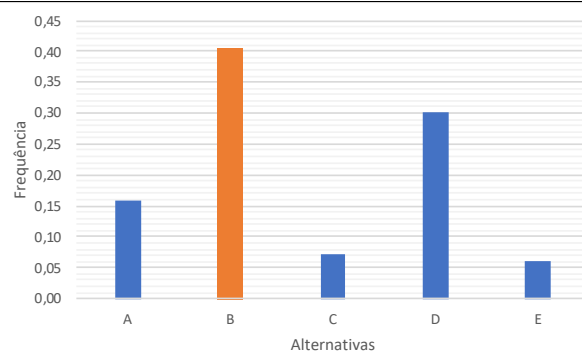
Q70 – 2015

QUESTÃO 70

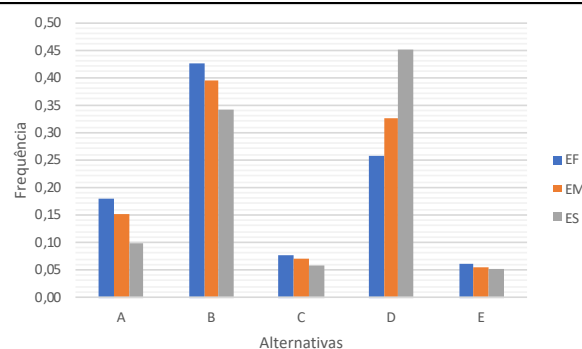
Um garoto foi à loja comprar um estilingue e encontrou dois modelos: um com borracha mais “dura” e outro com borracha mais “mole”. O garoto concluiu que o mais adequado seria o que proporcionasse maior alcance horizontal, D , para as mesmas condições de arremesso, quando submetidos à mesma força aplicada. Sabe-se que a constante elástica k_d (do estilingue mais “duro”) é o dobro da constante elástica k_m (do estilingue mais “mole”).

A razão entre os alcances $\frac{D_d}{D_m}$, referentes aos estilingues com borrachas “dura” e “mole”, respectivamente, é igual a

- ☐ A $\frac{1}{4}$
☒ B $\frac{1}{2}$
☐ C 1.
☐ D 2.
☐ E 4.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item é contextualizado no dia a dia de crianças que já brincaram com estilingue na infância. Podemos supor que a contextualização seja cotidiana, mas não supomos que seja cotidiano de todos os candidatos.

O enunciado pede a razão entre os alcances de dois estilingues feitos de material diferentes quando é aplicada a mesma força para que um garoto possa escolher qual a melhor escolha.

São fornecidos que a constante elástica do estilingue mais “duro” é o dobro da constante elástica do elástico mais “mole” ($k_D = 2k_M$) e que a força aplicada em ambos os casos será a mesma ($F_D = F_M$).

Com esses dados, é possível determinar as deformações de ambos os estilingues:

$$F = F_D = F_M$$

No equilíbrio a força elástica tem mesmo módulo, mesma direção e sentido oposto da força aplicada, portanto:

$$k_D x_D = k_M x_M \Rightarrow 2k_M x_M = k_M x_M \Rightarrow x_M = 2x_D$$

Neste sentido, o estilingue mais “mole” deforma o dobro do estilingue mais duro. Podemos também determinar a energia potencial armazenada em cada um dos estilingues nesta situação de equilíbrio:

$$E_{P_D} = \frac{k_D x_D^2}{2} = \frac{2k_M x_D^2}{2} = k_M x_D^2$$

$$E_{P_M} = \frac{k_M x_M^2}{2} = \frac{k_M (2x_D)^2}{2} = 2k_M x_D^2$$

Comparando as energias potenciais elásticas armazenadas nos dois estilingues:

$$E_{P_M} = 2E_{P_D}$$

Considerando o sistema conservativo, toda essa energia potencial é transformada em cinética para o objeto lançado. Assim:

$$E_{P_M} = E_{C_M} = \frac{mv_M^2}{2} = \frac{2mv_D^2}{2} = 2E_{P_D} = 2E_{C_D}$$

Concluimos que a relação entre as velocidades que o projétil sai do elástico nos estilingues é:

$$v_M^2 = 2v_D^2$$

Podemos dizer que o alcance que o projétil terá é proporcional ao quadrado da velocidade que ele sai do estilingue se considerarmos as mesmas condições de lançamento, já que o alcance no lançamento oblíquo é dado por $D = v^2 \sin 2\theta / g$. Como o ângulo de lançamento e a gravidade não variam, neste caso,

$$\frac{D_D}{D_M} = \frac{v_D^2}{v_M^2} = \frac{v_D^2}{2v_D^2} = \frac{1}{2}$$

Marcom (2019) sugere que este item pode ser resolvido sem a utilização desta grande quantidade de passos numéricos. Segundo o autor “Apesar dessa quantidade de passos matemáticos, uma segunda possibilidade de resolução desse item é através do raciocínio lógico com base nos valores apresentados no enunciado, o indicar que o valor da constante elástica da mola mais dura é duas vezes maior que a constante elástica da mola mais mole. Sendo assim, através dessa relação os candidatos chegariam ao mesmo resultado.” (p. 99)

Análise dos distratores:

Alternativa D: Principal distrator do item que atraiu a maioria dos candidatos do grupo ES. Se o candidato considera a deformação constante ao invés da força aplicada ele chega nesta resposta. O candidato que conhece a relação da força

elástica com a constante elástica pode assinalar este item entendendo que se a constante elástica da mola “dura” é o dobro da mola “mole”, a força necessária para realizar a mesma deformação na mola “dura”. Se a força realizada é o dobro, é de se esperar que a distância percorrida pelo objeto seja o dobro também. Neste caso, o candidato não percebe que o texto-base diz que as forças são de mesma intensidade e não a deformação da mola, como este raciocínio supõe.

Esta alternativa ainda pode ser obtida se o candidato simplesmente fizer a razão entre a força elástica da mola dura e da mola mole para a mesma deformação:

$$\frac{F_D}{F_M} = \frac{k_D x}{k_M x} = \frac{2k_M x}{k_M x} = 2$$

Spazziani (2019) sugere que esta alternativa “tem como resposta o valor ‘2’, que é o inverso da resposta correta: 1/2. Para chegar à alternativa D, o candidato cometeu equívoco invertendo a relação de dobro citada no enunciado, ou algum outro erro de inverso no momento do cálculo da razão procurada.” (p. 226)

Alternativa A: Não configura exatamente um distrator, mas a preferência por esta alternativa quando comparado com as alternativas C e E chama a atenção e não deve ser fruto do acaso. O candidato pode inferir que o alcance está relacionado com o quadrado da velocidade, o que faz pensar que se a constante elástica é o dobro, ao quadrado temos o valor do 4 do denominador.

Comentário:

O item aborda uma situação de cotidiana de brincadeira de criança com estilingues. É de se supor que muitos candidatos já vivenciaram a experiência de brincar com um estilingue e tem, portanto, uma memória sensorial da situação-problema proposta. Trata-se de uma questão quantitativa com múltiplos passos para sua resolução e que envolve conteúdos próximos de especialistas. Entendemos que este item seja inadequado para um exame como o ENEM, não sendo possível a sua resolução no tempo previsto de 3 min por item. Para o grupo ES o item pode ser classificado na região B-M do gráfico de *ICIXIFI* (BAO; REDISH, 2001) em que se encontram itens que o candidato está em dúvida entre dois modelos, prevalecendo a escolha no modelo errado.

Para resolução formal do item é necessário o domínio dos seguintes conhecimentos:

- Força elástica
- Energia potencial elástica
- Energia Cinética
- Conservação da energia mecânica
- Alcance em lançamento oblíquo.

A resposta esperada é contra intuitiva dado que é de se esperar que um estilingue mais “duro” consiga lançar um objeto mais longe, o que é verdade se a deformação sofrida nos dois estilingues for a mesma.

Marcom (2019) sugere que o desempenho do item não coincide com pessoas que conseguem resolver formalmente o problema, o que “levanta a hipótese de que os candidatos devem estar utilizando mais de um processo de resolução do problema, dado que, segundo Sabela e Radish (2012), os alunos buscam outras formas de resolução de problemas que foge de passagens matemáticas mais complexas.” (p. 100)

O professor Fernando Lang da Silveira sugere que o item apresenta problemas na sua formulação, já que segundo ele “Se o alcance horizontal for entendido como o alcance que um lançamento horizontal com o estilingue determina sobre uma superfície horizontal NÃO existe [resposta] entre as alternativas propostas”²⁰

Observa-se um comportamento anômalo neste item, quando comparado com a maioria dos outros itens analisados neste trabalho. A chance de um aluno de menor nível socioeconômico acertar o item é maior do que um aluno de maior nível socioeconômico. Duas hipóteses surgem neste momento:

- A vivência pessoal e experiência dos integrantes do grupo EF favoreceram na resolução deste item.
- O item apresenta texto-base e enunciado confusos e as alternativas estão mal formuladas, favorecendo o aluno que sabe menos acertar.

Sugerimos que a segunda hipótese explica melhor este resultado. O grau de dificuldade para resolver o item seguindo os passos é tão alto que passa a ser mais fácil buscar uma resposta intuitiva do que resolver formalmente.

²⁰ Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=questao-enem-2015-sobre-estilingues>> , acesso em 02/21

Q75 – 2015

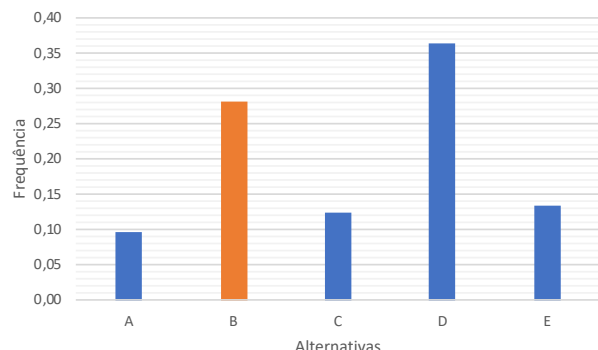
QUESTÃO 75

Será que uma miragem ajudou a afundar o Titanic? O fenômeno ótico conhecido como Fata Morgana pode fazer com que uma falsa parede de água apareça sobre o horizonte molhado. Quando as condições são favoráveis, a luz refletida pela água fria pode ser desviada por uma camada incomum de ar quente acima, chegando até o observador, vinda de muitos ângulos diferentes. De acordo com estudos de pesquisadores da Universidade de San Diego, uma Fata Morgana pode ter obscurecido os *icebergs* da visão da tripulação que estava a bordo do Titanic. Dessa forma, a certa distância, o horizonte verdadeiro fica encoberto por uma névoa escurecida, que se parece muito com águas calmas no escuro.

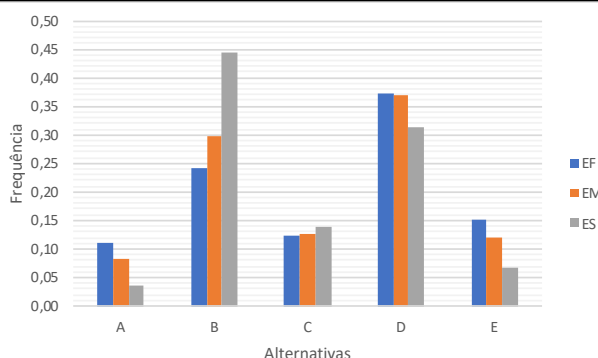
Disponível em: <http://apod.nasa.gov>. Acesso em: 6 set. 2012 (adaptado).

O fenômeno ótico que, segundo os pesquisadores, provoca a Fata Morgana é a

- ☐ A ressonância.
- ☒ B refração.
- ☐ C difração.
- ☐ D reflexão.
- ☐ E difusão.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base descreve o fenômeno da Fata Morgana e sugere que o acidente do Titanic pode ter sido causado por este fenômeno.

O índice de refração do ar depende da sua temperatura e a diferença de temperatura entre camadas de ar frio e quente faz com que a luz sofra desvios (refração) ao mudar de uma região mais quente para uma mais fria e vice e versa. Neste fenômeno, a luz refletida pela água fria pode sofrer sucessivas refrações (e reflexões), sendo gradualmente desviada nas camadas superiores de ar quente, fazendo com que o observador tenha a sensação de que um determinado objeto esteja em outra posição (posição da imagem).

Análise dos distratores:

Alternativa D: Primeira escolha dentre as alternativas para os grupos EF e EM. Uma possibilidade para explicar esta escolha é a familiaridade com o fenômeno da reflexão da luz que está presente no dia a dia das pessoas. As demais alternativas

apresentam fenômenos não tão frequentes no dia a dia e mais frequentes na escolaridade formal.

Além disso, no texto-base ao explicar o fenômeno se refere a reflexão quando diz que “a luz **refletida** pela água fria pode ser desviada (...)”. O desconhecimento total do fenômeno e a incompreensão da explicação apresentada no texto-base podem fazer com que o candidato menos preparado busque no texto-base alguma pista para resolver o problema de forma intuitiva.

Por fim, diversos autores defendem que este fenômeno é explicado tanto pela refração da luz quanto pela reflexão e que esta alternativa também estaria correta.

Alternativa E: Pouco escolhida por todos os grupos, mas é o segundo distrator mais assinalado no item. Associamos esta escolha ao fato da palavra “difusão” poder estar associada a algo “embaçado” na linguagem popular. Se a imagem fica “difusa” (“embaçada”) a pessoa não consegue enxergar direito.

Comentário:

O item é conceitual (MARCOM, 2019) e qualitativo e aborda um fenômeno presente no dia a dia das pessoas, principalmente em praias e estradas, conforme as figuras:

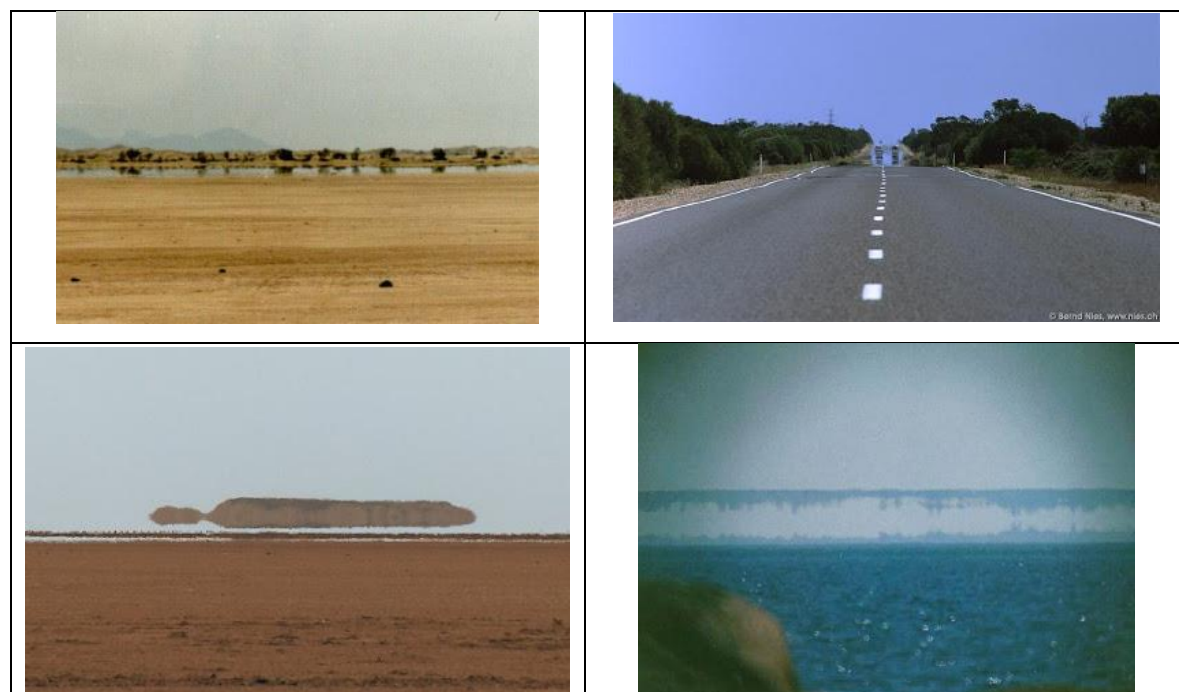


Figura 53: Imagens do fenômeno Fata Morgana. Fonte: Blog para Curioso²¹

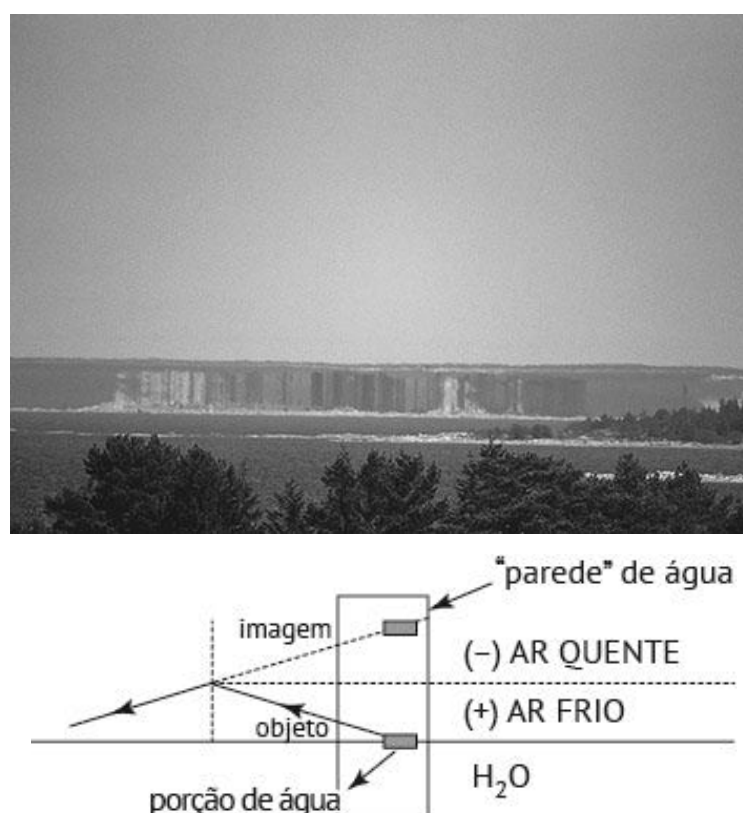
²¹ Blog para curioso. Disponível em: < <http://blogparacurioso.blogspot.com/2007/07/fata->

A explicação por trás do fenômeno não é simples, além de ser raramente trabalhada no ensino médio. Dos grupos analisados apenas o grupo ES assinalou a alternativa correta com uma frequência maior do que o distrator D, o que indica que este grupo pode ter tido mais contato com os conteúdos associados ao fenômeno tratado do que os demais. Porém, em todos os grupos, inclusive no ES, os sujeitos ficaram em dúvida entre as alternativas B e D.

De acordo com o gabarito fornecido pelo curso preparatório pra vestibular do Anglo²², “Esse item é bastante controverso. É possível encontrar diversas explicações do fenômeno da Fata Morgana associadas ao fenômeno da reflexão total, o que apontaria a alternativa D como correta.”

O gabarito comentado ainda fornece um exemplo deste fenômeno gerado pela reflexão total para sustentar que a alternativa D estaria correta.

Figura 54: Imagem e esquema para representar o fenômeno da Fata Morgana.



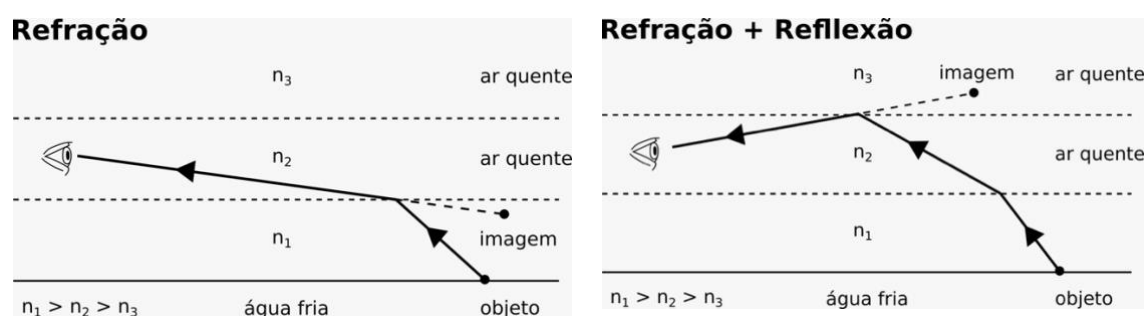
Fonte: Anglo resolve¹⁴

morgana.html>, acesso em 02/21

²² Disponível em: <<http://angloresolve.plurall.net/press/question/695349>>, acesso em 02/21

Realmente o fenômeno pode ser explicado tanto por refração da luz (conforme o gabarito esperava) quanto por reflexão total. A figura ilustra as duas situações possíveis. Nela dois raios que atingem o olho do observador vindos de um mesmo ponto, porém sofrendo diferentes desvios, provocando duas imagens em diferentes posições (I_1 e I_2), mostrando que o fenômeno óptico da Fata Morgana pode ocorrer por refração e por reflexão (total), dando margem a duas respostas.

Figura 55: Ilustração de duas situações possíveis que podem ter gerado a miragem. Uma por reflexão e outra por refração.



Fonte: Elaborado pelo autor

Por este motivo, o professor Dulcídio Junior no blog “Física na Veia”²³ sugeriu logo após a aplicação do ENEM que o item não tem resposta correta e deveria ser anulado, o que não aconteceu naquele ano.

²³ Física na Veia. Disponível em: < <https://fisicanaveia.blogosfera.uol.com.br/2015/10/29/o-enem-2015-e-as-miragens/> > acesso em 02/21.

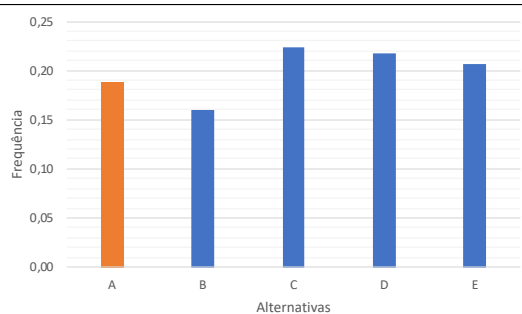
Q79 - 2015

QUESTÃO 79

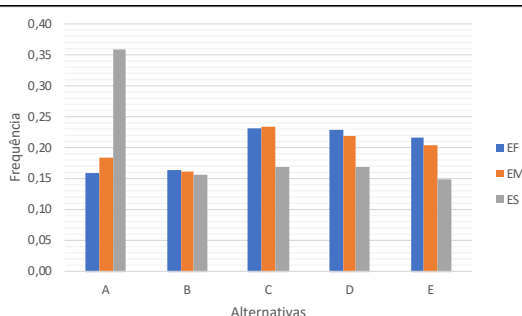
As altas temperaturas de combustão e o atrito entre suas peças móveis são alguns dos fatores que provocam o aquecimento dos motores à combustão interna. Para evitar o superaquecimento e consequentes danos a esses motores, foram desenvolvidos os atuais sistemas de refrigeração, em que um fluido arrefecedor com propriedades especiais circula pelo interior do motor, absorvendo o calor que, ao passar pelo radiador, é transferido para a atmosfera.

Qual propriedade o fluido arrefecedor deve possuir para cumprir seu objetivo com maior eficiência?

- ☒ A Alto calor específico.
- ☐ B Alto calor latente de fusão.
- ☐ C Baixa condutividade térmica.
- ☐ D Baixa temperatura de ebulição.
- ☐ E Alto coeficiente de dilatação térmica.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item apresenta uma situação problema técnica da escolha de um fluido arrefecedor refrigeração de motores a combustão interna. O enunciado pede para que o candidato identifique que característica deve ter este fluido para que ele faça a troca de calor no motor e não superaquecer o motor.

Temos que o calor transferido para o fluido pode ser determinado pela expressão do calor específico sensível, ou seja:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = \frac{Q}{m \cdot c}$$

Para que uma determinada quantidade de calor seja transferida para o fluido e ele sofra a menor variação de temperatura possível ou o fluido deve possuir uma massa muito grande ou um alto calor específico.

Como a quantidade de fluido dentro do motor deve ser fixa, para melhorar a eficiência é necessário encontrar um fluido com maior calor específico.

Análise dos distratores:

O item não apresenta distratores para os grupos EF e EM, pois as respostas estão

distribuídas aleatoriamente.

Alternativa C: Segunda opção mais assinalada no grupo ES e é a alternativa mais assinalada (mesmo com pouca diferença) pelos grupos EF e EM. Esta escolha pode estar associada a uma concepção não científica de que para não superaquecer o líquido, o mesmo deve ser um mal condutor de calor, quando na verdade o que se espera do líquido arrefecedor é exatamente o oposto. Ele deve ser um ótimo condutor para retirar o calor do motor e levar para o radiador para “jogar” este calor no ambiente.

Alternativa D: Escolhido quase na mesma frequência que a alternativa C por todos os grupos esta escolha pode estar associada a uma ideia de que o líquido ao mudar de estado físico ele “leva” o calor do motor para outro lugar. Neste sentido, uma baixa temperatura de ebulição permitiria uma rápida mudança de estado físico do líquido.

Comentário:

O item tem um contexto técnico e tem caráter conceitual e qualitativo. Em seu texto-base diversos termos técnicos como “fluido arrefecedor” ou “radiador” que não estão no linguajar do dia a dia das pessoas. Além disso, dentre as alternativas são apresentadas cinco diferentes propriedades da matéria (uma em cada alternativa), todas associadas a terminologia que, se o aluno não teve contato antes, não é possível avaliar a alternativa. Isso fica claro na resposta dos candidatos dos grupos EF e EM, em que as respostas são completamente distribuídas entre as cinco alternativas e a frequência de cada alternativa está próxima de 0,2.

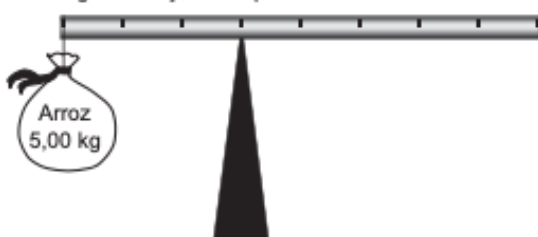
Podemos dizer ainda que existem duas perguntas em um único item, pois além de saber qual a propriedade da matéria que o líquido deve ter para conseguir mais eficiência na troca de calor do motor, o candidato deve perceber qual característica essa propriedade deve ter. Por exemplo, se o candidato percebe que a condutividade térmica é uma propriedade importante para esta troca de calor ele deve também perceber que esta condutividade deve ser alta. Dentre as alternativas existe a possibilidade de resposta “baixa condutividade térmica” o que pode confundir o aluno que sabe parcialmente o conceito abordado.

Percebe-se neste sentido que pertencer ao grupo ES parece uma vantagem na resolução deste item.

Q82 - 2015

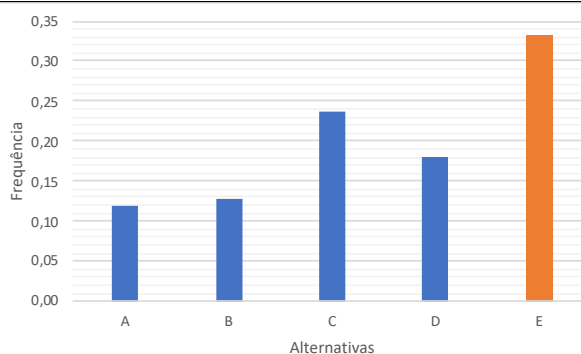
QUESTÃO 82

Em um experimento, um professor levou para a sala de aula um saco de arroz, um pedaço de madeira triangular e uma barra de ferro cilíndrica e homogênea. Ele propôs que fizessem a medição da massa da barra utilizando esses objetos. Para isso, os alunos fizeram marcações na barra, dividindo-a em oito partes iguais, e em seguida apoiaram-na sobre a base triangular, com o saco de arroz pendurado em uma de suas extremidades, até atingir a situação de equilíbrio.

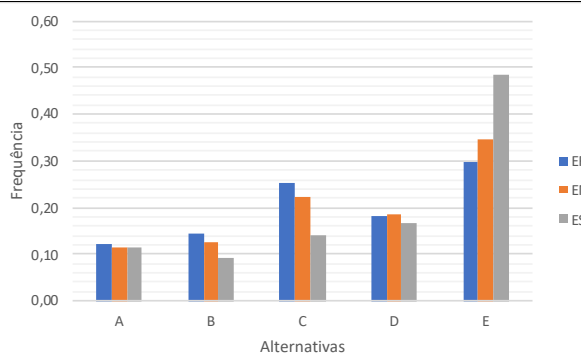


Nessa situação, qual foi a massa da barra obtida pelos alunos?

- ☐ A 3,00 kg
- ☐ B 3,75 kg
- ☐ C 5,00 kg
- ☐ D 6,00 kg
- ☒ E 15,00 kg



Concluintes do Ensino Médio



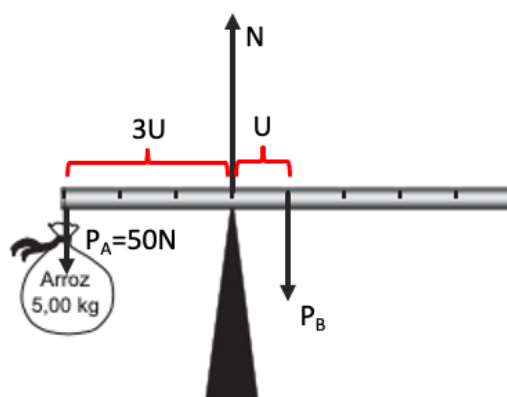
Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item apresenta um experimento de laboratório em que uma barra de massa não desprezível é utilizada para equilibrar um saco de arroz com o próprio peso.

Na barra agem as três forças mostradas na figura: peso do saco arroz P_A , o peso da barra P_B , que age no centro de gravidade da barra e a normal N , no ponto de apoio.

Figura 56: Esquema com a resolução do item.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Adotando o referencial no ponto de apoio, identificamos que temos 3 partes das oito divisões da barra entre o referencial e o saco de arroz e apenas uma parte entre o referencial e o centro de massa da barra, onde a força peso da barra atua.

Desta forma, podemos dizer que se o sistema está em equilíbrio o momento angular é nulo, ou seja, a força que faz a barra girar no sentido horário deve anular a força que faz a barra girar no sentido anti-horário.

$$M_{P_A} = M_{P_B} \Rightarrow P_A \cdot 3U = P_B \cdot U \Rightarrow 50 \cdot 3 = P_B \Rightarrow P_B = 150N$$

Se o peso da barra é de 150N, a barra tem 15kg.

Análise dos distratores:

Alternativa C: Atrai principalmente o grupo EF. O candidato que não levar em consideração o braço da balança pode supor que para equilibrar 5kg em uma balança de pratos é necessário que se coloquem 5kg do outro lado da balança, independente da posição do braço. Esta concepção alternativa pode ser fruto de uma vivência pessoal dos candidatos que já tiveram contato com balança de prato e equilibraram objetos de mesma massa nessas balanças. É, portanto, uma concepção alternativa de origem sensorial (POZO; CRESPO, 2009)

Comentário:

Trata-se de um item algorítmico (MARCOM, 2019) em que conceitos de estática como torque e equilíbrio são necessários para a resolução do problema.

Além disso, para a resolução do item não basta a interpretação do texto, sendo necessário compreender a figura apresentada, já que é o único lugar em que a

informação do ponto de apoio está presente.

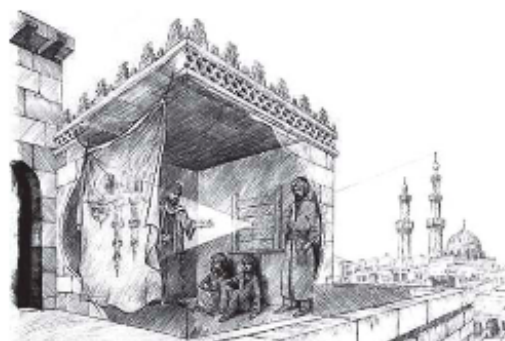
Percebe-se uma vantagem do grupo ES sobre os demais grupos o que pode indicar influência do capital cultural e o contato deste grupo com conceitos de estática.

Vale lembrar que nos exercícios de fixação de final de capítulo os exercícios costumam apresentar a barra como ideal, ou seja, com massa desprezível e não participando do processo de equilíbrio. Apesar de se tratar de um exercício clássico de estática, este item traz como dificuldade a presença de uma barra “real” em que o candidato deve lembrar que a força peso deve ser representada no centro de massa.

Q85-2015

QUESTÃO 85

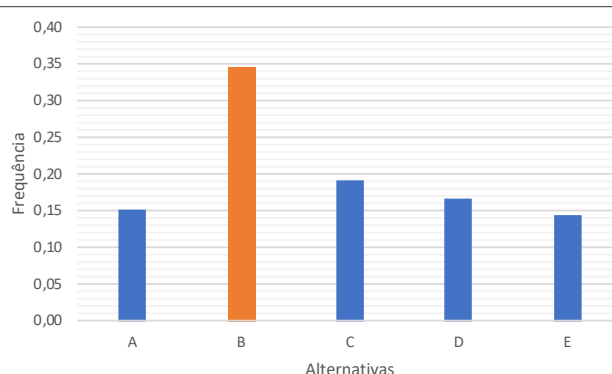
Entre os anos de 1028 e 1038, Alhazen (Ibn al-Haytham; 965-1040 d.C.) escreveu sua principal obra, o *Livro da Óptica*, que, com base em experimentos, explicava o funcionamento da visão e outros aspectos da ótica, por exemplo, o funcionamento da câmara escura. O livro foi traduzido e incorporado aos conhecimentos científicos ocidentais pelos europeus. Na figura, retirada dessa obra, é representada a imagem invertida de edificações em um tecido utilizado como anteparo.



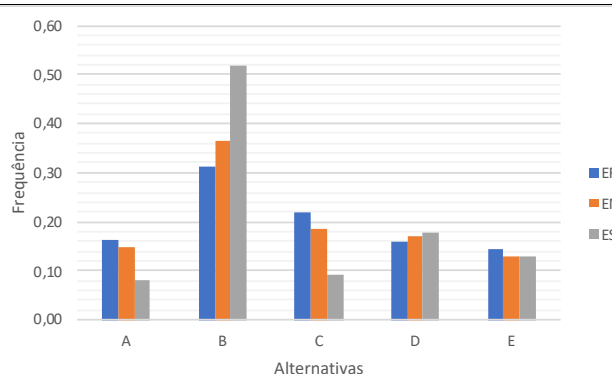
ZEWAIL, A. H. Micrographia of the twenty-first century: from camera obscura to 4D microscopy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, v. 368, 2010 (adaptado).

Se fizermos uma analogia entre a ilustração e o olho humano, o tecido corresponde ao(à)

- ☐ A íris.
- ☒ B retina.
- ☐ C pupila.
- ☐ D córnea.
- ☐ E cristalino.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

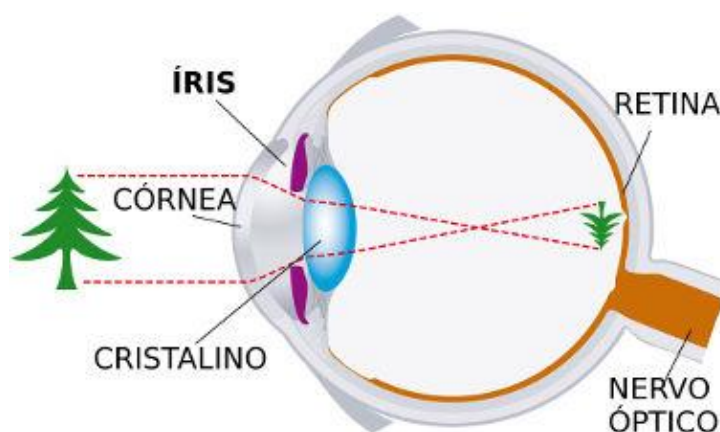
Resolução:

O texto-base fornece um contexto histórico dos primeiros registros do estudo da ótica e mostra a construção de uma câmara escura, onde é possível ver a formação de uma imagem invertida projetada num anteparo. O item pede para que o

candidato faça uma analogia entre o que o tecido representaria na estrutura do olho humano, ou seja, onde se formam as imagens no nosso olho.

A estrutura do olho análoga à imagem invertida utilizada na figura é a retina, conforme a Figura 57.

Figura 57: Esquema da formação de imagem em um olho.



Fonte: Mundo educação²⁴

Assim como na imagem fornecida no texto-base, a imagem é formada na retina é menor e invertida.

Análise dos distratores:

Alternativa C: Principal distrator dos grupos EF e EM. Das estruturas do olho apresentadas nas alternativas a pupila é a estrutura mais popular de todas. Percebe-se que é a alternativa menos assinalada pelo grupo ES, o que demonstra que este grupo domina o que é a pupila e sua função no olho assim como a grande maioria deste grupo conseguiu interpretar corretamente a figura.

Alternativa D: Não se configura propriamente como um distrator, mas é o principal distrator do grupo ES. Talvez a córnea e a sua função seja, dentre as alternativas, aquela que os candidatos menos tenham familiaridade. Neste sentido, alguns candidatos que não sabem como funciona o olho podem optar por esta alternativa. Outra possibilidade pode estar associada a famosa cirurgia de transplante de córnea que as pessoas podem associar a uma visão saudável.

²⁴ Mundo educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/olho-humano-um-instrumento-optico.htm>>, acessado em 02/21

Comentário:

Este item é conceitual (MARCOM, 2019) e apresenta um caráter interdisciplinar entre a Física e a anatomia do olho humano (Biologia). É necessária a leitura do texto e interpretação da imagem, além da analogia entre o funcionamento do olho e da câmera escura apresentada na figura. Spazziani (2019) sugere que “para a resolução, bastaria o candidato conhecer cada estrutura do olho e qual a função de cada uma delas sob a análise da ótica.” (p. 242).

A alta taxa de acerto (principalmente no grupo ES) bem como o alto poder discriminatório sugerem que este item é adequado para um exame como o ENEM e consegue diferenciar os candidatos que desempenham dos que não desempenham no exame.

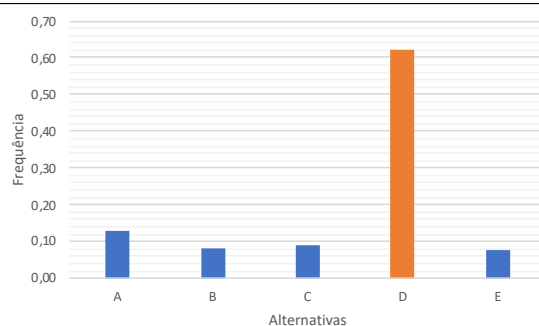
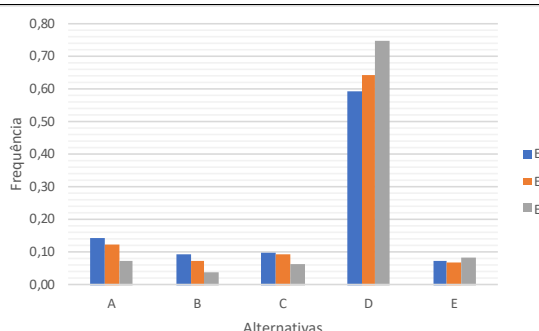
Uma possível concepção alternativa que pode explicar a alta dispersão das respostas entre as alternativas é a “confusão de termos” (DRIVER *et al.*, 2004)

Q86 – 2015**QUESTÃO 86**

Ao ouvir uma flauta e um piano emitindo a mesma nota musical, consegue-se diferenciar esses instrumentos um do outro.

Essa diferenciação se deve principalmente ao(à)

- ☐ A intensidade sonora do som de cada instrumento musical.
- ☐ B potência sonora do som emitido pelos diferentes instrumentos musicais.
- ☐ C diferente velocidade de propagação do som emitido por cada instrumento musical.
- ☒ D timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.
- ☐ E altura do som, que possui diferentes frequências para diferentes instrumentos musicais.

**Concluintes do Ensino Médio****Grupos EF, EM e ES**

Resolução:

Trata-se de um item contextualizado no cotidiano dos candidatos, já que é de se supor que todos já tenham ouvido o som de um piano e de uma flauta e consigam diferenciar estes sons.

A qualidade do som que permite diferenciar sons de diferentes instrumentos de mesma nota musical, ou seja, mesma frequência, é o timbre (formato da onda).

Análise dos distratores:

O item não apresenta distratores.

Alternativa A: A frequência de escolha desta alternativa não se configura como distrator, mas dentre as alternativas erradas é a alternativa mais assinalada, principalmente pelo grupo EF. O candidato que não conhece as qualidades do som pode associar “intensidade” (potência sonora) com diferentes sons pensando em instrumentos mais “intensos” e instrumentos menos “intensos”

Comentário:

Dentre os 92 itens analisados neste trabalho, este item é um dos que apresenta o maior IFI, sendo que no grupo ES a taxa de acerto é de, aproximadamente, 74%. Trata-se de um item conceitual (MARCOM, 2019) que basta o candidato lembrar as qualidades do som para resolver, não sendo necessária nenhuma outra habilidade ou conhecimento.

Vale destacar que o item exclui candidatos surdos que não conseguem compreender esta diferença entre sons emitidos por diferentes instrumentos a não ser na teoria.

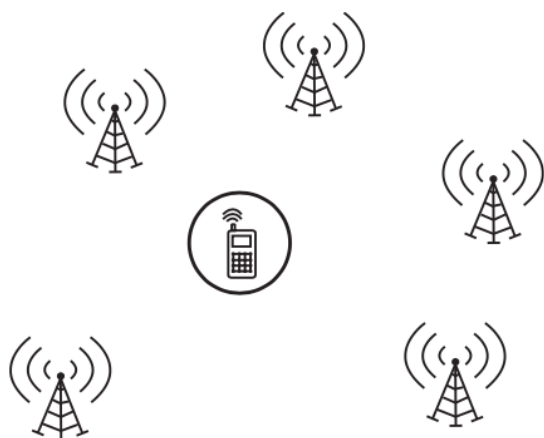
Segundo Nascimento (2019), “O item 86 da prova de 2015 tem características muito semelhantes ao i50 de 2012, (...) é um item qualitativo e exige domínio de conhecimento específico de Física. Trata-se de uma questão de acústica que aborda diretamente o conceito de timbre. Associar ao timbre o fato de que conseguimos diferenciar instrumentos musicais que emitem a mesma nota musical não é algo trivial.” (p. 137)

Spazziani (2019) destaca que “a pergunta é direta: ou se sabe, ou não se sabe, não havendo caminhos ou relações físicas que o candidato possa estabelecer para inferir a resposta correta.” (p. 245)

Q88 – 2015

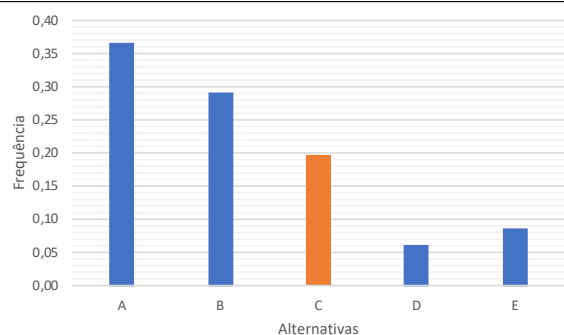
QUESTÃO 88

Para obter a posição de um telefone celular, a polícia baseia-se em informações do tempo de resposta do aparelho em relação às torres de celular da região de onde se originou a ligação. Em uma região, um aparelho está na área de cobertura de cinco torres, conforme o esquema.

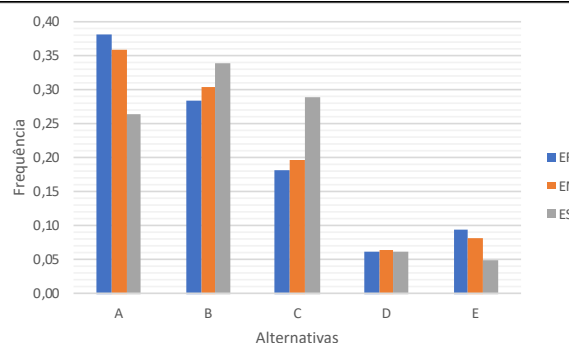


Considerando que as torres e o celular são puntiformes e que estão sobre um mesmo plano, qual o número mínimo de torres necessárias para se localizar a posição do telefone celular que originou a ligação?

- A Uma.
- B Duas.
- ☒ C Três.
- D Quatro.
- E Cinco.



Concluintes do Ensino Médio



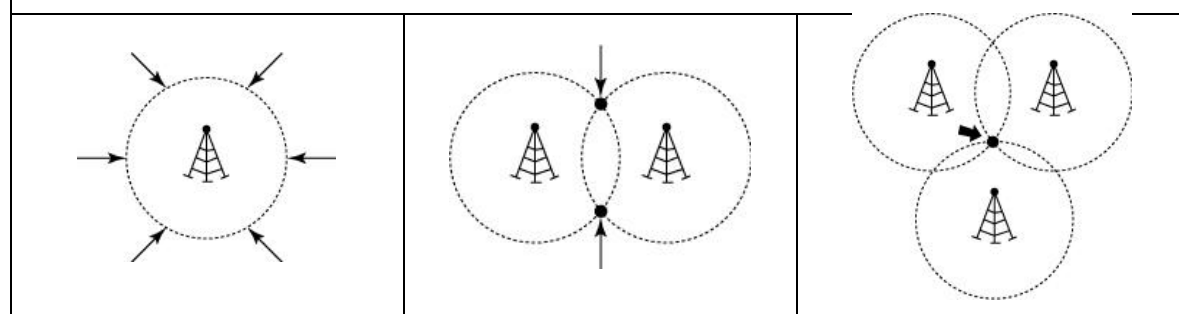
Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Este item está contextualizado no cotidiano das pessoas a partir do momento que trata do assunto de geolocalização de celulares.

A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética é constante e é igual a velocidade da luz. Cada antena emite um sinal nesta velocidade e este sinal se espalha em todas as direções. Ao receber o sinal, o celular consegue estimar a distância que se encontra da antena que emitiu o sinal.

Figura 58: Localização fornecida por uma antena (esquerda), duas antenas (centro) e três antenas.



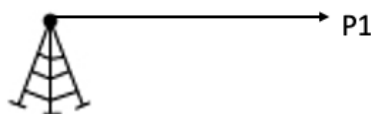
Fonte: Anglo Resolve.²⁵

Ao atingir um aparelho celular é possível que o aparelho determine a distância que ele está da antena, mas não sua localização, por sua posição pode ser qualquer uma no círculo formado em que o raio é a distância até a antena (Figura 58-esquerda). A partir do momento que o celular recebe o sinal de duas antenas simultaneamente, ele pode calcular a distância que está as duas antenas. Nesta situação, só existem duas posições possíveis para a localização do aparelho (Figura 58 – centro). Para que seja possível determinar precisamente a posição do celular é necessário que ele receba sinal simultaneamente de 3 antenas. A intersecção destes 3 círculos é um ponto, representado no centro da Figura 58 – direita. Em outras palavras, um círculo é composto de infinitos pontos ao longo do comprimento do círculo, a intersecção entre dois círculos é definida como dois pontos e a intersecção de 3 círculos é um ponto.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Principal distrator dos grupos EF e EM. O texto-base diz que a localização é dada a partir do tempo de resposta do aparelho celular em relação as torres. O candidato pode associar que basta que você tenha a informação do tempo de resposta de uma torre que já é o suficiente para localizar o aparelho. Neste caso, o candidato está ignorando a distribuição das torres no espaço e pensando no problema em uma dimensão e em 1 sentido, conforme a Figura 59.

Figura 59: Distância entre o ponto P1 e a torre considerando apenas 1 dimensão e um sentido.



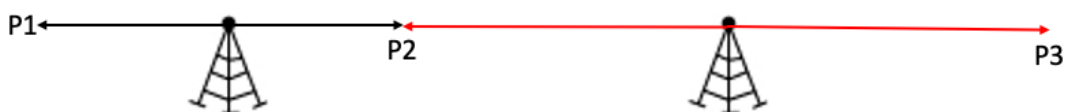
Fonte: Elaborado pelo autor.

Spazziani (2019) associa esta escolha ao trecho do enunciado que pede “número mínimo” de antenas. A alternativa A é a que apresenta o menor número de antenas dentre as alternativas

²⁵ Anglo Resolve. Disponível em: < <http://angloresolve.plurall.net/press/question/695033>>, acesso em 02/21.

Alternativa B: Principal distrator do grupo ES, é a segunda opção dos grupos EF e EM. Esta alternativa sugere que o candidato tem conhecimento parcial do funcionamento da geolocalização proposta. O candidato pode ter pensado que com o sinal de duas antenas, se for considerado apenas uma dimensão, só existe um único ponto onde o celular pode estar, conforme a Figura 60.

Figura 60: Esquema de localização em 1D.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Se o celular receber apenas o sinal a torre da esquerda, ele pode estar nas posições P1 e P2. Se receber apenas da antena da direita, ele pode estar em P2 e P3. Porém, se ele receber ao mesmo tempo o sinal das duas torres, ele só pode estar na posição P2.

Alternativa E: não se configura um distrator, mas chama a atenção que mais candidatos foram atraídos para esta alternativa do que para a alternativa D. Esta escolha pode estar associada ao número de antenas presentes na figura.

Comentário:

Trata-se de um item do domínio conceitual de acordo com a Taxonomia de Smith (MARCOM, 2019) contextualizado na geolocalização do aparelho celular, ou seja, no cotidiano de muitas pessoas. Apesar de ser “cotidiano” dos alunos experimentarem o uso de aplicativos de geolocalização no celular, o princípio físico que garante o funcionamento destes aplicativos não é amplamente divulgado. A situação descrita no texto-base é explicada pelo mesmo princípio de funcionamento do GPS, só que ao invés de utilizar os satélites, eles utilizam as antenas de celular das empresas que podem fornecer os dados mais facilmente.

Villar e Kleinke (2018) classificam este item como experimental em um contexto próximo dos candidatos e não de especialista, o que explica um desempenho melhor do que os itens experimentais da prova de 2013, por exemplo.

2016

Q47 – 2016

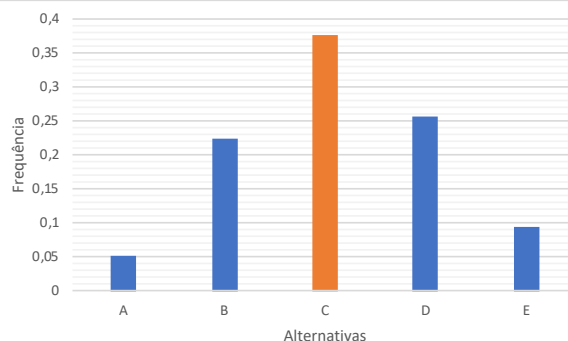
QUESTÃO 47

A usina de Itaipu é uma das maiores hidrelétricas do mundo em geração de energia. Com 20 unidades geradoras e 14 000 MW de potência total instalada, apresenta uma queda de 118,4 m e vazão nominal de 690 m³/s por unidade geradora. O cálculo da potência teórica leva em conta a altura da massa de água represada pela barragem, a gravidade local (10 m/s²) e a densidade da água (1 000 kg/m³). A diferença entre a potência teórica e a instalada é a potência não aproveitada.

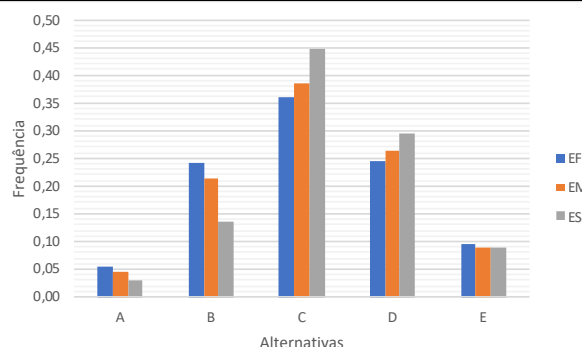
Disponível em: www.itaipu.gov.br. Acesso em: 11 maio 2013 (adaptado).

Qual é a potência, em MW, não aproveitada em cada unidade geradora de Itaipu?

- ☐ A 0
☐ B 1,18
☒ C 116,96
☐ D 816,96
☐ E 13 183,04



Concluientes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item foi elaborado num contexto técnico-científico em que a perda de energia no processo de geração de energia elétrica é abordada.

Na vazão nominal por unidade geradora da usina de 600 m³/s podemos determinar a potência máxima (teórica) que poderíamos obter da usina se não houvesse perdas no processo a partir da variação da energia potencial gravitacional que é convertida integralmente em energia elétrica.

$$P_T = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{mgh}{\Delta t} = \frac{\rho Vgh}{\Delta t}.$$

Temos que a vazão por unidade geradora é de $z = \frac{V}{\Delta t}$ e, portanto, podemos reescrever a potência teórica máxima:

$$P_T = \rho zgh = 10^3 \cdot 690 \cdot 10 \cdot 118,4 = 816,96 \cdot 10^6 W = 816,96 MW (\text{Alternativa D})$$

O texto-base diz que a potência real gerada pela usina é de 14.000 MW, portanto, a potência gerada em cada unidade é:

$$P_{Real} = \frac{14.000}{20} = 700 MW.$$

A potência não aproveitada (dissipada) é dada pela diferença entre a potência teórica e a potência gerada.

$$P_{dis} = P_T - P_{real} = 816,96 - 700 = 112,96W$$

Análise dos distratores:

Alternativa D: Principal distrator do grupo ES. Se o candidato calcula a potência total teórica ele chega no valor desta alternativa. Como se trata de um item *multi-step*, ao realizar parte do raciocínio e encontrar um valor presente entre as alternativas o imediatismo faz com que o aluno assinale a alternativa sem interpretar o significado físico do resultado encontrado (MARCOM, 2019).

Uma possibilidade para os candidatos menos preparados é manipular os valores presentes no texto-base e encontrar um valor próximo do valor apresentado na alternativa (SHERIN, 2001). No caso, se somar a vazão da água em cada unidade geradora com a altura da queda d'água e com a aceleração da gravidade, encontramos:

$$690 + 118,4 + 10 = 818,4$$

Alternativa B: Atrai pouco os candidatos dos grupos ES, mas atrai mais de 20% dos integrantes dos grupos EF e EM. o número 1,18 corresponde a 1/100 da altura da queda de água.

Este número pode ser obtido através de operações com os números presentes no texto-base sem considerar o significado físico ou as unidades correspondentes (SHERIN, 2001). Caso o candidato divida a altura da queda de água pela densidade da água e multiplique pela gravidade, por exemplo.

$$\frac{118,4}{1000} \cdot 10 = 1,18$$

Alternativa E: Não se configura como um distrator, mas o valor coincide com o valor encontrado se o candidato subtrair o valor da potência total real gerada na usina inteira do valor da potência teórica total de uma unidade geradora real.

$$P_{Real_{total}} - P_T = 14.000 - 816,96 = 13.183,04MW$$

Comentário:

Trata-se de um item que aborda a temática da geração de energia por uma hidroelétrica em que o candidato deve determinar a quantidade de energia que é perdida no processo de geração. O contexto é técnico-científico e o item é do tipo

algorítmico (MARCOM, 2019), sendo que são necessários múltiplos passos algébricos na resolução do item. O texto-base apesar de trazer um contexto técnico-científico se limita a trazer apenas as informações relevantes para a resolução do item de forma sucinta.

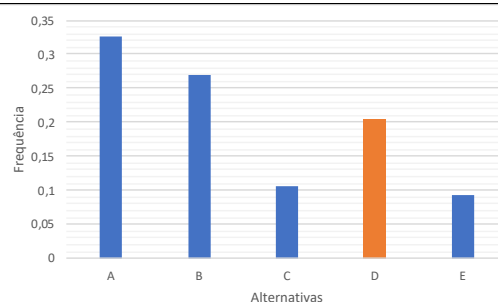
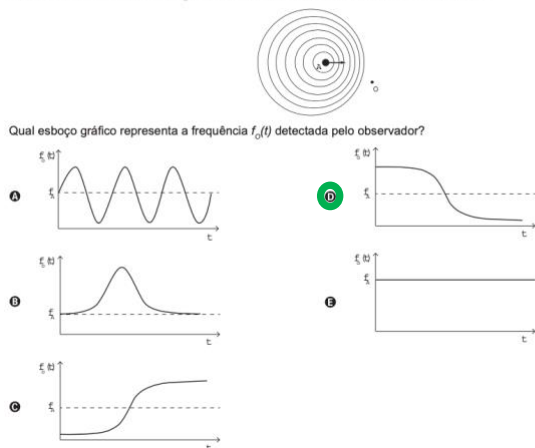
Percebe-se que enquanto os grupos EF e EM apresentam duas alternativas erradas como distratores principais, assinalados quase que na mesma intensidade, o grupo ES apresenta a alternativa D como distrator principal.

O fato de o item ser multi-step e apresentar alternativas com valores numéricos iguais a um passo intermediário faz com que alunos mais preparados assinalem a alternativa errada mesmo sabendo o conteúdo. Isso pode ocorrer, por exemplo, pelo tempo médio que o candidato tem para resolver cada um dos itens, que é de, aproximadamente, 3 min.

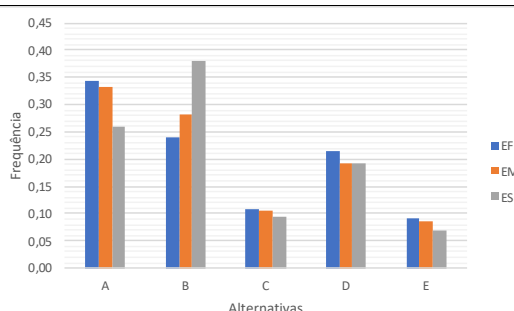
Q49 – 2016

QUESTÃO 49

Uma ambulância A em movimento retilíneo e uniforme aproxima-se de um observador O, em repouso. A sirene emite um som de frequência constante f_s . O desenho ilustra as frentes de onda do som emitido pela ambulância. O observador possui um detector que consegue registrar, no esboço de um gráfico, a frequência da onda sonora detectada em função do tempo $f_d(t)$, antes e depois da passagem da ambulância por ele.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item trata de uma situação cotidiana que acontece com frequência em grandes cidades. A situação descrita no texto-base é de uma ambulância com a sirene ligada que se aproxima e depois se afasta de um observador em repouso. O texto-base

ainda fornece uma figura em que é possível ver o efeito Doppler ocorrendo, ou seja, as na direção e sentido do movimento da ambulância é possível ver as ondas sonoras com menor comprimento de onda (maior frequência) e no sentido oposto é possível ver as ondas com maior distanciamento entre as cristas, ou seja, maior comprimento de onda (menor frequência).

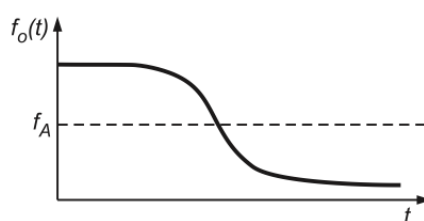
Este item é possível resolver sem o conhecimento pleno do efeito Doppler se o candidato conseguir interpretar corretamente a imagem.

De acordo com o efeito Doppler (ou com a figura apresentada) para ondas sonoras, quando há:

- Aproximação relativa entre a fonte e o observador, a frequência detectada é **maior** que a frequência emitida.
- Afastamento relativo entre a fonte e o observador, a frequência detectada é **menor** que a frequência emitida.

É possível ver pela figura que o comprimento de onda durante a aproximação é maior e no afastamento ele é menor. Basta o candidato conhecer a equação fundamental da ondulatória para perceber que a frequência tem comportamento inverso.

Neste sentido, o gráfico que melhor representa uma situação em que a frequência é maior durante a aproximação e fica menor durante o afastamento, é o gráfico presente na alternativa D.

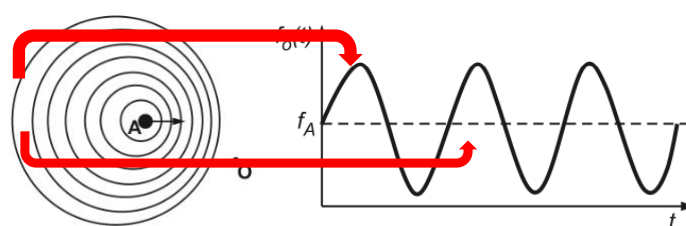


Análise dos distratores:

Alternativa A: Principal escolha dos grupos EF e EM e dos concluintes do Ensino Médio. Esta alternativa apresenta uma concepção alternativa bastante conhecida na literatura, presente principalmente em aprendizes. Beichner (1994), defende que quando confrontados com gráficos os aprendizes tendem a considerar os gráficos como imagens (fotografia da situação) e não como uma representação matemática abstrata.

O texto-base apresenta as frentes de onda do som emitido pela ambulância. Se confrontarmos com o gráfico da alternativa ele apresenta um gráfico do perfil de uma onda. Na Figura 61 ilustramos como pode ter sido o entendimento do candidato para escolher uma “foto” da onda e não o gráfico de $f \times t$ como se pede. Seria como transportar uma onda “vista de cima” para uma onda “vista de lado”

Figura 61: Esquema representando um possível raciocínio errado dos alunos para escolherem a alternativa A



Fonte: Elaborado pelo autor.

Alternativa D: Principal escolha do grupo ES e segunda escolha dos grupos EF e EM. O candidato pode ter utilizado a sua experiência sensorial (concepção alternativa sensorial) para escolher esta alternativa, se ele fizer o gráfico da intensidade sonora em função do tempo (POZO; CRESPO, 2009). A experiência de uma pessoa que vivencia uma situação semelhante a descrita no problema é de que você começa a ouvir a sirene com uma intensidade baixa, quando a ambulância se aproxima de você o som fica mais intenso e depois ele vai reduzindo de intensidade novamente. Há aqui uma confusão de termos das grandezas físicas envolvidas. Este gráfico talvez representasse bem a intensidade em função do tempo e não a frequência em função do tempo

Comentário:

Trata-se de um item conceitual de acordo com a taxonomia de Smith (MARCOM, 2019) com contexto cotidiano e, ao menos, três tipos de leitura: Texto, figura e gráfico. O item aborda uma situação cotidiana (em grandes cidades) de uma ambulância se aproximando e se afastando de uma pessoa e pede para que o candidato escolha o gráfico que melhor representa esta situação do ponto de vista da frequência. Vale comentar que a situação descrita no texto-base “O observador possui um detector que consegue registrar, no esboço de um gráfico, a frequência

da onda sonora detectada em função do tempo $f_o(t)$, antes e depois da passagem da ambulância por ele” é completamente irreal e forçada, enquadrando-se no que Silveira *et al.* (2014) chama de contextualização a qualquer custo. É possível perceber que, neste item, a dificuldade do grupo ES é diferente do que dos grupos EF e EM. Enquanto o grupo ES opta por uma alternativa que apresenta uma concepção alternativa sensorial e confusão de termos os grupos EF e EM optam por uma alternativa que contém um gráfico de uma “foto” da situação. Este segundo erro é bastante associado a aprendizes que apresentam bastante dificuldade na leitura e interpretação de gráficos como um recurso matemático abstrato.

Observamos que o grupo EF apresenta uma pequena vantagem neste item, mas não entendemos que esta vantagem esteja associada ao conhecimento em si e sim a alguma ideia alternativa que atraiu este grupo para a alternativa correta. Esta ideia pode ser parecida com a descrita na alternativa D em que durante a aproximação da ambulância percebe-se um som mais intenso e depois percebe-se ele ficando cada vez mais fraco. Seria uma interpretação do gráfico como uma foto da situação descrita e não o significado físico correto (BEICHNER, 1994)

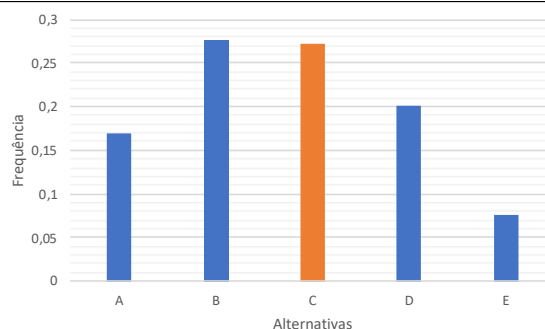
Q54 – 2016

QUESTÃO 54

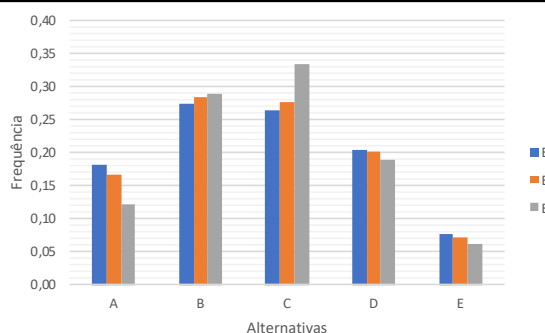
Durante a primeira fase do projeto de uma usina de geração de energia elétrica, os engenheiros da equipe de avaliação de impactos ambientais procuram saber se esse projeto está de acordo com as normas ambientais. A nova planta estará localizada à beira de um rio, cuja temperatura média da água é de 25 °C, e usará a sua água somente para refrigeração. O projeto pretende que a usina opere com 1,0 MW de potência elétrica e, em razão de restrições técnicas, o dobro dessa potência será dissipada por seu sistema de arrefecimento, na forma de calor. Para atender a resolução número 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, com uma ampla margem de segurança, os engenheiros determinaram que a água só poderá ser devolvida ao rio com um aumento de temperatura de, no máximo, 3 °C em relação à temperatura da água do rio captada pelo sistema de arrefecimento. Considere o calor específico da água igual a 4 kJ/(kg °C).

Para atender essa determinação, o valor mínimo do fluxo de água, em kg/s, para a refrigeração da usina deve ser mais próximo de

- A 42.
- B 84.
- C 167.**
- D 250.
- E 500.



Concluientes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se de um item com contexto técnico que aborda o problema da geração de energia e a poluição térmica gerada pelo resfriamento de uma usina termoeletrica. Deve-se determinar o fluxo de água mínimo para resfriar a usina de forma que as normas sejam respeitadas.

O texto-base fornece que a potência dissipada (perdida) é o dobro da potência útil, ou seja, $P_d = 2P_U = 2MW$. Além disso, é fornecido que a temperatura que a água entra na usina é de 25°C e sofre um aumento de, no máximo, $\Delta\theta = 3^\circ C$.

Pela definição, se toda a potência dissipada for convertida em calor que aquece a água de resfriamento, temos que:

$$P_d = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta t}$$

O enunciado pede a quantidade de água por unidade de tempo que deve passar pela usina, ou seja, $x = \frac{m}{\Delta t}$. Substituindo na equação:

$$P_d = x \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow x = \frac{P_d}{c \cdot \Delta\theta} = \frac{2 \cdot 10^6}{4 \cdot 10^3 \cdot 3} \approx 167 kg/s$$

Análise dos distratores:

Alternativa B: Se o candidato não percebe que a potência dissipada é o dobro da potência de operação da usina, ele encontra o valor da alternativa B.

$$x = \frac{10^6}{4 \cdot 10^3 \cdot 3} \approx 84 \text{ kg/s}$$

Alternativa D: O valor desta alternativa pode ser encontrado se a potência útil da usina for dividida pelo calor específico da água. Neste caso os candidatos não consideram as unidades nem as grandezas físicas envolvidas, apenas manipulam os valores presentes no texto-base até encontrar um valor presente nas alternativas (MARCOM, 2019)

$$\frac{1 \text{ MW}}{4 \text{ k} \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}} = 250$$

Alternativa A: Não configura um distrator, mas chama a atenção que ele atrai uma parte significativa, principalmente do grupo EF. Esta escolha pode estar associada ao comando que pede o fluxo MÍNIMO de água que deve passar pela usina e este é o menor valor dentre as alternativas.

Comentário:

É um item com contexto técnico e aborda um tema CTMA (ciência tecnologia e meio ambiente). Dada a distribuição das respostas entre as alternativas (menos na alternativa E), identificamos que o item é de difícil interpretação e inadequado ao tempo de prova disponível. Neste sentido a busca de algum raciocínio intuitivo (lógico) parece ser a melhor estratégia para o candidato na execução deste item.

Na tentativa de realizar uma contextualização técnica a qualquer custo o item apresenta um texto-base muito longo e cheio de informações irrelevantes (carga cognitiva estranha), o que ocupa memória de trabalho e atrapalha a resolução do item no tempo estipulado (CHAGAS, 2019).

O trecho “Para atender a resolução número 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, com uma ampla margem de segurança, os engenheiros determinaram que a água só poderá ser devolvida ao rio com um aumento de temperatura de, no máximo, 3°C em relação à temperatura da água do rio captada pelo sistema de arrefecimento.” poderia ser reduzido a “De acordo com as normas vigentes a água só pode ser devolvida ao rio com um aumento de, no

máximo 3°C em relação à temperatura da água captada”.

Além disso, consideramos uma “pegadinha” fornecer o valor da potência útil da usina, sendo que o valor necessário para a resolução do item é a potência dissipada.

Q55 – 2016

QUESTÃO 55

A Figura 1 apresenta o gráfico da intensidade, em decibéis (dB), da onda sonora emitida por um alto-falante, que está em repouso, e medida por um microfone em função da frequência da onda para diferentes distâncias: 3 mm, 25 mm, 51 mm e 60 mm. A Figura 2 apresenta um diagrama com a indicação das diversas faixas do espectro de frequência sonora para o modelo de alto-falante utilizado neste experimento.

Figura 1

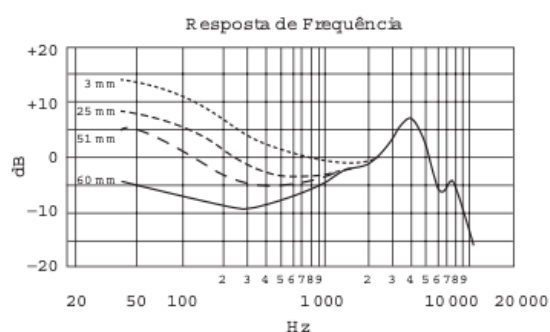
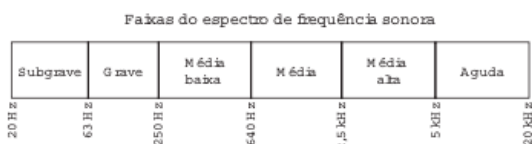
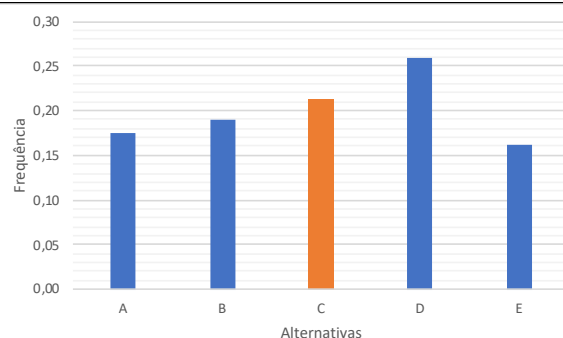


Figura 2

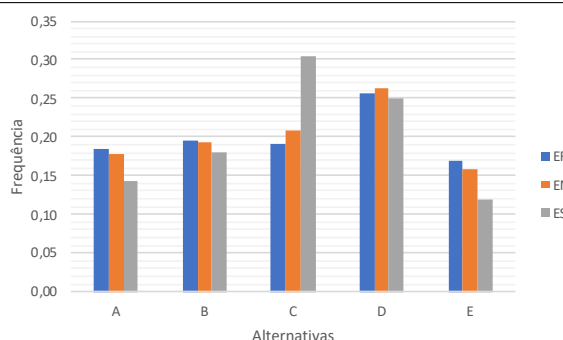


Relacionando as informações presentes nas figuras 1 e 2, como a intensidade sonora percebida é afetada pelo aumento da distância do microfone ao alto-falante?

- ☐ A Aumenta na faixa das frequências médias.
- ☐ B Diminui na faixa das frequências agudas.
- ☒ C Diminui na faixa das frequências graves.
- ☐ D Aumenta na faixa das frequências médias altas.
- ☐ E Aumenta na faixa das frequências médias baixas.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se de um item contextualizado em um experimento de bancada de laboratório de física, mais próximo da física do ensino superior. É fornecido um gráfico de intensidade sonora em diferentes frequências, onde as frequências são apresentadas em escala logarítmica.

Analisando o gráfico da figura 1 nota-se que, até 300 Hz o nível sonoro diminui com

o aumento da frequência para qualquer uma das distâncias em que o microfone estiver posicionado. Na figura 2, constata-se que sons nessas frequências são classificados como graves.

Em todas as outras faixas do espectro de frequência dados na figura 2 a intensidade não segue um único padrão. Ela diminui e depois aumenta ou aumenta e depois diminui, não sendo possível afirmar que a intensidade apenas diminui ou apenas aumenta.

Análise dos distratores:

Alternativa D: principal distrator em todos os grupos. É possível ver pelo gráfico que nesta faixa de frequência tem um pico de intensidade, o que pode ter atraído grande parte dos candidatos quando a alternativa diz que nesta faixa a intensidade aumenta. Os candidatos que optaram por esta alternativa não levaram em conta que após o pico a intensidade volta a diminuir ainda dentro da faixa de frequência.

Comentário:

Percebe-se uma pequena vantagem do grupo ES para este item, porém o $ICI = 0,01$ para o grupo dos concluintes do ensino médio e para os concluintes do Ensino Médio indica que este item foi respondido ao acaso pelos candidatos. Neste sentido, entendemos que a distribuição quase aleatória nas alternativas indica que o item é inadequado para aferir o conhecimento ao final da educação básica. Isso pode estar associado ao fato de este item envolver diversos fatores que dificultam para o concluinte do ensino médio que enunciaremos a seguir:

- Contexto científico – experimento de laboratório de ensino superior
- Três tipos de leitura: texto, gráfico figura.
- Gráfico com escala logarítmica.
- “Pegadinha”: a leitura do gráfico pressupõe que o candidato perceba que dentro de uma mesma faixa de frequência a intensidade sonora pode aumentar e diminuir, inclusive com pequenas oscilações.

Apesar disso, o item não necessitava de conhecimento prévio dos conteúdos associados a ondulatória, mas de interpretação de gráfico.

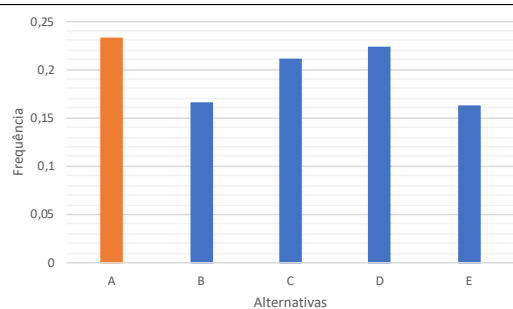
Q57 – 2016

QUESTÃO 57

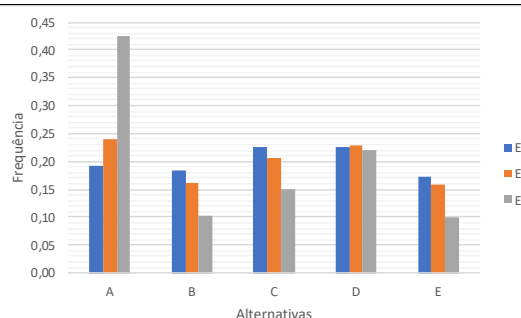
O morcego emite pulsos de curta duração de ondas ultrassônicas, os quais voltam na forma de ecos após atingirem objetos no ambiente, trazendo informações a respeito das suas dimensões, suas localizações e dos seus possíveis movimentos. Isso se dá em razão da sensibilidade do morcego em detectar o tempo gasto para os ecos voltarem, bem como das pequenas variações nas frequências e nas intensidades dos pulsos ultrassônicos. Essas características lhe permitem caçar pequenas presas mesmo quando estão em movimento em relação a si. Considere uma situação unidimensional em que uma mariposa se afasta, em movimento retilíneo e uniforme, de um morcego em repouso.

A distância e velocidade da mariposa, na situação descrita, seriam detectadas pelo sistema de um morcego por quais alterações nas características dos pulsos ultrassônicos?

- ☒ A Intensidade diminuída, o tempo de retorno aumentado e a frequência percebida diminuída.
- ☐ B Intensidade aumentada, o tempo de retorno diminuído e a frequência percebida diminuída.
- ☐ C Intensidade diminuída, o tempo de retorno diminuído e a frequência percebida aumentada.
- ☐ D Intensidade diminuída, o tempo de retorno aumentado e a frequência percebida aumentada.
- ☐ E Intensidade aumentada, o tempo de retorno aumentado e a frequência percebida aumentada.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se de um item que utiliza a Biologia como contexto. Trata-se de um item que aborda o fenômeno da reflexão associada ao efeito Doppler em uma situação muito atípica. O emissor e receptor é o mesmo indivíduo e ele se encontra em repouso, enquanto a mariposa na qual a onda sonora reflete está em movimento.

Como a mariposa está se afastando do morcego, a intensidade do som refletido nela e recebido pelo morcego **diminui** com o tempo, assim como o tempo de retorno do som emitido pelo morcego e refletido pela mariposa **aumenta**.

Além disso, como a mariposa está se afastando, e ela pode ser considerada um “emissor” do som refletido, neste caso o comprimento de onda da frente de onda que chega no morcego aumenta e, portanto, a frequência percebida **diminui**.

Análise dos distratores:

O item não apresenta distratores para os grupos EF e EM, em que as respostas parecem estar distribuídas de forma aleatória.

Alternativa D: é a segunda alternativa mais escolhida, mas não configura um distrator. A alternativa aparece com duas afirmativas corretas (igual a alternativa A) e apenas a consequência do efeito Doppler errada. Pode-se aferir que se o candidato escolheu esta alternativa de acordo com o raciocínio correto e não pelo chute, ele apenas inverteu o efeito Doppler sobre a onda refletida.

Comentário:

O item apresenta uma contextualização biológica do funcionamento do sistema de localização de morcegos que utiliza ondas sonoras para se guiar. Apesar disso, não consideramos o item interdisciplinar uma vez que não é necessário nenhum conhecimento específico da disciplina de biologia para resolver o item. Além disso, o item é conceitual de acordo com a taxonomia de Smith (MARCOM, 2019).

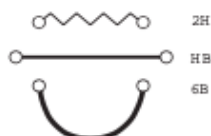
Trata-se de um item em que o enunciado faz três perguntas: o que acontece com a intensidade, com o tempo e com a frequência do sinal recebido pelo morcego. Quando isso acontece, a análise do item é dificultada, pois é mais difícil compreender se o erro do aluno está associado ao não entendimento total ou parcial do conteúdo, porém com exceção do grupo ES, a resposta de todos os outros grupos é aleatória, não apresentando distratores fortes.

Percebe-se que algumas alternativas apresentam a resposta parcial correta, mas não atribui nota parcial ao aluno, o que pode caracterizar que o item tem muito mais a função de classificar e selecionar do que propriamente avaliar o candidato ao final da escolaridade básica.

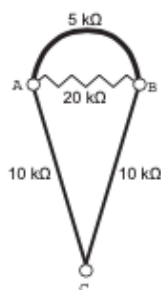
Q59 - 2016

QUESTÃO 59

Por apresentar significativa resistividade elétrica, o grafite pode ser utilizado para simular resistores elétricos em circuitos desenhados no papel, com o uso de lápis e lapiseiras. Dependendo da espessura e do comprimento das linhas desenhadas, é possível determinar a resistência elétrica de cada traçado produzido. No esquema foram utilizados três tipos de lápis diferentes (2H, HB e 6B) para efetuar três traçados distintos.



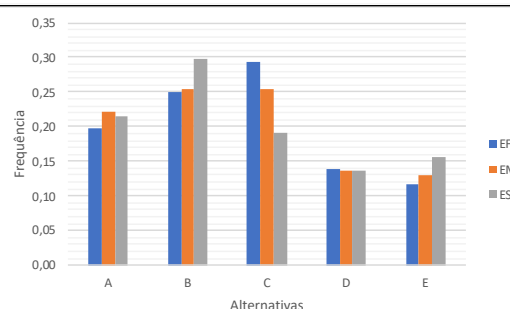
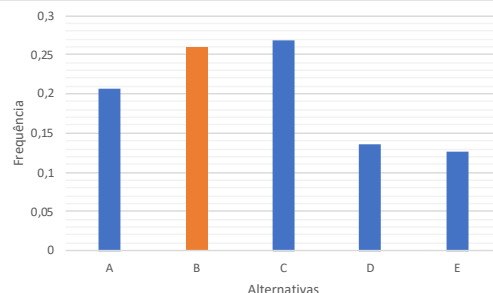
Munido dessas informações, um estudante pegou uma folha de papel e fez o desenho de um sorvete de casquinha utilizando-se desses traçados. Os valores encontrados nesse experimento, para as resistências elétricas (R), medidas com o auxílio de um ohmímetro ligado nas extremidades das resistências, são mostrados na figura. Verificou-se que os resistores obedeciam à Lei de Ohm.



Na sequência, conectou o ohmímetro nos terminais A e B do desenho e, em seguida, conectou-o nos terminais B e C, anotando as leituras R_{AB} e R_{BC} , respectivamente.

Ao estabelecer a razão $\frac{R_{AB}}{R_{BC}}$, qual resultado o estudante obteve?

- ☐ A 1
☒ B $\frac{4}{7}$
☐ C $\frac{10}{27}$
☐ D $\frac{14}{81}$
☐ E $\frac{4}{81}$



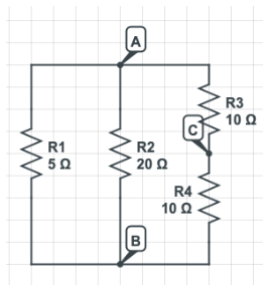
Resolução:

Trata-se de um item com contexto técnico de laboratório que aborda a temática de circuitos elétricos.

Para determinar a razão pedida no enunciado é necessário determinar a resistência equivalente entre os pontos AB (Situação 1) e entre os pontos BC (Situação 2). Para

isso, esquematizamos as duas situações e determinamos a resistência equivalente.

Figura 62: Circuito elétrico para determinação da resistência equivalente entre os pontos AB.



Fonte: elaborado pelo autor a partir do Software CircuitLab²⁶

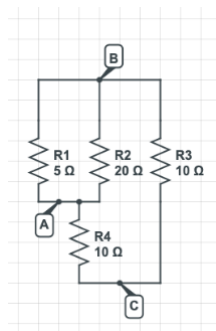
Na situação 1 os resistores R_3 e R_4 estão em série e sua resistência equivalente é de $R_3 + R_4 = 20\Omega$. Temos, portanto, os resistores R_1 , R_2 e o equivalente de R_3 com R_4 com paralelo entre si. A resistência equivalente na situação 1 entre os pontos A e B (R_{AB}) pode ser calculada como:

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{34}} = \frac{1}{5} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20} = \frac{6}{20} \Rightarrow R_{AB} = \frac{10}{3}\Omega$$

Na situação 2, os resistores R_1 e R_2 estão em paralelo entre si e em série com o resistor R_4 . Desta forma, podemos determinar a resistência equivalente como $\frac{1}{R_{12}} =$

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{5} + \frac{1}{20} = \frac{5}{20} \Rightarrow R_{12} = 4\Omega \text{ e } R_{124} = R_{12} + R_4 = 10 + 4 = 14\Omega$$

Figura 63: Circuito elétrico para determinação da resistência equivalente entre os pontos BC.



Fonte: elaborado pelo autor a partir do Software CircuitLab²²

Estes resistores todos estão em paralelo com o resistor R_3 , logo a resistência equivalente é de:

²⁶ <https://www.circuitlab.com/>

$$\frac{1}{R_{BC}} = \frac{1}{R_{124}} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{14} + \frac{1}{10} = \frac{5+7}{70} = \frac{12}{70} \Rightarrow R_{BC} = \frac{35}{6} \Omega$$

O enunciado pede $\frac{R_{AB}}{R_{BC}} = \frac{\frac{10}{3}}{\frac{35}{6}} = \frac{10}{3} \cdot \frac{6}{35} = \frac{20}{35} = \frac{4}{7}$

Análise dos distratores:

Alternativa C: Atrai candidatos dos grupos EF e EM, principalmente. Para esta escolha não encontramos possíveis erros matemáticos ou de manipulação de fórmulas que levariam a esse resultado. Esta alternativa é a única dentre as alternativas que apresenta um valor numérico presente na figura do texto-base. Todas as outras alternativas apresentam números que não estão presentes na figura do circuito apresentada, o que faz com que o candidato busque o raciocínio. Portanto, essa escolha indica uma possível busca por raciocínios intuitivos que evitam as soluções matemático-dedutivas (CLEMENT, 1994).

Alternativa A: Esta escolha é carregada da concepção alternativa que diz que os candidatos não identificam diferença em pequenas alterações no circuito. Se o circuito é o mesmo, a resistência equivalente deve ser a mesma, independente dos pontos que forem utilizados (POZO; CRESPO, 2009).

Comentário:

O item é de caráter algorítmico (MARCOM, 2019) e apresenta múltiplos passos para sua resolução. Além disso é contextualizado em uma situação de laboratório mais próxima de especialistas, distante do cotidiano dos candidatos, o que Villar e Kleinke (2018) apontam ser uma grande desvantagem para os concluintes do ensino médio. O texto-base deste item apresenta uma série de informações irrelevantes que poderiam tranquilamente serem retiradas sem a perda da informação e garantindo o objetivo desejado (CHAGAS, 2019). Os autores sugerem que esta carga cognitiva estranha poderia ser retirada e o texto poderia ser apresentado conforme o Quadro Nakamura (2020) classifica este item como de natureza quantitativa e resolução algébrica, que utiliza diagrama de circuitos. Segundo a autora, a principal concepção alternativa presente nas respostas dos candidatos é a percepção de que diagramas diferentes representam conexões diferentes.

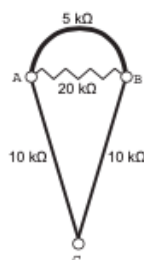
Quadro 26: Redução da carga cognitiva estranha para o item Q59-2016.

QUESTÃO 59

Por apresentar significativa resistividade elétrica, o grafite pode ser utilizado para simular resistores elétricos em circuitos desenhados no papel, com o uso de lápis e lapiseiras. Dependendo da espessura e do comprimento das linhas desenhadas, é possível determinar a resistência elétrica de cada traçado produzido. No esquema foram utilizados três tipos de lápis diferentes (2H, HB e 6B) para efetuar três traçados distintos.



Munido dessas informações, um estudante pegou uma folha de papel e fez o desenho de um sorvete de casquinha utilizando-se desses traçados. Os valores encontrados nesse experimento, para as resistências elétricas (R), medidas com o auxílio de um ohmímetro ligado nas extremidades das resistências, são mostrados na figura. Verificou-se que os resistores obedeciam à Lei de Ohm.

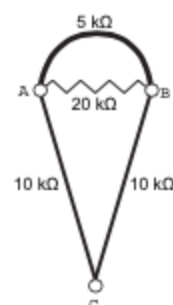


Na sequência, conectou o ohmímetro nos terminais A e B do desenho e, em seguida, conectou-o nos terminais B e C, anotando as leituras R_{AB} e R_{BC} , respectivamente.

Ao estabelecer a razão $\frac{R_{AB}}{R_{BC}}$, qual resultado o estudante obteve?

- A 1
- B $\frac{4}{7}$
- C $\frac{10}{27}$
- D $\frac{14}{81}$
- E $\frac{4}{81}$

Foi montado o seguinte circuito elétrico em forma de sorvete:



Na sequência, conectou o ohmímetro nos terminais A e B do desenho e, em seguida, conectou-o nos terminais B e C, anotando as leituras R_{AB} e R_{BC} , respectivamente.

Ao estabelecer a razão $\frac{R_{AB}}{R_{BC}}$, qual resultado o estudante obteve?

- A 1
- B $\frac{4}{7}$
- C $\frac{10}{27}$
- D $\frac{14}{81}$
- E $\frac{4}{81}$

Fonte: Elaborado pelo autor.

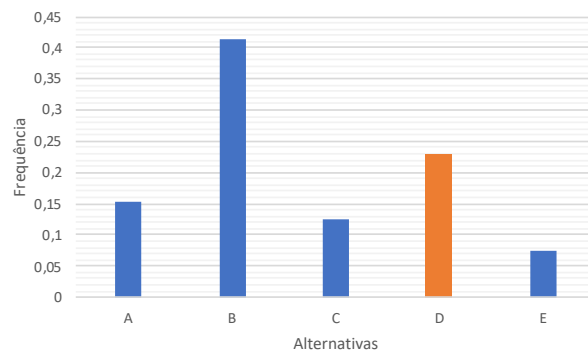
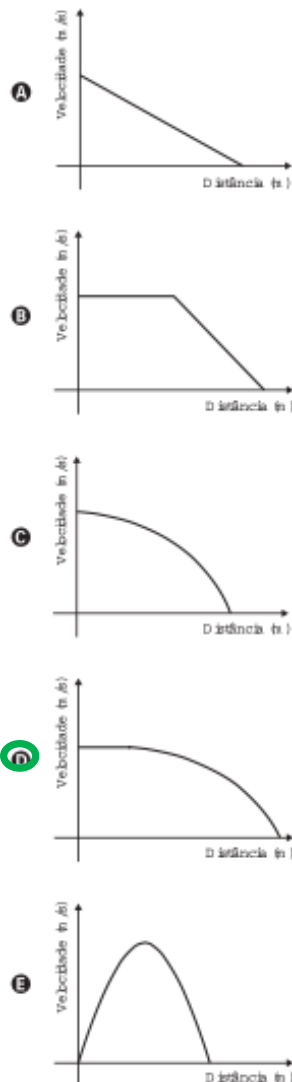
Segundo Pozo e Crespo (2009) “Os alunos enfrentam dificuldades para interpretar as representações gráficas dos circuitos.” (p.223) e completam: “Se no diagrama for mudada a posição de algum dos elementos auxiliares, ainda que representem situações fisicamente idênticas, interpretam que se obtêm circuitos diferentes.” (p. 223)

Q63-2016

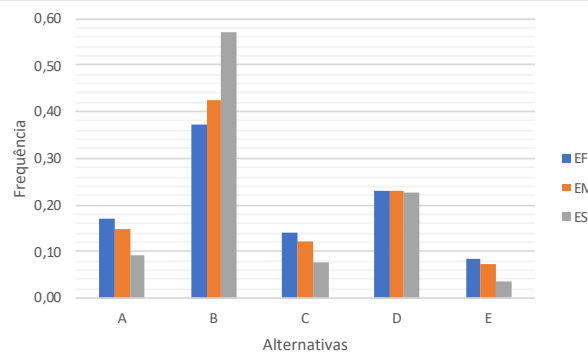
QUESTÃO 63

Dois veículos que trafegam com velocidade constante em uma estrada, na mesma direção e sentido, devem manter entre si uma distância mínima. Isso porque o movimento de um veículo, até que ele pare totalmente, ocorre em duas etapas, a partir do momento em que o motorista detecta um problema que exige uma frenada brusca. A primeira etapa é associada à distância que o veículo percorre entre o intervalo de tempo da detecção do problema e o acionamento dos freios. Já a segunda se relaciona com a distância que o automóvel percorre enquanto os freios agem com desaceleração constante.

Considerando a situação descrita, qual esboço gráfico representa a velocidade do automóvel em relação à distância percorrida até parar totalmente?



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item aborda uma situação cotidiana de frenagem de um veículo em uma situação de emergência em que o motorista precisa tomar uma decisão rápida. Esta situação é utilizada para justificar a importância de se manter distância do veículo da frente,

conforme as autoridades costumam divulgar. O candidato deve transpor a situação descrita no texto para um gráfico de velocidade x posição.

O motorista se encontra em velocidade constante quando avista um problema. Entre o momento que ele avista o problema e o instante que ele pisa no freio não acontecem simultaneamente. Este intervalo de tempo entre estes dois eventos é conhecido como tempo de reação. Durante o tempo de reação do condutor, a velocidade escalar permanece constante. Portanto, durante esse intervalo de tempo, o gráfico da velocidade em função da posição é um segmento de reta horizontal.

A partir do momento que o motorista pisa no freio (passado o tempo de reação), se a desaceleração tem intensidade constante, o movimento pode ser aproximado para um uniformemente variado (MUV). Então o módulo da velocidade escalar varia com a distância percorrida de acordo com a equação de Torricelli:

$$v^2 = v_o^2 + 2a\Delta s$$

Como a aceleração é negativa e a distância percorrida durante a frenagem $\Delta s = d$, podemos reescrever a equação para encontrar a equação que expressa a velocidade em função da distância:

$$v = \sqrt{v_o^2 - 2ad}$$

O gráfico dessa expressão é um arco de parábola de concavidade para baixo.

Análise dos distratores:

Alternativa B: Todos os grupos assinalam esta alternativa com maior intensidade, mas chama a atenção que o grupo ES escolhe esta alternativa mais do que os demais. Os gráficos fornecidos nas alternativas são de velocidade em função da distância percorrida. Este tipo de gráfico é pouco trabalhado no Ensino Médio, o que faz com que os candidatos optem pela alternativa B que representa o gráfico da velocidade em função do tempo para a situação descrita. Este é um dos assuntos mais trabalhados nos anos iniciais do curso de física do ensino médio e se assemelha com os exercícios de fixação de final de capítulo, o que faz com que grande parte dos alunos tenham uma ideia de como resolver e optem por esta alternativa errada. Este erro é comum entre os aprendizes que, quando confrontados com gráficos muitas vezes não se atentam para a leitura dos eixos (BEICHNER, 1994).

Alternativa A: Não se configura como um distrator, mas vale observar que o grupo EF escolhe esta alternativa numa frequência maior do que os outros grupos. Esta alternativa trás a ideia de que a velocidade vai diminuir conforme o veículo se desloca em uma frenagem. Seria como uma “foto” da situação descrita (BEICHENR, 1994).

Comentário:

O item é tem contexto cotidiano e é classificado como algorítmico pela taxonomia de Smith (MARCOM, 2019). Além disso, ele exige que o candidato seja capaz de identificar qual dos gráficos representa a situação descrita no texto-base, portanto são necessários dois tipos de leitura para a realização do item.

Além disso, o item apresenta um gráfico de velocidade em função da distância. Este gráfico não aparece nos livros didáticos do ensino médio e raramente é trabalhado em sala de aula. Para realizar o exercício é necessário que o candidato manipule as equações do movimento variado e encontre uma forma que relacione a velocidade com a distância percorrida.

Os candidatos que assinalam a alternativa errada B demonstram conhecimento a respeito do conteúdo, porém desatenção aos eixos do gráfico e ao que é pedido.

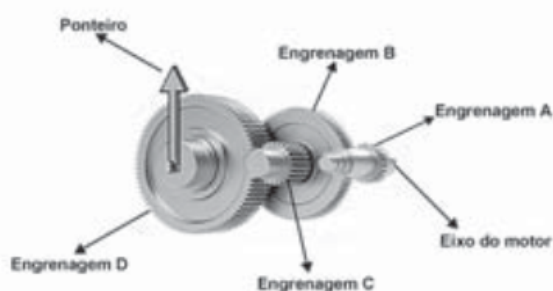
Beichner (1994) sugere que os aprendizes, quando confrontados com gráficos cometem erros como considerar os gráficos como imagens (fotografia da situação) e não como uma representação matemática abstrata confusão de variáveis ou não leitura dos eixos do gráfico.

Q66 – 2016

QUESTÃO 66

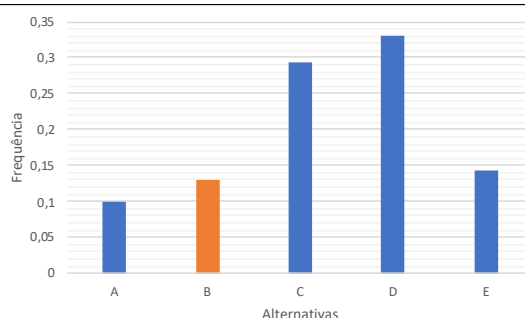
A invenção e o acoplamento entre engrenagens revolucionaram a ciência na época e propiciaram a invenção de várias tecnologias, como os relógios. Ao construir um pequeno cronômetro, um relojoeiro usa o sistema de engrenagens mostrado. De acordo com a figura, um motor é ligado ao eixo e movimenta as engrenagens fazendo o ponteiro girar. A frequência do motor é de 18 RPM, e o número de dentes das engrenagens está apresentado no quadro.

Engrenagem	Dentes
A	24
B	72
C	36
D	108

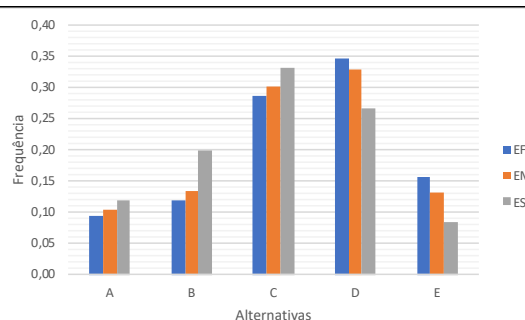


A frequência de giro do ponteiro, em RPM, é

- ☐ A 1.
☒ B 2.
☐ C 4.
☐ D 81.
☐ E 162.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item apresenta um contexto técnico e próximo a linguagem de especialistas, o que justifica o baixo índice de acerto e a alta incidência dos candidatos em duas respostas erradas. Deve-se determinar a frequência do ponteiro e é dado a frequência do motor e uma figura que ilustra como o motor está acoplado no ponteiro através de engrenagens.

No acoplamento de engrenagens no mesmo eixo as frequências são iguais, como são os casos do ponteiro com a engrenagem D ou da engrenagem B com a engrenagem C ou ainda a engrenagem A com o eixo do motor. No acoplamento nas extremidades da engrenagem (tangencial) temos que a velocidade escalar das

extremidades das duas engrenagens em contato são iguais e, portanto, as frequências são inversamente proporcionais ao raio da engrenagem ou ao número de dentes. Este é o caso das engrenagens A com a B ou da C com a D.

Seguindo esta lógica, podemos construir o raciocínio da seguinte forma:

- Como a engrenagem A está no mesmo eixo do motor, ela apresenta a mesma frequência de rotação do motor”:

$$\omega_A = \omega_{motor} = 18 \text{ rpm}$$

- A engrenagem A está acoplada a engrenagem B pela extremidade, portanto as extremidades apresentam a mesma velocidade escalar:

$$v_A = v_B = \omega_A \cdot N_A = \omega_B \cdot N_B \Rightarrow 72\omega_B = 18 \cdot 24 \Rightarrow \omega_B = 6 \text{ rpm}$$

- A engrenagem B está no mesmo eixo da engrenagem C, portanto elas têm a mesma frequência de rotação:

$$\omega_B = \omega_C = 6 \text{ rpm}$$

- A engrenagem D está acoplada a engrenagem C pela extremidade, portanto as extremidades apresentam a mesma velocidade escalar:

$$v_C = v_D = \omega_C \cdot N_C = \omega_D \cdot N_D \Rightarrow 108\omega_D = 6 \cdot 36 \Rightarrow \omega_D = 2 \text{ rpm}$$

- O ponteiro está acoplado no mesmo eixo da engrenagem D e portanto, ele tem a mesma frequência de rotação da engrenagem.

$$\omega_D = \omega_{ponteira} = 2 \text{ rpm}$$

Análise dos distratores:

Alternativa C: Preferência do grupo ES e segunda escolha dos grupos ES e EM. Se o candidato fizer a relação direta entre o número de dentes da engrenagem A e da engrenagem D como se elas estivessem acopladas pela extremidade, ele encontraria:

$$v_A = v_D = \omega_A \cdot N_A = \omega_D \cdot N_D \Rightarrow 108\omega_D = 18 \cdot 24 \Rightarrow \omega_D = 4 \text{ rpm}$$

Nesta alternativa o candidato reconhece que quanto maior o número de dentes, menor a frequência de rotação (relação inversa).

Alternativa D: Preferência do grupo EF e EM e segunda escolha do grupo ES. Se o candidato fizer a relação direta entre o número de dentes da engrenagem A e da engrenagem D como se elas estivessem acopladas pela extremidade, porém considerando agora o número de dentes diretamente proporcional a frequência,

temos que:

$$\frac{108}{24} \cdot 18 = 81$$

Nesta alternativa o candidato entende que quanto maior o número de dentes, maior a frequência de rotação, ou seja, existe uma relação direta.

Comentário:

Trata-se de um item com contexto técnico de especialistas classificado como algorítmicos na taxonomia de Smith (MARCOM,2019), já que diversos passos algébricos são necessários. Além disso, são necessários três tipos de leitura para resolver o item: texto, tabela e figura, não sendo possível resolver sem uma dessas leituras.

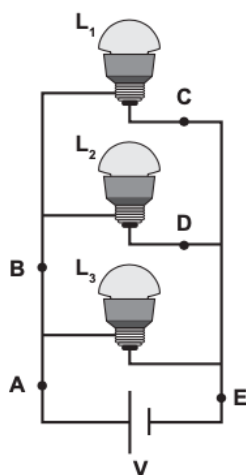
As dificuldades de todos os grupos analisados são semelhantes, mas identificamos maior incidência de um erro em que é necessário um conhecimento mínimo da transmissão do movimento circular no grupo ES enquanto o grupo EF e EM busca relações diretamente proporcionais para a resolução.

Entendemos por imediatismo a prática comum dos estudantes de ao resolver um item quantitativo encontrar um valor numérico presente entre as alternativas e validar o seu cálculo, independente das unidades ou do significado físico do valor encontrado. Para estes estudantes o resultado numérico não precisa ser contextualizado ou ter sentido do ponto de vista científico. Clement (1994) defende que muitas vezes o novato tenta resolver os problemas propostos fugindo de manipulações algébricas e contas, utilizando-se de sua intuição. Sherin (2001) propõe que os aprendizes associam conceitos físicos a estruturas de equações, atribuindo o significado físico a “forma” ou aparência da equação. Segundo ele, o aprendiz busca uma forma simbólica, no caso deste item, de proporcionalidade para resolver o problema.

Q74 – 2016

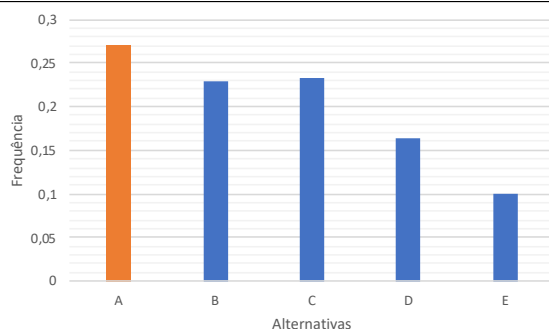
QUESTÃO 74

Três lâmpadas idênticas foram ligadas no circuito esquematizado. A bateria apresenta resistência interna desprezível, e os fios possuem resistência nula. Um técnico fez uma análise do circuito para prever a corrente elétrica nos pontos: A, B, C, D e E; e rotulou essas correntes de I_A , I_B , I_C , I_D e I_E , respectivamente.

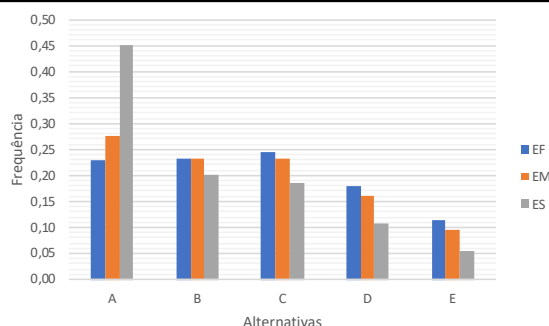


O técnico concluiu que as correntes que apresentam o mesmo valor são

- ☒ A $I_A = I_E$ e $I_C = I_D$.
☐ B $I_A = I_B = I_E$ e $I_C = I_D$.
☐ C $I_A = I_B$, apenas.
☐ D $I_A = I_B = I_E$, apenas.
☐ E $I_C = I_D$, apenas.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se de um experimento de laboratório de física com lâmpadas fazendo o papel do elemento resistivo de um circuito elétrico. As três lâmpadas são idênticas e estão ligadas em paralelo entre si, o que faz com que a corrente elétrica se divida igualmente entre as ramificações.

As três lâmpadas estão em paralelo. Como são idênticas, são percorridas pela mesma corrente (i), conforme a Figura 64.

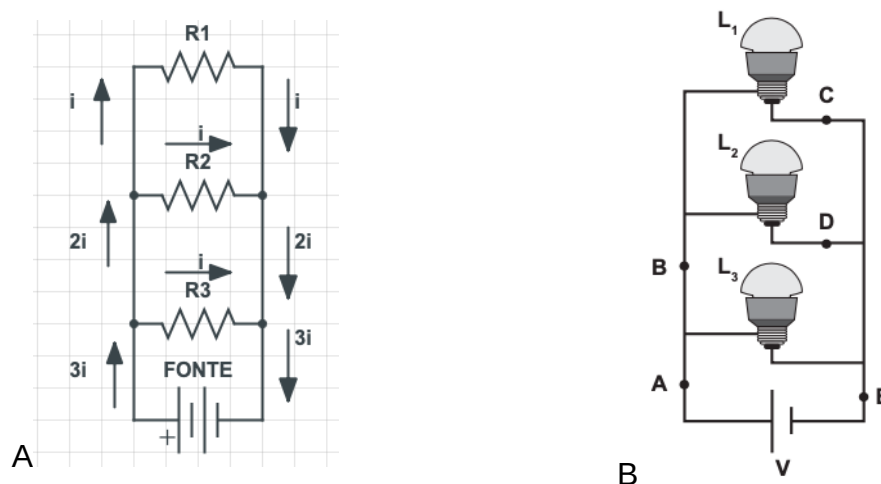
Comparando a Figura 64 com as intensidades das correntes em cada uma das ramificações (A) com a figura dada no texto-base (B) temos que a corrente nos pontos destacados valem:

$$i_A = i_E = 3i$$

$$i_B = 2i$$

$$i_C = i_D = i$$

Figura 64: Circuito com a representação da corrente elétrica em cada ponto (A) e circuito elétrico dado no texto-base (B).



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando o software circuitlab²⁷

Análise dos distratores:

Alternativa B: Esta alternativa é a única que contém todos os pontos contemplados. O candidato que acreditar que tenha que existir alguma relação entre todos os pontos da figura optam por esta alternativa. Além disso, os pontos A, B e E estão localizados em fios na vertical, enquanto os pontos C e D estão em fios dispostos na horizontal. Esta ideia está associada a topologia de como o circuito foi apresentado. Nakamura (2020) sugere que esta escolha está associada a dificuldade conhecida como “associação de resistores por topologia”

Alternativa C: Os pontos A e B encontram-se “antes” das lâmpadas, o que pode fazer com que o candidato pense que a corrente elétrica ainda não foi “consumida” neste ponto. A corrente elétrica consumida é conhecida na literatura (Driver *et al.*, 2004). Nakamura (2020) sugere que a escolha desta alternativa está associada a dificuldade de aprendizagem conhecida como “associação de resistores por topologia” e com a concepção alternativa “corrente elétrica consumida”.

Comentário:

O item está contextualizado em um experimento de bancada de laboratório de física e se assemelha aos exercícios de fixação dos livros didáticos. Trata-se de um item

²⁷ <https://www.circuitlab.com>

do domínio algorítmico (MARCOM, 2019), já que não basta conhecer o conceito, mas é preciso aplicar no circuito elétrico em questão.

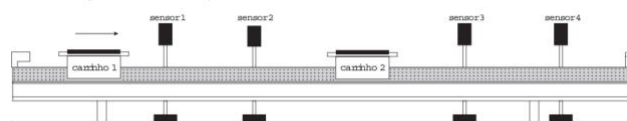
Verificamos que neste item a taxa de acerto do grupo ES é quase o dobro da taxa de acerto do grupo EF, o que pode indicar uma forte relação entre o desempenho e o capital cultural neste item. Neste grupo o item deixa de pertencer a região B-B de Bao e Redish (2001) e passa para a região M-B, onde o modelo correto passa a ser assinalado com uma frequência maior do que os demais.

Os erros dos alunos estão fortemente associados a concepções alternativas conhecidas na literatura como a topologia, que diz que circuitos elétricos apresentados de forma diferente são diferentes e o consumo da corrente elétrica, que diz que ao passar por um componente elétrico a corrente elétrica é consumida e será menor do outro lado (Driver *et al.*, 2004).

Q77 – 2016

QUESTÃO 77

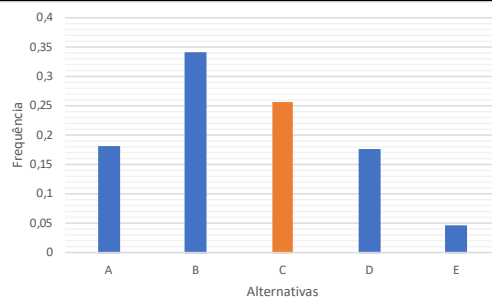
O trilho de ar é um dispositivo utilizado em laboratórios de física para analisar movimentos em que corpos de prova (carrinhos) podem se mover com atrito desprezível. A figura ilustra um trilho horizontal com dois carrinhos (1 e 2) em que se realiza um experimento para obter a massa do carrinho 2. No instante em que o carrinho 1, de massa 150,0 g, passa a se mover com velocidade escalar constante, o carrinho 2 está em repouso. No momento em que o carrinho 1 se choca com o carrinho 2, ambos passam a se movimentar juntos com velocidade escalar constante. Os sensores eletrônicos distribuídos ao longo do trilho determinam as posições e registram os instantes associados à passagem de cada carrinho, gerando os dados do quadro.



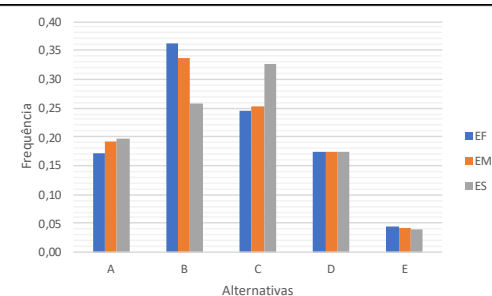
Carrinho 1		Carrinho 2	
Posição (cm)	Instante (s)	Posição (cm)	Instante (s)
15,0	0,0	45,0	0,0
30,0	1,0	45,0	1,0
75,0	8,0	75,0	8,0
90,0	11,0	90,0	11,0

Com base nos dados experimentais, o valor da massa do carrinho 2 é igual a

- A 50,0 g.
- B 250,0 g.
- ☒ C 300,0 g.
- D 450,0 g.
- E 600,0 g.



Concluientes do Ensino Médio



Grupos ES, EM e ES

Resolução:

Trata-se de mais um item de física de 2016 que aborda um experimento de bancada de laboratório de física mecânica. Para resolver este item é necessário que o candidato perceba que o sistema é mecanicamente isolado e, portanto, ocorre a

conservação da quantidade de movimento, ou seja, a quantidade de movimento do sistema antes do choque é igual a quantidade de movimento após o choque.

$$Q_{antes} = Q_{depois}$$

Como após o choque os carrinhos ficam acoplados, podemos escrever a conservação da seguinte maneira:

$$Q_{1antes} + Q_{2antes} = Q_{12depois}$$

Para determinar a massa do carrinho 2 a partir da quantidade de movimento é necessário determinar a velocidade dos carrinhos antes do choque e depois do choque. Para isso é necessário utilizar os dados fornecidos na tabela e realizar a leitura de onde esta cada um dos sensores na figura. A velocidade do carrinho 1 antes do choque é:

$$v_{1antes} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{30 - 15}{1 - 0} = 15 \text{ cm/s}$$

O carrinho 2 está em repouso antes da colisão:

$$v_{2antes} = 0$$

Após a colisão, os carrinhos seguem juntos e a velocidade do conjunto é dada por:

$$v_{12depois} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{90 - 75}{11 - 8} = 5 \text{ cm/s}$$

É preciso ficar atento a posição dos sensores para calcular as velocidades dos carrinhos antes e depois da colisão.

Substituindo na quantidade de movimento, podemos determinar a massa do carrinho 2:

$$Q_{1antes} + Q_{2antes} = Q_{12depois} \Rightarrow 150 \cdot 15 + 0 = (150 + m_2) \cdot 5$$

$$m_2 = 150 \cdot \frac{15}{5} - 150 = 300 \text{ g}$$

Como a velocidade após a colisão é 1/3 da velocidade antes da colisão, para que a quantidade de movimento se conserve é preciso que a massa dos carrinhos após a colisão seja 3x maior do que a massa do carrinho 1.

Análise dos distratores:

Alternativa B: Alternativa mais assinalada pelos grupos EF e EM. Um raciocínio possível para chegar nesta alternativa é se o candidato determinar as velocidades médias do carrinho 1 e carrinho 2, e multiplicar pela massa de cada um separadamente ele chegará ao valor desta alternativa:

$$v_1 \cdot m_1 = v_2 \cdot m_2 \Rightarrow \frac{90 - 15}{11} \cdot 150 = \frac{90 - 45}{11} \cdot m_2 \Rightarrow m_2 = \frac{75 \cdot 150}{45} = 250g$$

A manipulação algébrica de formas simbólicas que leva a valores presentes nas alternativas faz com que os candidatos sejam atraídos pelo distrator por imediatismo e o pouco tempo disponível por item (SHERIN, 2001; MARCOM, 2019)

Alternativa D: Não configura um distrator, mas se o candidato considerar apenas a massa do carrinho 2 após a colisão, ou seja, considerar o carrinho 1 em repouso, ele chegará o valor desta alternativa.

$$Q_{1_{antes}} = Q_{2_{depois}} \Rightarrow 150 \cdot 15 = m_2 \cdot 5 \Rightarrow m_2 = 450g$$

Alternativa E: Não configura um distrator, mas se o candidato resolver o item por conservação de energia ele chegará no valor desta alternativa.

$$\frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} = \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} \Rightarrow \frac{150 \cdot 15^2}{2} = \frac{m_2 \cdot 5^2}{2} \Rightarrow m_2 = 600g$$

Comentário:

Trata-se de um item contextualizado em um experimento de bancada de laboratório, o que não é realidade de muitos alunos concluintes do ensino médio (LABURU *et al.*, 2004; VILLAR; KLEINKE, 2018). Compreender o experimento é um passo fundamental na sua resolução além do conteúdo específico da física trabalhado.

Observa-se que enquanto o grupo ES opta pela alternativa certa com a maior frequência os grupos EF e EM, bem como os concluintes do ensino médio em geral optam mais pela alternativa errada.

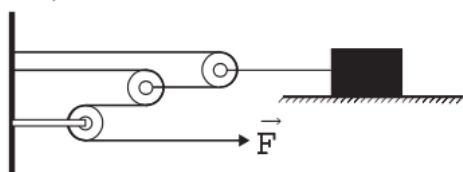
Além disso, são necessários ao menos três tipos de leitura para resolver este item: texto, figura e tabela.

O item é classificado como algorítmico e observa-se que como o item necessita de, ao menos, três passos para sua resolução, resoluções que levem a valores numéricos presentes nas alternativas podem explicar a escolha dos candidatos (SHERIN, 2001; MARCOM, 2019)

Q82 – 2016

QUESTÃO 82

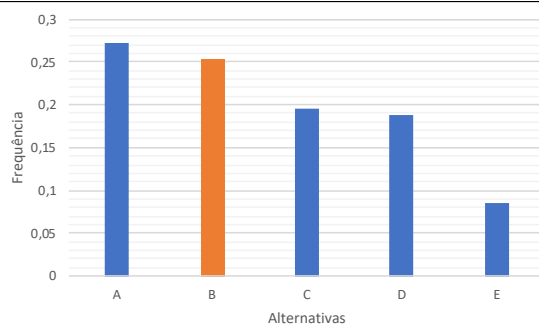
Uma invenção que significou um grande avanço tecnológico na Antiguidade, a polia composta ou a associação de polias, é atribuída a Arquimedes (287 a.C. a 212 a.C.). O aparato consiste em associar uma série de polias móveis a uma polia fixa. A figura exemplifica um arranjo possível para esse aparato. É relatado que Arquimedes teria demonstrado para o rei Hierão um outro arranjo desse aparato, movendo sozinho, sobre a areia da praia, um navio repleto de passageiros e cargas, algo que seria impossível sem a participação de muitos homens. Suponha que a massa do navio era de 3 000 kg, que o coeficiente de atrito estático entre o navio e a areia era de 0,8 e que Arquimedes tenha puxado o navio com uma força $\vec{F}$, paralela à direção do movimento e de módulo igual a 400 N. Considere os fios e as polias ideais, a aceleração da gravidade igual a 10 m/s² e que a superfície da praia é perfeitamente horizontal.



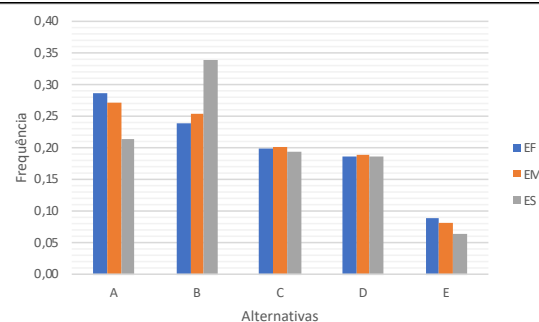
Disponível em: www.histedbr.fae.unicamp.br. Acesso em: 28 fev. 2013 (adaptado).

O número mínimo de polias móveis usadas, nessa situação, por Arquimedes foi

- ☐ A 3.
☒ B 6.
☐ C 7.
☐ D 8.
☐ E 10.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item apresenta um contexto histórico que conta uma lenda associada a Arquimedes. A situação descreve que Arquimedes faz uma força de 400N para movimentar um trem de 3 toneladas e pergunta quantas polias são necessárias para que isso seja possível.

Para determinar a força mínima necessária para puxar o barco é necessário determinar a força de atrito entre o barco e o chão.

$$F_{at} = \mu \cdot N = 0,8 \cdot 3000 \cdot 10 = 24.000 \text{ N}$$

Arquimedes está aplicando uma força de 400N. Sabe-se que cada polia móvel duplica a força realizada pelo Arquimedes, portanto.

1 polia móvel: 800 N

2 polias móveis: 1.600 N

3 polias móveis: 3.200 N

4 polias móveis: 6.400 N

5 polias móveis: 12.800N

6 polias móveis: 25.600 N

Então o número mínimo de polias móveis usadas por Arquimedes foi 6.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Alternativa mais assinalada pelos concluintes do Ensino Médio e pelos candidatos dos grupos EF e EM. A escolha pode estar associada ao fato de esta alternativa conter o menor número dentre as alternativas e o enunciado pede o menor número de polias possível além de coincidir com o número de polias presente na figura.

Comentário:

O item aborda uma situação histórica em que Arquimedes desloca um navio com auxílio de polias móveis. Trata-se de um item algorítmico (MARCOM, 2019) multi-step, que contém um texto e uma figura em seu texto-base, apesar de ser possível resolver sem a utilização da figura. A dispersão das respostas entre as alternativas demonstra o desconhecimento dos candidatos sobre o assunto, principalmente dos grupos EF e EM.

Percebe-se que a figura apresentada é a maior fonte de erro do item, principalmente dos grupos de menos nível socioeconômico, já que ela apresenta um aparato com 3 polias para ilustrar a situação, mas ilustra uma situação diferente da pedida no texto-base.

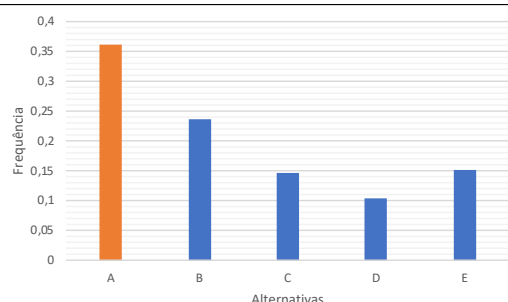
Q84- 2016

QUESTÃO 84

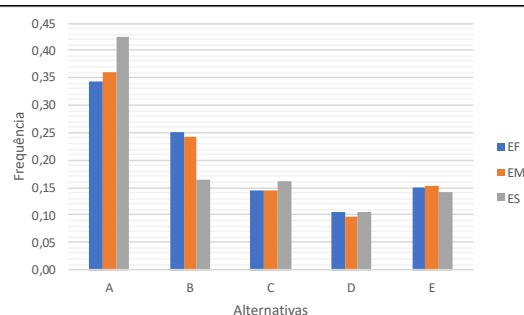
Num experimento, um professor deixa duas bandejas de mesma massa, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a mesa do laboratório. Após algumas horas, ele pede aos alunos que avaliem a temperatura das duas bandejas, usando para isso o tato. Seus alunos afirmam, categoricamente, que a bandeja de alumínio encontra-se numa temperatura mais baixa. Intrigado, ele propõe uma segunda atividade, em que coloca um cubo de gelo sobre cada uma das bandejas, que estão em equilíbrio térmico com o ambiente, e os questiona em qual delas a taxa de derretimento do gelo será maior.

O aluno que responder corretamente ao questionamento do professor dirá que o derretimento ocorrerá

- (A)** mais rapidamente na bandeja de alumínio, pois ela tem uma maior condutividade térmica que a de plástico.
- (B)** mais rapidamente na bandeja de plástico, pois ela tem inicialmente uma temperatura mais alta que a de alumínio.
- (C)** mais rapidamente na bandeja de plástico, pois ela tem uma maior capacidade térmica que a de alumínio.
- (D)** mais rapidamente na bandeja de alumínio, pois ela tem um calor específico menor que a de plástico.
- (E)** com a mesma rapidez nas duas bandejas, pois apresentarão a mesma variação de temperatura.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Apesar de ser um experimento de sala de aula, o item trata de uma situação cotidiana do dia a dia das pessoas. Um professor coloca gelo para derreter em uma bandeja de plástico e outro gelo em uma bandeja de alumínio e observa o derretimento do gelo.

Na bandeja de alumínio o gelo derrete mais rápido do que na bandeja de plástico, pois o metal tem maior condutividade térmica que o plástico, ou seja, o alumínio transfere mais rapidamente o calor do meio para o gelo. O plástico por ser isolante térmico, faz a troca de calor com o gelo até entrar em equilíbrio e depois ambos perdem calor lentamente para o meio.

Análise dos distratores:

Alternativa B: A alternativa apresenta a resposta que alunos do texto-base dão para o professor de que a bandeja de alumínio está mais gelada do que a bandeja de plástico. Por estar mais “gelada” o senso comum diz que ela manterá o gelo por mais tempo sem derreter do que a bandeja de alumínio. Fato é que ambas as bandejas estão na mesma temperatura e a sensação de que a bandeja de alumínio está mais gelada se deve a condutividade térmica, ou seja, ela troca calor mais

rapidamente com a mão das pessoas do que a bandeja de plástico.

Comentário:

O item é conceitual (MARCOM, 2019) e apresenta um experimental de bancada, porém semelhante a uma experiência cotidiana das pessoas.

O item busca confrontar uma ideia presente no senso comum com uma ideia cientificamente aceita, desta forma a alternativa errada consegue atrair o candidato que possui a concepção alternativa de origem sensorial enraizada (POZO; CRESPO, 2009).

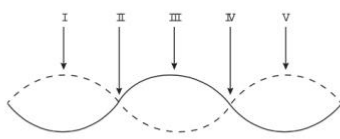
É de senso comum que objetos metálicos parecem mais “gelados” do que objetos de madeira ou plástico, mesmo que eles estejam na mesma temperatura. (Driver et al., 2004).

Em seu livro Driver et al (2004) relata que muitas crianças quando são questionadas sobre a temperatura de diferentes partes de uma bicicleta explicam que as partes de metal de uma bicicleta parecem mais frias do que as partes de plástico em termos de metal absorver o frio.

Q86 – 2016

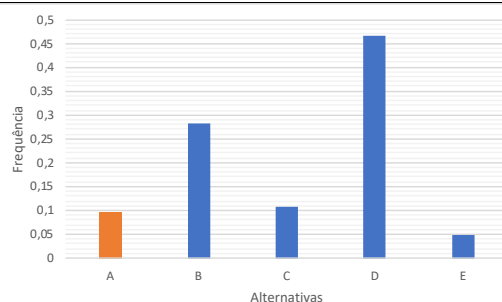
QUESTÃO 86

Um experimento para comprovar a natureza ondulatória da radiação de micro-ondas foi realizado da seguinte forma: anotou-se a frequência de operação de um forno de micro-ondas e, em seguida, retirou-se sua plataforma giratória. No seu lugar, colocou-se uma travessa refratária com uma camada grossa de manteiga. Depois disso, o forno foi ligado por alguns segundos. Ao se retirar a travessa refratária do forno, observou-se que havia três pontos de manteiga derretida alinhados sobre toda a travessa. Parte da onda estacionária gerada no interior do forno é ilustrada na figura.

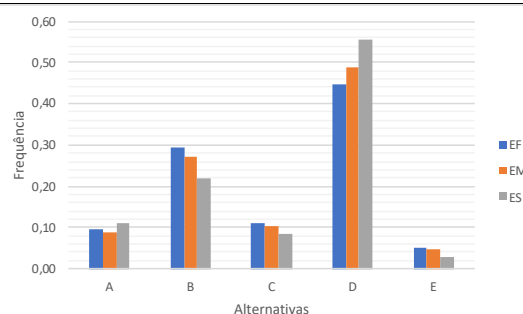


De acordo com a figura, que posições correspondem a dois pontos consecutivos da manteiga derretida?

- ☒ A) I e III
☐ B) I e V
☐ C) II e III
☐ D) II e IV
☐ E) II e V



Concluientes do Ensino Médio



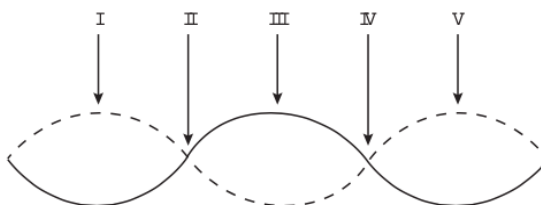
Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item aborda um experimento de bancada que é possível a pessoa realizar em casa com os utensílios domésticos a fim de compreender o funcionamento de um micro-ondas. Para resolver o item é necessário que o candidato saiba o que é uma onda estacionária que está representada na figura do texto-base.

Em uma onda estacionária existem regiões de interferência construtiva (I, III e V), onde a vibração é máxima e regiões de interferência destrutiva onde a onda não vibra (II e IV). Nas últimas a energia transferida é nula, ou seja, num micro-ondas essas regiões não esquentam o alimento.

Figura 65: Onda estacionária com representação dos nós.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do texto-base do item Q86-2016

As moléculas de manteiga entram vibram com maior intensidade com a onda estacionária formada no interior do forno, nas regiões ventrais. Como o derretimento ocorre com o aumento da temperatura que é a medida do estado de agitação das moléculas, os pontos onde a manteiga derrete correspondem a essas regiões ventrais: I, III e V.

Duas regiões consecutivas são dadas por I e III ou III e V.

Análise dos distratores:

Alternativa D: Alternativa mais assinalada por todos os grupos analisados. Supomos que esta escolha esteja associada a ideia de que a figura transmite uma ideia de que as regiões II e IV são as que a manteiga está derretida, pois a energia da onda está “concentrada” naquele ponto. Esta ideia difere da ideia científica de que este é o ponto de energia nula.

Além disso a figura 65 enumera 5 regiões e o enunciado pede duas regiões consecutivas com alguma característica. As regiões II e IV são as únicas que aparecem em par, já que as regiões I, III e V apresentam mesma característica.

Alternativa B: esta é a única alternativa que apresenta dois pontos distantes um

comprimento de onda entre si. Um estudante treinado a procurar uma onda completa para medir o comprimento de onda pode optar por esta alternativa.

Comentário:

Trata-se de um item conceitual de acordo com a taxonomia de Smith (MARCOM, 2019) que tem um contexto de experimento de bancada (especialista) e ao mesmo tempo é contextualizado no cotidiano dos candidatos. Percebe-se que ideias não científicas predominam nas respostas dos candidatos. Villar e Kleinke (2018) sugerem que itens de física experimental quando contextualizado mais próximo de especialistas apresenta baixo desempenho em todos os grupos sociais analisados. Por desconhecimento da concepção científica que explique o fenômeno descrito no texto base, aprendizes buscam formas de resolver o item de forma intuitiva, buscando no texto-base dicas e evidências que possam levam a resposta correta (CLEMENT, 1994)

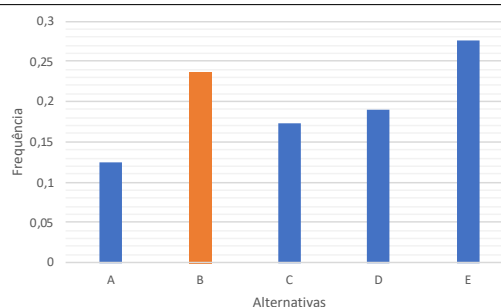
Q88 - 2016

QUESTÃO 88

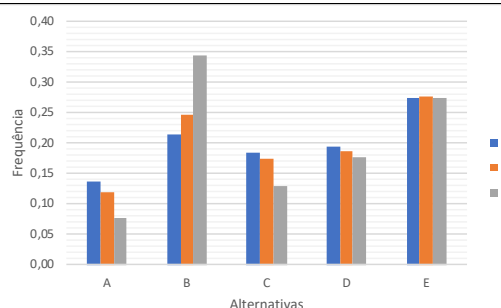
A magnetohipertermia é um procedimento terapêutico que se baseia na elevação da temperatura das células de uma região específica do corpo que estejam afetadas por um tumor. Nesse tipo de tratamento, nanopartículas magnéticas são fagocitadas pelas células tumorais, e um campo magnético alternado externo é utilizado para promover a agitação das nanopartículas e consequente aquecimento da célula.

A elevação de temperatura descrita ocorre porque

- ☐ A o campo magnético gerado pela oscilação das nanopartículas é absorvido pelo tumor.
- ☒ B o campo magnético alternado faz as nanopartículas girarem, transferindo calor por atrito.
- ☐ C as nanopartículas interagem magneticamente com as células do corpo, transferindo calor.
- ☐ D o campo magnético alternado fornece calor para as nanopartículas que o transfere às células do corpo.
- ☐ E as nanopartículas são aceleradas em um único sentido em razão da interação com o campo magnético, fazendo-as colidir com as células e transferir calor.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O texto-base apresenta a magnetohipertermia, uma terapia pouco difundida que se baseia na elevação da temperatura de celular por meio da vibração de nano

partículas magnéticas que são inseridas nas células e a incidência de um campo magnético alternado.

O campo magnético alternado faz com que os nanoimãs, estejam em constante agitação, chocando-se contra as células tumorais, aquecendo-as por atrito.

Análise dos distratores:

Alternativa E: Alternativa mais escolhida pelos grupos EF e EM e principal distrator do grupo ES. Pode estar associada a ideia de que os choques das partículas gerem calor e com o fato de o atrito presente na alternativa correta estar associado a fenômenos macroscópicos.

Outra possibilidade é a escolha estar associada a ideia que muitos choques de partículas com as paredes de um recipiente estão relacionados com aumento de pressão e temperatura.

Comentário:

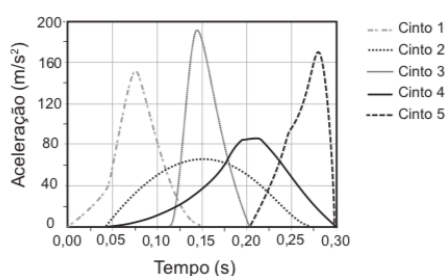
Trata-se de um item que, com exceção do grupo ES, os demais grupos escolhem o distrator presente na alternativa E com maior frequência do que as demais alternativas. Trata-se de um contexto técnico científico pouco comum e o texto envolve diversos termos científicos. Neste sentido, até a leitura e interpretação do item é prejudicada por aqueles alunos de menor nível socioeconômico que não tiveram acesso a esses conceitos durante a escolarização básica.

2017

Q93 - 2017

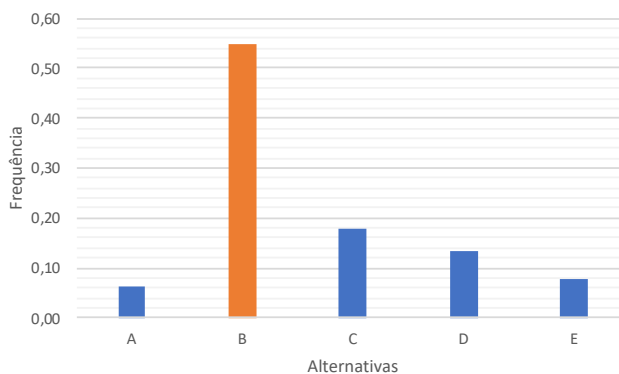
QUESTÃO 93

Em uma colisão frontal entre dois automóveis, a força que o cinto de segurança exerce sobre o tórax e abdômen do motorista pode causar lesões graves nos órgãos internos. Pensando na segurança do seu produto, um fabricante de automóveis realizou testes em cinco modelos diferentes de cinto. Os testes simularam uma colisão de 0,30 segundo de duração, e os bonecos que representavam os ocupantes foram equipados com acelerômetros. Esse equipamento registra o módulo da desaceleração do boneco em função do tempo. Os parâmetros como massa dos bonecos, dimensões dos cintos e velocidade imediatamente antes e após o impacto foram os mesmos para todos os testes. O resultado final obtido está no gráfico de aceleração por tempo.

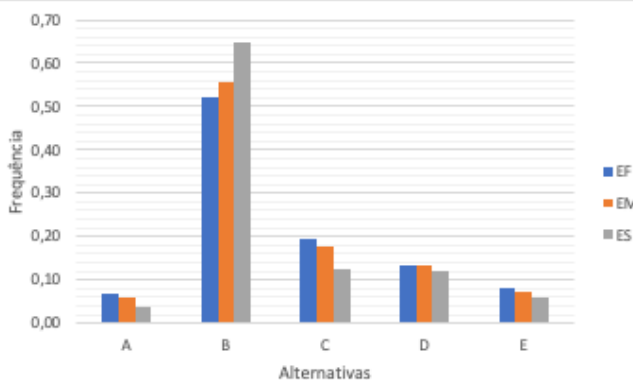


Qual modelo de cinto oferece menor risco de lesão interna ao motorista?

- ☐ A 1
☒ B 2
☐ C 3
☐ D 4
☐ E 5



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item apresenta contexto cotidiano do uso de cinto de segurança. As informações necessárias para resolução são dadas no enunciado, basta o candidato conhecer a relação entre força e aceleração (ou impulso) e realizar a leitura de gráfico.

Quanto mais rápido for desaceleração do passageiro, maior o impulso e, portanto, o impacto sobre o passageiro do carro.

Pelo gráfico apresentado, o cinto que apresenta a menor aceleração durante a freada é o 2, sendo, portanto, o mais seguro.

Análise dos distratores:

O item não possui distratores fortes. Cada alternativa representa uma das curvas disponíveis no gráfico apresentado. Como o enunciado pede o cinto mais seguro, o candidato que não compreender fisicamente optará por algum dos extremos: Maior desaceleração ou menor desaceleração. Maior intervalo de tempo ou menor

intervalo de tempo.

Como em ambos os casos a maior desaceleração acontece no menor intervalo e tempo e a menor desaceleração ocorre no maior intervalo de tempo, os candidatos em dúvida escolhem entre as alternativas B e C.

Comentário:

O item é do domínio conceitual - qualitativo (MARCOM, 2019) e explora um contexto cotidiano de uso de cinto de segurança. São necessários dois tipos de leitura (texto e gráfico) e com as informações presentes no texto e o conhecimento do conceito científico de impulso é possível resolver o item.

Além disso, mesmo desconhecendo a relação entre força e aceleração, como essas grandezas são diretamente proporcionais, se o candidato fizer a leitura que o gráfico com menor amplitude é o de menor força ele acertará o item. Neste caso, o senso comum e o conceito científico são equivalentes, o que possivelmente faz com que grande parte dos alunos que não conhecem formalmente os conceitos físicos consigam resolver o item corretamente.

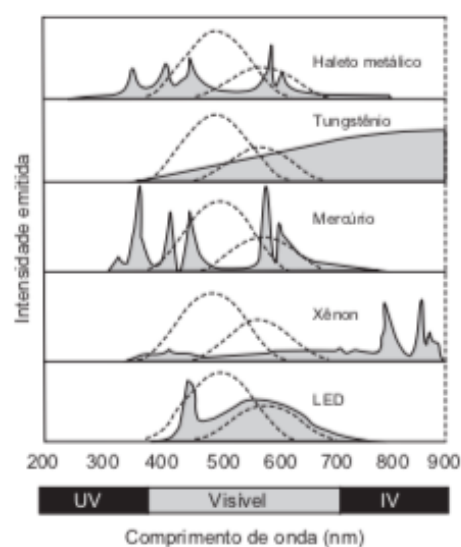
Observa-se uma vantagem do grupo ES sobre os demais, porém a diferença é menor do que no item Q123, por exemplo.

Q99 - 2017

QUESTÃO 99

A figura mostra como é a emissão de radiação eletromagnética para cinco tipos de lâmpada: haleto metálico, tungstênio, mercúrio, xênon e LED (diodo emissor de luz). As áreas marcadas em cinza são proporcionais à intensidade da energia liberada pela lâmpada. As linhas pontilhadas mostram a sensibilidade do olho humano aos diferentes comprimentos de onda. UV e IV são as regiões do ultravioleta e do infravermelho, respectivamente.

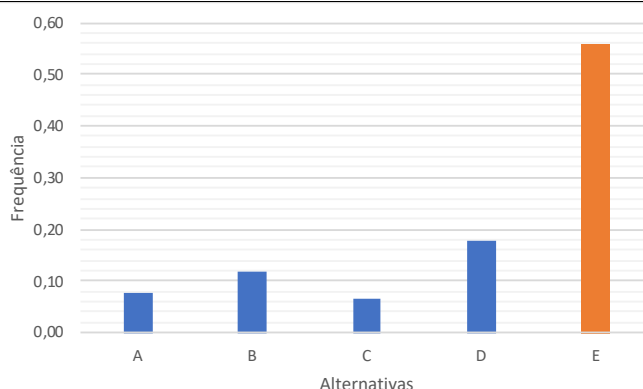
Um arquiteto deseja iluminar uma sala usando uma lâmpada que produza boa iluminação, mas que não aqueça o ambiente.



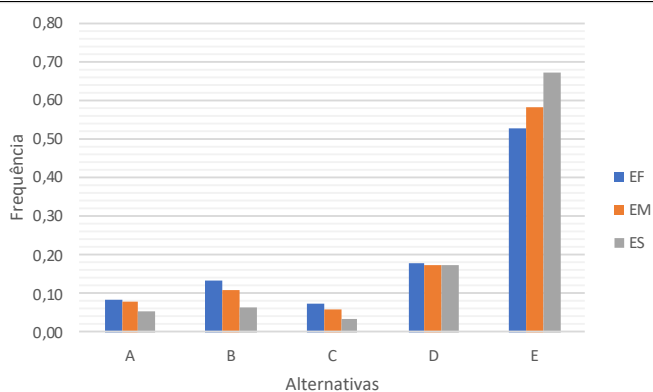
Disponível em: <http://exatas-campes.magnet.fiu.edu>. Acesso em: 8 maio 2017 (adaptado).

Qual tipo de lâmpada melhor atende ao desejo do arquiteto?

- ☐ A Haleto metálico.
- ☐ B Tungstênio.
- ☐ C Mercúrio.
- ☐ D Xênon.
- ☒ E LED.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item aborda uma situação técnica de escolha de lâmpadas a partir do espectro de emissão da luz pela lâmpada, comparando com a sensibilidade do olho para determina qual é a lâmpada mais eficiente para uma boa iluminação.

De acordo com os gráficos, a lâmpada de LED é a mais adequada, pois é a que emite mais luz dentro do espectro de visão do olho humano, resultando em boa iluminação.

Análise dos distratores:

O item não apresenta o distrator forte.

Alternativa D: é a alternativa errada mais assinalada por todos os grupos depois da alternativa correta. A Luz Xênon é conhecida por ser de alta intensidade e o gráfico apresentado mostra que o espectro de emissão é o que menos coincide com a sensibilidade do olho humano. Alunos que ficam em dúvida se a lâmpada deve iluminar mais ou menos a região visível pode optar nesta alternativa.

Comentário:

O item é conceitual (MARCOM, 2019) e apresenta um contexto técnico, porém presente no cotidiano de muitas pessoas, pois trata de eficiência de lâmpadas. Este item apresenta a maior taxa de acerto entre os itens de física de 2017. O item tem caráter conceitual e é qualitativo e a leitura de gráficos facilita na resolução.

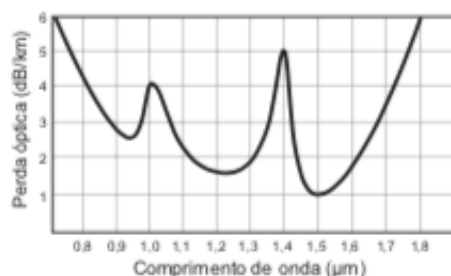
Apesar de conceitualmente o item ser de extrema complexidade por abordar conceitos como espectro de emissão e a sensibilidade do olho, o senso comum de que a lâmpada de LED é a mais eficiente é amplamente aceito.

Nossa hipótese é que a alta taxa de acerto deste item está associada com a equivalência entre o senso comum (cotidiano) e a concepção científica necessária para resolver o item. Entendemos que quando isso ocorre, a alternativa correta passa a atrair candidatos que não compreendem o conceito científico, porém este item apresenta pode ser considerado bom com necessidades de pequenos ajustes pelo valor de ICI que apresenta para os concluintes do Ensino Médio.

Q101 - 2017

QUESTÃO 101

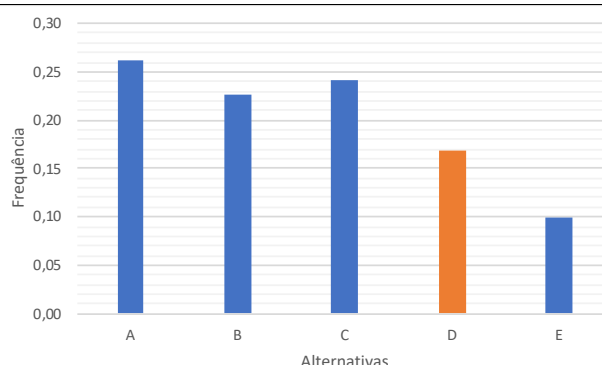
Em uma linha de transmissão de informações por fibra óptica, quando um sinal diminui sua intensidade para valores inferiores a 10 dB, este precisa ser retransmitido. No entanto, intensidades superiores a 100 dB não podem ser transmitidas adequadamente. A figura apresenta como se dá a perda de sinal (perda óptica) para diferentes comprimentos de onda para certo tipo de fibra óptica.



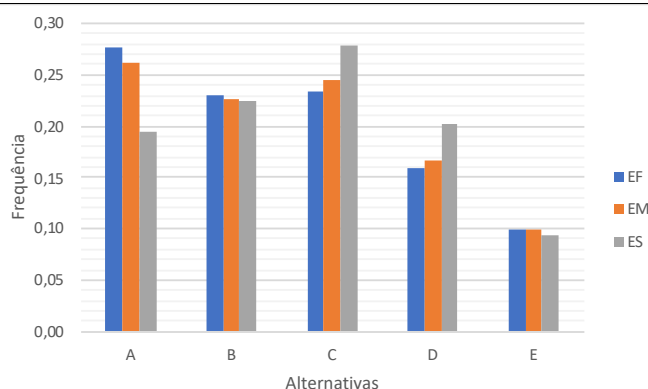
Atenuação e limitações das fibras ópticas. Disponível em: www.glauf.it.br. Acesso em: 25 maio 2017 (adaptado).

Qual é a máxima distância, em km, que um sinal pode ser enviado nessa fibra sem ser necessária uma retransmissão?

- A 6
- B 18
- C 60
- ☒ D 90
- E 100



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item tem um contexto técnico de transmissão de informação via fibra óptica e a perda de informação que ocorre no trajeto. As informações são apresentadas em texto e gráfico.

O texto-base diz que um sinal ao ser transmitido por uma linha de fibra óptica deve ter intensidade entre 10dB e 100dB. Menos do que 10dB e mais do que 100dB o as perdas no processo podem interferir na transmissão.

O enunciado quer saber qual é a distância máxima que é possível transmitir um sinal sem que seja necessária uma retransmissão.

Para a situação de máxima distância, vamos supor um sinal que seja transmitida com intensidade máxima permitida de 100dB e tenha uma queda até a intensidade mínima transmitida ao longo da transmissão, ou seja:

$$100dB - 10dB = 90dB$$

Além disso é fornecido um gráfico que mostra a perda óptica para diversos

comprimentos de onda. Para obter a transmissão máxima é necessário identificar qual dos comprimentos de onda tem a menor perda e isso ocorre em $1,5 \mu m$ em que a perda é de $1 dB/km$.

Considerando que para este comprimento a perda é de $1 dB/km$, para um decréscimo de $90 dB$ o sinal terá andado:

$$\begin{aligned} 1db & - - - - 1km \\ 90dB & - - - - x km \\ x & = 90km \end{aligned}$$

Análise dos distratores:

Alternativa C: Principal distrator para o grupo ES. Se o candidato multiplica a perda máxima de intensidade apresentada no gráfico ($6 dB/km$) pelo valor da intensidade mínima antes que seja necessária a retransmissão ($10 dB$) ele encontra o valor da alternativa.

Alternativa A: Principal distrator para os grupos EF e EM. O item pede a máxima distância que um sinal pode ser transmitido sem a necessidade de retransmissão. O gráfico apresenta como valor máximo de perda óptica de $6 dB/km$ nas duas extremidades no gráfico. Para o candidato que não se atenta

Alternativa B: Atrai igualmente todos os grupos. Se o candidato fizer o raciocínio correto, porém ao invés de dividir a perda em dB pela perda mínima, dividir pela diferença entre a perda mínima e máxima ou pelo valor encontrado no pico encontrado para $1,4 \mu m$ ele chega no valor desta alternativa.

$$\frac{90}{5} = 18 km$$

Além disso, o valor $1,8$ aparece como maior comprimento de onda do gráfico. Se o candidato multiplicar pela intensidade mínima ele chega numericamente no valor da alternativa.

$$1,8 \cdot 10 = 18$$

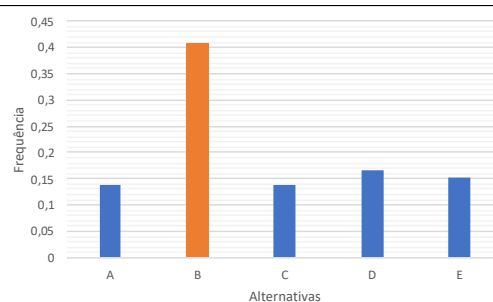
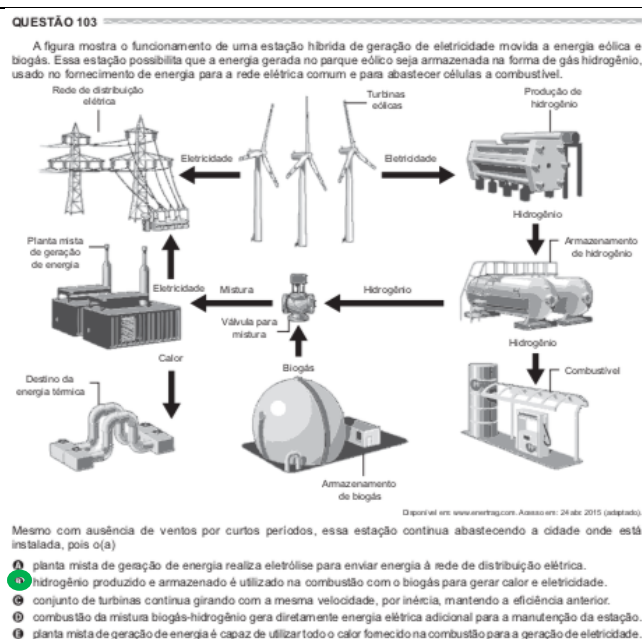
Comentário:

Trata-se de um item algorítmico (MARCOM, 2019) em que são necessários dois tipos de leitura: texto e gráfico. O item aborda um contexto técnico e fornece todas as informações necessárias para a resolução, não sendo necessário conhecer nenhum conhecimento específico para sua resolução. Habilidades de leitura de

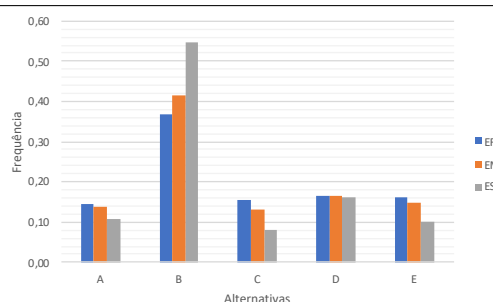
gráfico e interpretação de texto se bastam na resolução do item, que trata de um assunto pouco trabalhado no Ensino Médio.

Os erros neste item estão associados a dificuldade de leitura de gráfico que, segundo Beichner (1994), os aprendizes confundem as variáveis além e não realizar a leitura correta dos eixos do gráfico.

Q103 - 2017



Concluantes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item versa sobre geração de energia e apresenta em leitura de texto e fluxograma da geração de energia eólica. Neste esquema são apresentados os caminhos da geração de energia que alimenta diretamente a rede elétrica e uma parte da energia que é utilizada na geração de hidrogênio combustível. Este hidrogênio pode ser utilizado para gerar energia ou então como combustível para outras atividades. Com o armazenamento do hidrogênio previamente produzido, é possível utilizá-lo mesmo que as turbinas eólicas deixem de produzir eletricidade por um curto período.

Análise dos distratores:

O item não apresenta distratores.

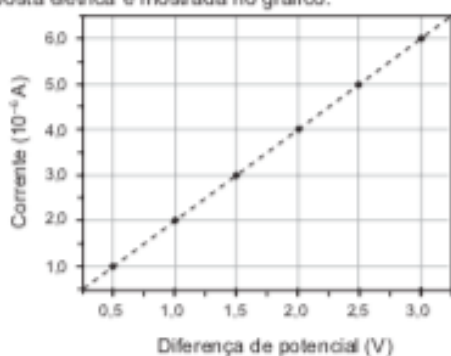
Comentário:

O item apresenta um contexto técnico de geração de energia elétrica por usina eólica com geração de hidrogênio combustível. É um item conceitual (MARCOM, 2019) com leitura de texto e figura em que não é necessário nenhum conhecimento prévio, dado que todas as informações necessárias são dadas no texto-base. Apesar disso, conhecer procedimentos como hidrólise, inércia e combustão podem favorecer o candidato a excluir as alternativas incorretas, o que pode explicar a diferença no desempenho dos grupos analisados.

Dentre os itens com maior taxa de acerto da prova é aquele que apresenta maior diferença entre os grupos EF e ES, o que sugere que o nível socioeconômico do candidato tem relação com o desempenho. Isso coincide com maior IDI dentre os itens analisados, o que pode sugerir que o grupo ES compõe a maioria do quartil superior enquanto o grupo EF compõe a maioria do quartil inferior.

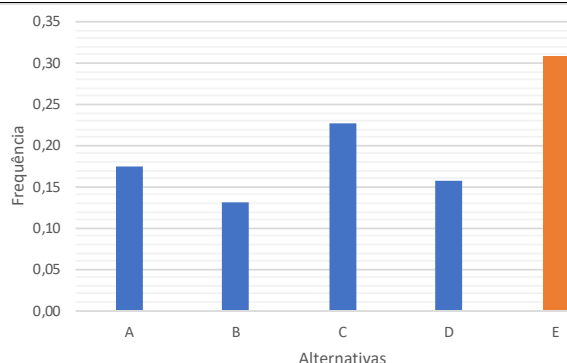
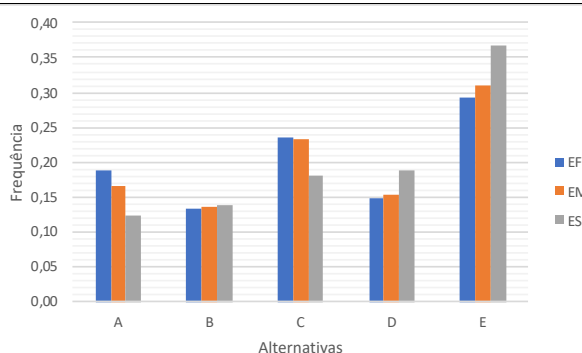
Q108 - 2017**QUESTÃO 108**

Dispositivos eletrônicos que utilizam materiais de baixo custo, como polímeros semicondutores, têm sido desenvolvidos para monitorar a concentração de amônia (gás tóxico e incolor) em granjas avícolas. A polianilina é um polímero semicondutor que tem o valor de sua resistência elétrica nominal quadruplicado quando exposta a altas concentrações de amônia. Na ausência de amônia, a polianilina se comporta como um resistor ôhmico e a sua resposta elétrica é mostrada no gráfico.



O valor da resistência elétrica da polianilina na presença de altas concentrações de amônia, em ohm, é igual a

- ☐ A $0,5 \times 10^0$.
- ☐ B $2,0 \times 10^0$.
- ☐ C $2,5 \times 10^5$.
- ☐ D $5,0 \times 10^5$.
- ☒ E $2,0 \times 10^6$.

**Concluintes do Ensino Médio****Grupos EF, EM e ES**

Resolução:

Trata-se de um item com contexto técnico e linguagem de especialista. O item apresenta um dispositivo utilizado para identificar a presença de gases tóxicos em avícolas que utiliza um material semiconductor que tem sua resistência quadruplicada quando exposta a altas concentrações de amônia.

O item fornece uma relação linear entre a corrente elétrica e a diferença de potencial do resistor na ausência de amônia e pede a resistência elétrica na presença de amônia.

Para determinar a resistência elétrica do material na ausência de amônia é necessária a leitura do gráfico e a determinação da inclinação da reta:

$$r = \frac{2}{4 \cdot 10^{-6}} = 0,5 \cdot 10^6 \Omega$$

Como a resistência quadruplica com alta concentração de amônia, obtemos:

$$r_{amônia} = 4r = 2 \cdot 10^6 \Omega$$

Análise dos distratores:

Alternativa C: Atrai principalmente os grupos EF e EM. Não identificamos o motivo desta escolha.

Alternativa A: Atrai mais candidatos dos grupos EF e EM. Se o candidato desconsiderar a legenda do eixo y que diz que a corrente elétrica deve ser multiplicada por 10^{-6} ele chega no valor desta alternativa.

$$r = \frac{U}{i} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Nakamura (2020) associa a escolha desta alternativa a dificuldades de compreender a apresentação do item, ou seja, interpretação de texto.

Alternativa D: Principal distrator do grupo ES. A escolha desta alternativa pode estar associada a um erro cometido por aqueles alunos menos atentos que não percebem no enunciado o seguinte trecho: “(...) tem o valor de sua resistência elétrica nominal **quadruplicado** quando exposta a altas concentrações de amônia.”. O candidato que não perceber que a resistência é quadruplicada na presença da amônia e fizer a conta utilizando apenas o gráfico encontrará o valor presente nesta alternativa.

$$r = \frac{2}{4 \cdot 10^{-6}} = 0,5 \cdot 10^6 \Omega = 5 \cdot 10^5 \Omega$$

Nakamura (2020) associa a escolha desta alternativa a dificuldades de compreender a apresentação do item, ou seja, interpretação de texto.

Comentário:

Trata-se de um item algorítmico (MARCOM, 2019) com contexto técnico próximo a especialistas. Verifica-se que além ser necessário a leitura de gráfico é necessária o candidato lembrar a relação entre resistência, tensão e corrente elétrica (lei de Ohm) e a realização de, ao menos, duas operações algébricas.

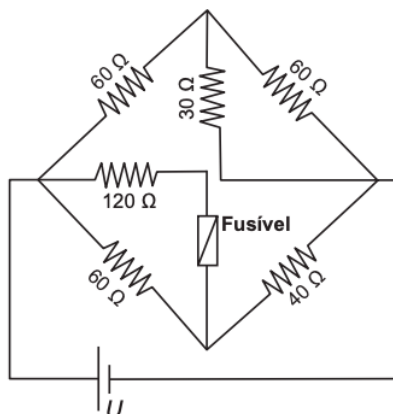
Este item apresenta distratores diferentes para grupos diferentes, o que faz com que o padrão de resposta em cada grupo seja distinto. Villar e Kleinke (2020) apontam que ocorre uma inversão de preferência pelos distratores (padrão de respostas) entre os diferentes grupos e sugerem que esta inversão explique mudanças nos agrupamentos por análise fatorial nos diferentes grupos. Os erros dos grupos de menos nível socioeconômico estão mais associados ao fato que os aprendizes, quando confrontados com gráficos cometem erros como: confusão entre inclinação e altura; confusão de variáveis ou não leitura dos eixos do gráfico (BEICHNER, 1994).

Nakamura (2020) levanta alguns problemas referentes a apresentação do item que podem ter levado ao baixo desempenho e alta distribuição das respostas entre as alternativas, como contexto não adequado ao aluno de ensino médio; nível exagerado de detalhamento para induzir o erro; resolução *multi-step*.

Q111 - 2017

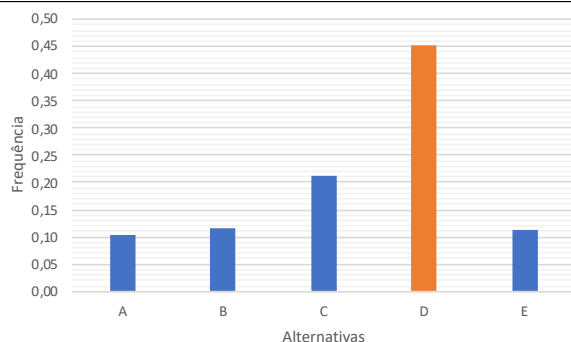
QUESTÃO 111

Fusível é um dispositivo de proteção contra sobrecorrente em circuitos. Quando a corrente que passa por esse componente elétrico é maior que sua máxima corrente nominal, o fusível queima. Dessa forma, evita que a corrente elevada danifique os aparelhos do circuito. Suponha que o circuito elétrico mostrado seja alimentado por uma fonte de tensão U e que o fusível suporte uma corrente nominal de 500 mA.

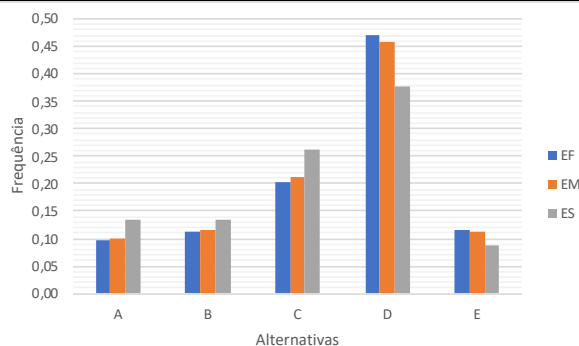


Qual é o máximo valor da tensão U para que o fusível não queime?

- A 20 V
- B 40 V
- C 60 V
- D 120 V**
- E 185 V



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Para calcular a diferença de potencial (tensão da fonte) entre os extremos do circuito, temos que calcular a corrente que passa entre estes pontos.

Pelo fusível deve passar uma corrente de 0,5A a tensão aplicada no resistor de $120\ \Omega$ e, portanto, no fusível deve ser de $120 \cdot 0,5 = 60V$.

Esta diferença de potencial é a mesma que a aplicada no resistor de $60\ \Omega$ que está em paralelo, a corrente i_1 que deve passar por este resistor deve ser de

$$60 = 60 \cdot i_1 \Rightarrow i_1 = 1A$$

Sendo assim, a corrente máxima total que passa por esta ramificação é de $i_{total} =$

$$i_{fusível} + i_1 = 1,5A$$

Como a resistência equivalente neste ramo é de $R_{eq} = \frac{120 \cdot 60}{120 + 60} + 40 = 80\ \Omega$ e os ramos estão em paralelo, podemos calcular U como:

$$U = 80 \cdot 1,5 = 120V$$

Análise dos distratores:

Alternativa C: Principal distrator de todos os grupos e atraiu principalmente o grupo ES. No primeiro passo encontramos o valor de 60V, valor este presente na alternativa C que atraiu grande parte dos candidatos com maior proficiência, mas que devido ao imediatismo, ao encontrar um valor presente nas alternativas tende a assinalar (imediatismo).

Nakamura (2020) sugere que todos os grupos escolhem esta alternativa como distrator e que esta escolha está associada a concepção alternativa de que a corrente elétrica se divide igualmente num nó.

Comentário:

Trata-se de um item *multistep* com contexto técnico de especialista. O item aborda o uso de fusíveis, o que raramente é trabalhado no Ensino Médio. Este item apresenta um resultado surpreendente: quanto menor o nível socioeconômico do candidato, maior a probabilidade de acerto. Isso se deve ao fato de o distrator mais forte coincidir com a alternativa correta. Segundo Nakamura (2020) o motivo da escolha desta alternativa é que os candidatos que não sabem resolver formalmente o item copiam algum valor apresentado em destaque. No caso da figura, a resistência ligada no fusível apresenta valor numérico igual da alternativa correta.

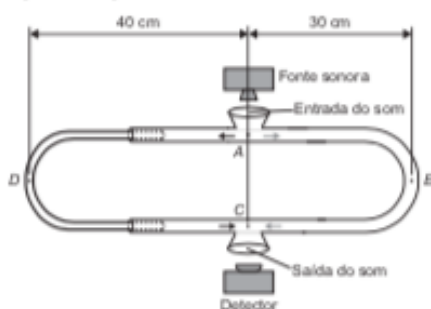
Nakamura *et al.* (2021) sugere quem o item apresenta “comportamento anômalo devido à alternativa correta coincidir com o senso comum, atraindo as respostas de uma grande porcentagem de alunos com baixo desempenho na prova, diminuindo seu poder discriminatório.” (p. 5)

Quando analisamos a resolução deste item, observa-se que ele necessita de, ao menos, 4 passos algébricos em sua resolução e que, se em algum desses passos for encontrado o valor numérico presente nas alternativas é tendência dos candidatos assinalarem a alternativa correta por imediatismo (MARCOM, 2019).

Q113- 2017

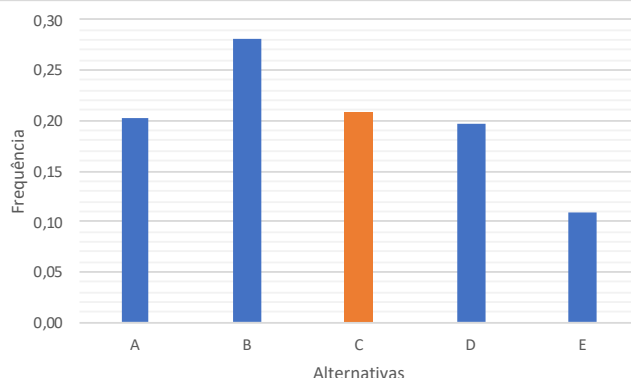
QUESTÃO 113

O trombone de Quincke é um dispositivo experimental utilizado para demonstrar o fenômeno da interferência de ondas sonoras. Uma fonte emite ondas sonoras de determinada frequência na entrada do dispositivo. Essas ondas se dividem pelos dois caminhos (ADC e AEC) e se encontram no ponto C , a saída do dispositivo, onde se posiciona um detector. O trajeto ADC pode ser aumentado pelo deslocamento dessa parte do dispositivo. Com o trajeto ADC igual ao AEC , capta-se um som muito intenso na saída. Entretanto, aumentando-se gradativamente o trajeto ADC , até que ele fique como mostrado na figura, a intensidade do som na saída fica praticamente nula. Desta forma, conhecida a velocidade do som no interior do tubo (320 m/s), é possível determinar o valor da frequência do som produzido pela fonte.

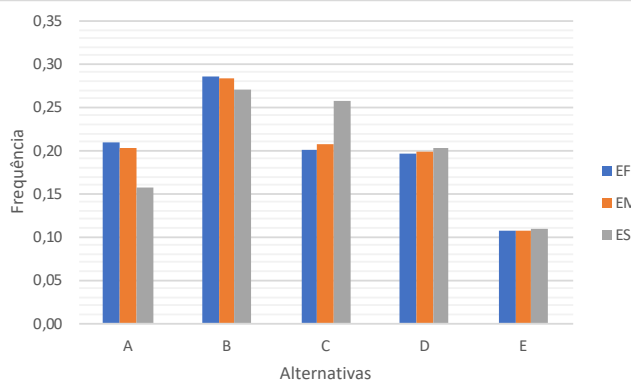


O valor da frequência, em hertz, do som produzido pela fonte sonora é

- ☐ A 3 200.
☐ B 1 600.
☒ C 800.
☐ D 640.
☐ E 400.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item apresenta como contexto um experimento de bancada (especialista) que é utilizado para o estudo de interferência de ondas sonoras.

A interferência no ponto c foi de construtiva (muito intensa) para destrutiva (nula).

Para que se tenha uma interferência destrutiva, é necessário que a diferença entre os deslocamentos das ondas seja de meia onda, ou seja,

$$d_{ADC} - d_{AEC} = \frac{\lambda}{2}$$

Logo, o comprimento de onda deverá ser de:

$$d_{AEC} = 2 \cdot 30 = 60 \text{ cm} ; d_{ADC} = 2 \cdot 40 = 80 \text{ cm}$$

$$\frac{\lambda}{2} = 80 - 60 = 20 \Rightarrow \lambda = 40 \text{ cm} = 0,4$$

É dado que a velocidade de propagação da onda sonora é de 320 m/s . Pela Equação Fundamental da Ondulatória, obtemos a frequência pedida:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 320 = 0,4 \cdot f \Rightarrow f = 800Hz$$

Análise dos distratores:

Alternativa B: Principal escolha de todos os grupos analisados. Se o candidato não percebe que a onda vai e volta na tubulação ele chega no valor desta alternativa:

$$d_{AEC} = 30 \text{ cm} ; d_{ADC} = 40 \text{ cm}$$

$$\frac{\lambda}{2} = 40 - 30 = 10 \Rightarrow \lambda = 20 \text{ cm} = 0,2$$

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 320 = 0,2 \cdot f \Rightarrow f = 1600Hz$$

Alternativa A: Não é um distrator forte, mas é escolhido pelos grupos EF e EM com a mesma frequência que a alternativa correta. Se o candidato multiplicar a diferença entre os comprimentos dos tubos apresentados na figura pela velocidade do som dado no texto-base ele chega no valor numérico desta alternativa. Neste caso o candidato não se atentou para as unidades e para as grandezas físicas envolvidas, apenas realizou operações matemáticas com os valores presentes no texto-base.

$$(40 - 30) \cdot 320 = 3200$$

Comentário:

O item apresenta um experimento de bancada de laboratório de física (especialista) e, portanto, um contexto técnico-científico. Villar e Kleinke (2018) e Oliveira (2014) apontam que o desempenho de todos os níveis socioeconômicos é mais baixo quando o item apresenta este tipo de contexto.

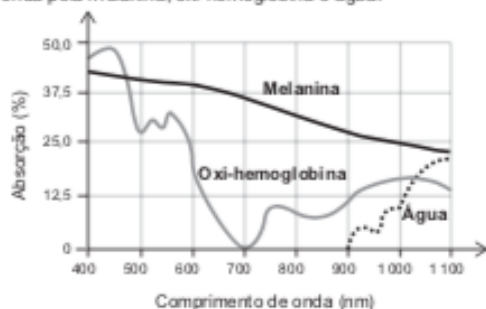
Marcom (2019) classifica este item como algorítmico na taxonomia de Smith. Além disso ele necessita de dois tipos de leitura: texto e figura e múltiplos passos algébricos em sua resolução. É necessário que o candidato conheça a equação fundamental da ondulatória e as condições necessárias para que haja interferência construtiva e destrutiva entre ondas.

As escolhas erradas neste item podem estar associadas a interpretação errada do texto e figura bem como a busca de formas intuitivas que evitam as soluções matemático-dedutivas (CLEMENT, 1994). Além disso, outra fonte de erro é o uso de formas simbólicas que gerem valores numéricos presentes nas alternativas em passos intermediários da resolução do item multi-step associados ao imediatismo dos candidatos (SHERIN, 2001).

Q123 - 2017

QUESTÃO 123

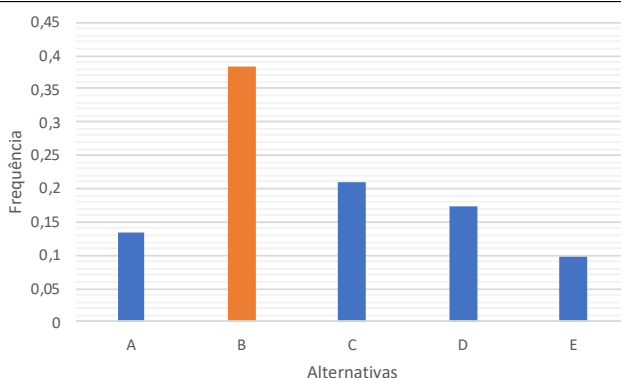
A epilação a laser (popularmente conhecida como depilação a laser) consiste na aplicação de uma fonte de luz para aquecer e causar uma lesão localizada e controlada nos folículos capilares. Para evitar que outros tecidos sejam danificados, selecionam-se comprimentos de onda que são absorvidos pela melanina presente nos pelos, mas que não afetam a oxi-hemoglobina do sangue e a água dos tecidos da região em que o tratamento será aplicado. A figura mostra como é a absorção de diferentes comprimentos de onda pela melanina, oxi-hemoglobina e água.



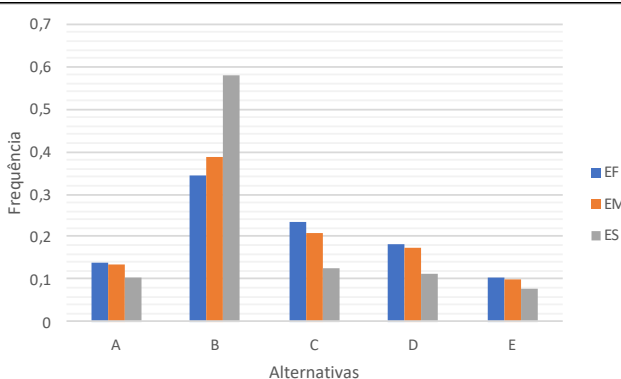
MACEDO, F. S.; MONTEIRO, E. O. Epilação com laser e luz intensa pulsada. Revista Brasileira de Medicina. Disponível em: www.monografias.com.br. Acesso em: 4 set. 2015 (adaptado).

Qual é o comprimento de onda, em nm, ideal para a epilação a laser?

- ☐ A 400
- ☒ B 700
- ☐ C 1 100
- ☐ D 900
- ☐ E 500



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item aborda uma situação cotidiana mais comum entre as mulheres, principalmente daquelas com maior poder aquisitivo, que é a depilação a laser. O texto-base explica que o laser ideal para esta prática deve ser aquele que é absorvido pela melanina presente nos pelos do corpo, mas não devem afetar a oxi-hemoglobina e a água.

De acordo com o gráfico fornecido no texto-base, o comprimento de onda em que não há absorção por parte da oxi-hemoglobina e nem da água é por volta de 700 nm.

Análise dos distratores:

Alternativa C: Atrai os grupos de menor nível socioeconômico. É o comprimento de onda que a água apresenta maior absorção e a melanina apresenta menor absorção. O candidato que não conseguir interpretar corretamente o texto, pode escolher aquele comprimento de onda que é absorvido tanto pela água, quanto pela melanina e a oxi-hemoglobina. Além disso, a melanina pode ser associada a algo

“ruim” por causa de tipos de câncer difundidos como o “melanoma”.

Comentário:

O item tem contexto cotidiano – técnico e é do domínio conceitual (MARCOM, 2019). Para a resolução é necessário interpretação do texto e leitura de gráfico e não é necessário nenhum conhecimento prévio de conteúdos específicos de física uma vez que toda informação necessária para a resolução está apresentada no texto-base. Apesar disso, sabe-se da dificuldade dos alunos na leitura e interpretação de gráficos (BEICHNER, 1994).

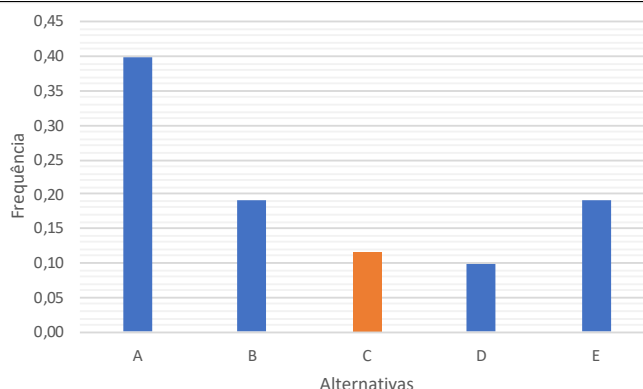
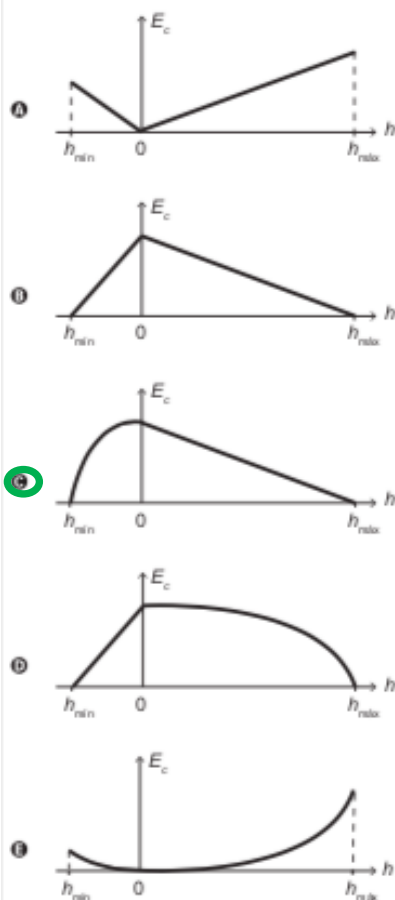
O contexto faz parte do cotidiano de um grupo mais favorecido e neste sentido, observa-se que o nível socioeconômico do candidato influencia fortemente no desempenho do item.

Q124 - 2017

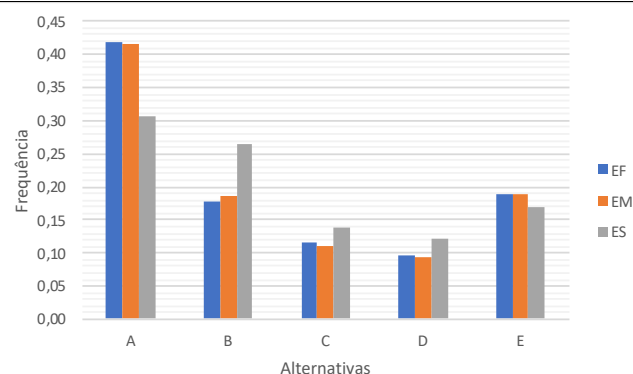
QUESTÃO 124

O brinquedo pula-pula (cama elástica) é composto por uma lona circular flexível horizontal presa por molas à sua borda. As crianças brincam pulando sobre ela, alterando e alternando suas formas de energia. Ao pular verticalmente, desprezando o atrito com o ar e os movimentos de rotação do corpo enquanto salta, uma criança realiza um movimento periódico vertical em torno da posição de equilíbrio da lona ($h = 0$), passando pelos pontos de máxima e de mínima alturas, $h_{\text{máx}}$ e $h_{\text{mín}}$ respectivamente.

Esquemáticamente, o esboço do gráfico da energia cinética da criança em função de sua posição vertical na situação descrita é:



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se de um item que aborda uma situação cotidiana de brinquedo de crianças ou academia que não é de fácil acesso a grande parte das pessoas. O enunciado pede para que o candidato identifique qual gráfico representa melhor a variação de energia cinética em função da altura da criança pulando na cama elástica. Para isso é necessário analisar os movimentos e escrever as equações da conservação de energia isolando o termo da energia cinética.

Primeiramente é notável que a energia cinética da criança deve se anular nos

pontos de altura mínima (com a cama elástica esticada ao máximo) e máxima (altura máxima do pulo), onde está convertida em energia potencial elástica e gravitacional. Outro ponto importante que devemos considerar é que na altura zero a energia cinética é máxima.

Excluem-se aqui as alternativas A e E. Para descobrir a forma da curva é necessário observar como a energia cinética varia em função da posição para cima e para baixo de $h = 0$.

Na região $0 < h < h_{máx}$ temos energia cinética sendo convertida em energia potencial gravitacional e vice e versa. Neste caso $E_c = E_{p_g} = mgh$, ou seja, a energia cinética diminui linearmente com a altura.

Na região $0 < h < h_{mín}$, a energia cinética é convertida em energia potencial elástica e energia elástica. Neste caso $E_c = mgh + \frac{kh^2}{2}$, ou seja, a energia cinética diminui de acordo com uma função quadrática.

Conclusão: para a esquerda do eixo y temos uma parábola com concavidade para baixo e para a direita temos uma reta decrescente.

Análise dos distratores:

Alternativa A: Principal distrator dos grupos EF e EM. Esta escolha pode estar associada a leitura equivocada do texto-base e uma tentativa de resolução por intuição. O texto-base fale que a criança realiza um movimento periódico em torno de uma posição de equilíbrio, que foi chamado de $h = 0$ e passa pela altura máxima e mínima. Seria uma tentativa enxergar o gráfico como uma foto do movimento (BEICHNER, 1994).

Outra possibilidade é o candidato pensar que o item pede a variação da energia potencial gravitacional em torno da altura $h = 0$ e desconsiderar que essa energia ser negativa, ignorando também a energia potencial elástica.

Alternativa B: Distrator do grupo ES. Os candidatos que assinalaram esta alternativa aparentemente conseguem fazer as duas primeiras análises da resolução, mas não conseguiram isolar o termo de energia cinética para escolher a curva que melhor represente esta função. Percebe-se conhecimento parcial dos conceitos neste caso ou uma busca por resolução de forma intuitiva.

Comentário:

O item aborda uma situação de brincadeira de criança ou academia presente no

cotidiano das pessoas, sendo classificado dentro do domínio algorítmico pela taxonomia de Smith (MARCOM, 2019). Para resolução são necessárias ao menos 3 habilidades em física: Leitura/interpretação de texto, leitura/interpretação de gráfico e lembrar/manipular equações.

Assim como os outros itens que abordam gráficos é possível identificar dificuldades dos aprendizes descritas por Beichner (1994) como: considerar os gráficos como imagens (fotografia da situação) e não como uma representação matemática abstrata e confusão de variáveis ou não leitura dos eixos do gráfico.

Observam-se dificuldades diferentes nos grupos EF/EM e no grupo ES. A interpretação parcial da situação é demonstrada pelo grupo ES, porém como qualquer prova de múltipla escolha este tipo de conhecimento parcial não é contemplado na nota final, já que só existem as possibilidades certo/errado.

Percebe-se ainda o uso de um gráfico pouco usual de energia cinética em função da altura de uma pessoa, sendo que alunos mais treinados também apresentam dificuldade na resolução, já que os gráficos presentes nos exercícios de fixação não contemplam este tipo de abordagem.

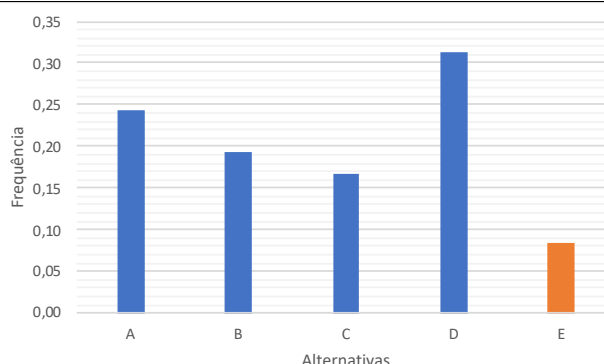
Q125 - 2017

QUESTÃO 125

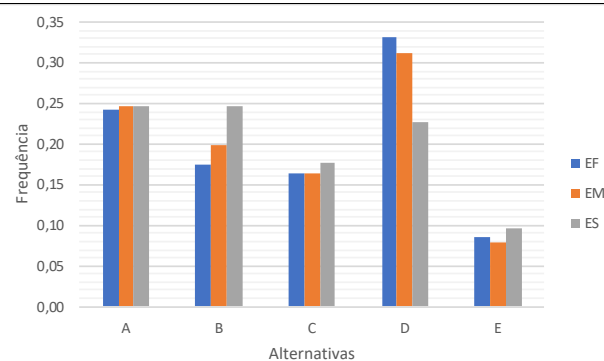
Um motorista que atende a uma chamada de celular é levado à desatenção, aumentando a possibilidade de acidentes ocorrerem em razão do aumento de seu tempo de reação. Considere dois motoristas, o primeiro atento e o segundo utilizando o celular enquanto dirige. Eles aceleram seus carros inicialmente a $1,00 \text{ m/s}^2$. Em resposta a uma emergência, freiam com uma desaceleração igual a $5,00 \text{ m/s}^2$. O motorista atento aciona o freio à velocidade de $14,0 \text{ m/s}$, enquanto o desatento, em situação análoga, leva $1,00$ segundo a mais para iniciar a frenagem.

Que distância o motorista desatento percorre a mais do que o motorista atento, até a parada total dos carros?

- ☐ A 2,90 m
☐ B 14,0 m
☐ C 14,5 m
☐ D 15,0 m
☒ E 17,4 m



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se de um item que aborda uma situação cotidiana de frenagem repentina de um carro em que uma pessoa atenta e uma pessoa desatenta são submetidas. Todas as outras condições são idênticas para analisar a diferença da distância percorrida por causa de 1 segundo a mais de desatenção.

Temos que determinar a distância percorrida pelo motorista atento e o motorista distraído para determinar a diferença entre as distâncias percorridas.

Para o motorista atento, temos primeiro que determinar o tempo e a distância percorrida até atingir 14 m/s a partir do repouso

$$v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow 14 = 0 + 1 \cdot t \Rightarrow t = 14 \text{ s} \text{ (valor numérico igual ao da alternativa B)}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \Rightarrow 14^2 = 0^2 + 2 \cdot 1 \cdot \Delta s_1 \Rightarrow \Delta s_1 = 98 \text{ m}$$

Após o início da frenagem, temos agora que determinar a distância percorrida até parar:

$$0^2 = 14^2 + 2 \cdot (-5) \cdot \Delta s_2 \Rightarrow \Delta s = 19,6 \text{ m}$$

Logo, a distância total percorrida pelo motorista atento foi de $\Delta s_{total_1} = 98 + 19,6 = 117,6 \text{ m}$

O motorista que utiliza o celular passou 1s a mais do que o motorista atento acelerando antes de frear levando, portanto, 15s até começar a frear.

Logo, a velocidade atingida e distância percorrida por ele neste intervalo de tempo a partir do repouso foi de:

$$v = v_o + a \cdot t \Rightarrow v = 0 + 1 \cdot 15 \Rightarrow v = 15 \text{ m/s} \quad (\text{Valor numérico igual ao da alternativa D})$$

$$v^2 = v_o^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \Rightarrow 15^2 = 0^2 + 2 \cdot 1 \cdot \Delta s_3 \Rightarrow \Delta s_3 = 112,5 \text{ m}$$

Assim, a distância percorrida durante a frenagem até parar foi de

$$0^2 = 15^2 + 2 \cdot (-5) \cdot \Delta s_4 \Rightarrow \Delta s_4 = 22,5 \text{ m}$$

A distância total percorrida pelo motorista desatento foi de:

$$\Delta s_{total_2} = 112,5 + 22,5 = 135 \text{ m}$$

Portanto, a distância percorrida a mais pelo motorista desatento é de:

$$\Delta s_{diferença} = 135 + 117,6 = 17,4 \text{ m} \quad (\text{Alternativa E - Correta})$$

Análise dos distratores:

Apresentamos ao longo da resolução passagens intermediárias que contém valores numéricos iguais as das alternativas erradas. Além das passagens, temos como possibilidade de distratores:

Alternativa D: Além da passagem apresentada na resolução, como o motorista que utiliza o celular passou 1s a mais do que o motorista atento acelerando antes de frear, ou seja, 15s, se o candidato confundir a aceleração com velocidade média, a distância percorrida por ele até começar a frear seria de 15m.

Alternativa B: Como o motorista atento estava a 14 m/s e ficou 1s menos que o motorista desatento acelerando, o candidato pode considerar apenas este intervalo de tempo e esta velocidade para calcular a diferença entre as distâncias percorridas, realizando operações diretas com os valores presentes no enunciado (SHERIN, 2001)

Alternativa A: Se o candidato subtrair as distâncias percorridas pelos motoristas até começar a frear:

$$\Delta s_A = 22,5 - 19,6 = 2,9 \text{ m}$$

Alternativa C: Se o candidato subtrair as distâncias percorridas pelos motoristas durante as frenagens:

$$\Delta s_A = 112,5 - 98 = 14,5m$$

Comentário:

Trata-se de um item contextualizado no cotidiano e do domínio algorítmico na taxonomia de Smith (MARCOM, 2019). O item necessita de manipulação algébrica, bem como múltiplas passagens para chegar ao valor esperado. Quando isso ocorre, o desempenho dos candidatos é muito baixo em todos os grupos analisados (KLEINKE, 2017).

O item apresenta um distrator principal para os grupos EF e EM diferente do distrator principal do grupo ES. Em todos os casos, a busca por raciocínios intuitivos que fogem das manipulações algébricas (CLEMENT, 1994) e imediatismo quando o candidato em alguma passagem intermediária encontra um valor numérico presente nas alternativas explicam os erros dos candidatos.

A alternativa correta é a alternativa menos assinalada neste item, sendo que este é o item com menor índice de acerto de toda a prova de ciências da natureza deste ano ($IFI = 0,08$). Consideramos o item fora de propósito para o ENEM pelo tempo necessário para sua resolução formal, já que são necessários, ao menos, oito passagens para obter o valor esperado.

Q127 - 2017

QUESTÃO 127

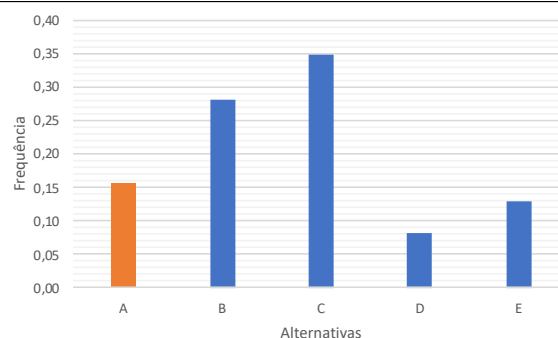
Para demonstrar o processo de transformação de energia mecânica em elétrica, um estudante constrói um pequeno gerador utilizando:

- um fio de cobre de diâmetro D enrolado em N espiras circulares de área A ;
- dois ímãs que criam no espaço entre eles um campo magnético uniforme de intensidade B ; e
- um sistema de engrenagens que lhe permite girar as espiras em torno de um eixo com uma frequência f .

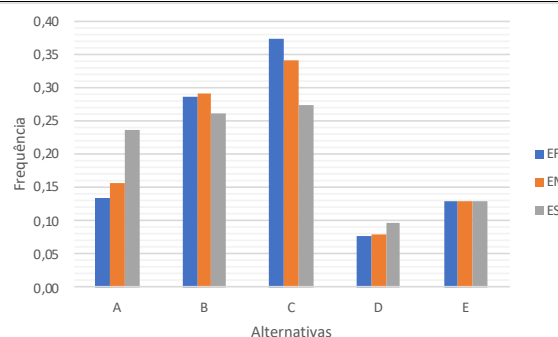
Ao fazer o gerador funcionar, o estudante obteve uma tensão máxima V e uma corrente de curto-circuito i .

Para dobrar o valor da tensão máxima V do gerador mantendo constante o valor da corrente de curto i , o estudante deve dobrar o(a)

- ☒ A) número de espiras.
☐ B) frequência de giro.
☐ C) intensidade do campo magnético.
☐ D) área das espiras.
☐ E) diâmetro do fio.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item aborda um experimento de bancada de laboratório de Física (especialista) em que um estudante propõe a construção de um mini gerador com ímã e bobina. O enunciado pede para que o candidato avalie o que deve ser alterado no experimento para que a tensão elétrica máxima gerada dobre e a corrente elétrica permaneça constante.

Neste sentido, de acordo com a 1ª lei de Ohm, temos que:

$$V = R \cdot i \Rightarrow R = \frac{V}{i}$$

A mudança na montagem deve ser tal que a tensão sobre e a corrente permaneça a mesma, ou seja:

$$2V = R' \cdot i$$

Ou seja, $R' = \frac{2V}{i} = 2R$

Portanto, para dobrar a tensão máxima do gerador mantendo constante a corrente de curto devemos dobrar o valor da resistência.

Sabemos também que o campo magnético gerado por uma bobina depende do número de espiras (N), corrente elétrica (i) e o raio das espiras (r):

$$B = \frac{N \cdot \mu \cdot i}{2 \cdot r}$$

Substituindo a corrente elétrica por $i = \frac{V}{R}$, temos:

$$B = \frac{N \cdot \mu \cdot U}{2 \cdot r \cdot R} \Rightarrow R = \frac{N \cdot \mu \cdot U}{2 \cdot r \cdot B}$$

Ou seja, para aumentar a resistência é necessário aumentar N ou U , ou então diminuir r ou B .

Portanto, uma forma possível de dobrar a tensão mantendo a corrente constante seria dobrando o número de espiras.

Análise dos distratores:

Alternativa C: Principal distrator de todos os grupos analisados. O candidato que já teve contato com a lei de Faraday pode lembrar que o aumento do campo magnético pode aumentar a intensidade da corrente elétrica que passa pelo fio. Se o candidato não se atentar que deve haver o aumento da tensão sem aumentar a corrente ele pode escolher esta alternativa.

Alternativa B: Segunda alternativa mais assinalada do item. Assim como a alternativa C, se o candidato já teve contato com a lei de Faraday ou com um gerador ele sabe que quanto maior a “velocidade” ou frequência do giro, maior a corrente elétrica de curto gerada na bobina.

Comentário:

Trata-se de um item do domínio algorítmico (MARCOM, 2019) contextualizado em um experimento de bancada (especialista) e quando isso ocorre o desempenho dos candidatos é baixo em todos os grupos socioeconômicos (VILLAR; KLEINKE, 2018). Apesar disso, observa-se que a taxa de acerto do grupo ES é quase o dobro do que a taxa de acerto do grupo EF. O item é apresentado apenas com uma descrição do experimento sem nenhuma figura ou esquema que ajude o candidato a compreender a montagem experimental, o que aumenta ainda mais o grau de complexidade do item. Apesar da física ser uma disciplina experimental por natureza, diversos são os motivos do fracasso experimental na educação básica (LABURU *et al.*, 2007; AZEVEDO *et al.*, 2009).

Além disso, o item é do domínio algoritmo, logo os candidatos precisam utilizar

informações dentro de uma estrutura lógica de resolução que pode ser tanto matemática, quanto conceitual (SMITH *et al.*, 2001). Clement (1994) aponta que quando isso ocorre os aprendizes buscam utilizar raciocínios intuitivos que fujam da manipulação das fórmulas.

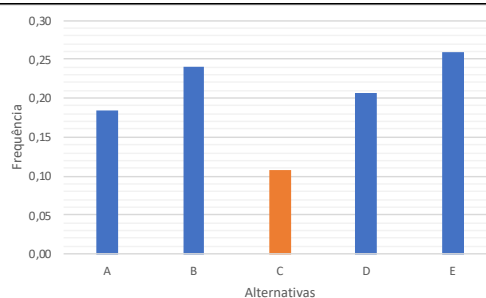
Q130 - 2017

QUESTÃO 130

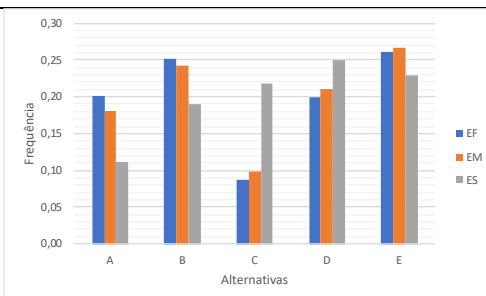
Em algumas residências, cercas eletrificadas são utilizadas com o objetivo de afastar possíveis invasores. Uma cerca eletrificada funciona com uma diferença de potencial elétrico de aproximadamente 10 000 V. Para que não seja letal, a corrente que pode ser transmitida através de uma pessoa não deve ser maior do que 0,01 A. Já a resistência elétrica corporal entre as mãos e os pés de uma pessoa é da ordem de 1 000 Ω .

Para que a corrente não seja letal a uma pessoa que toca a cerca eletrificada, o gerador de tensão deve possuir uma resistência interna que, em relação à do corpo humano, é

- ☐ A praticamente nula.
- ☐ B aproximadamente igual.
- ☒ C milhares de vezes maior.
- ☐ D da ordem de 10 vezes maior.
- ☐ E da ordem de 10 vezes menor.



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

Trata-se de uma situação cotidiana de instalação e funcionamento de uma cerca elétrica para proteção de casas contra possíveis invasores. O texto-base fornece as condições necessárias para que o choque da cerca elétrica não seja letal e pede a resistência interna do gerador de forma a respeitar a condição dada no texto.

Temos que um gerador real fornece uma tensão em um circuito fechado de:

$$U = (r + R) \cdot i$$

Sendo r a resistência interna do gerador e R a resistência do circuito, no caso a resistência elétrica corporal de uma pessoa. Substituindo os valores fornecidos no texto-base:

$$10.000 = (r + 1.000) \cdot 0,01$$

$$r \approx 999.000\Omega \approx 10^6\Omega$$

Quando comparamos com a resistência do corpo humano temos que:

$$\frac{r}{R} = \frac{10^6}{10^3} = 10^3 = 1.000$$

Ou seja, o valor da resistência deve ser cerca de 1.000 vezes maior (milhares de vezes).

Análise dos distratores:

Ao invés de distrator este item apresenta uma repulsa para a alternativa e os candidatos acabam escolhendo quase que ao acaso uma das outras alternativas erradas, o que é evidenciado pela frequência destas alternativas.

O candidato pode pensar que “milhares de vezes maior” é um número não possível para resistência interna de um gerador, o que pode afastar o candidato que resolve por intuição.

Comentário:

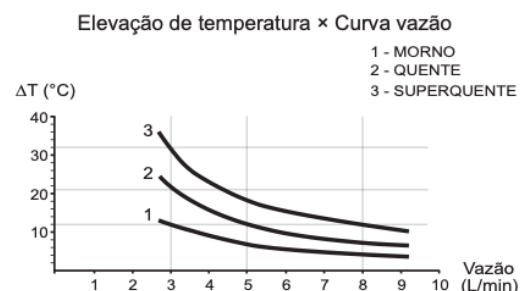
Trata-se de um item algorítmico (MARCOM, 2019) com contexto cotidiano e técnico já que aborda a instalação e as especificações técnicas das cercas elétricas de segurança. Para a resolução além do conhecimento da 1ª lei de Ohm, o candidato deve saber calcular a resistência interna de um gerador e realizar múltiplos passos até a chegar na solução para o problema.

Nakamura (2020) aponta que o item aborda um conteúdo não adequado ao currículo escolar e que as escolhas erradas estão associadas a busca por soluções intuitivas que fogem da manipulação algébrica. Segundo a autora os candidatos fazem divisões por inteiros ou buscam valores em evidência no texto-base para responder o item. Por fim a autora ressalta que em itens de circuitos elétricos, quando eles apresentam características semelhantes a este o desempenho do candidato é baixo. Outros itens com características semelhantes são: Q83-2013, Q59-2016 e Q111- 2017.

Q134 - 2017

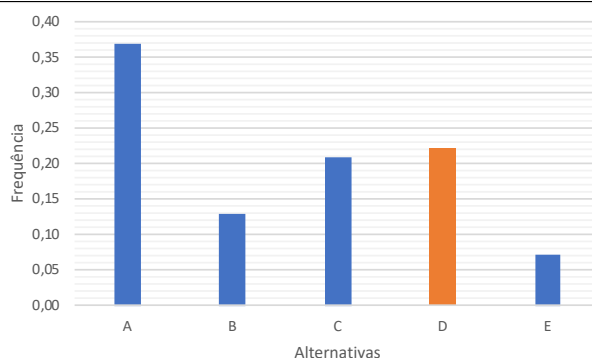
QUESTÃO 134

No manual fornecido pelo fabricante de uma ducha elétrica de 220 V é apresentado um gráfico com a variação da temperatura da água em função da vazão para três condições (morno, quente e superquente). Na condição superquente, a potência dissipada é de 6 500 W. Considere o calor específico da água igual a 4 200 J/(kg °C) e densidade da água igual a 1 kg/L.

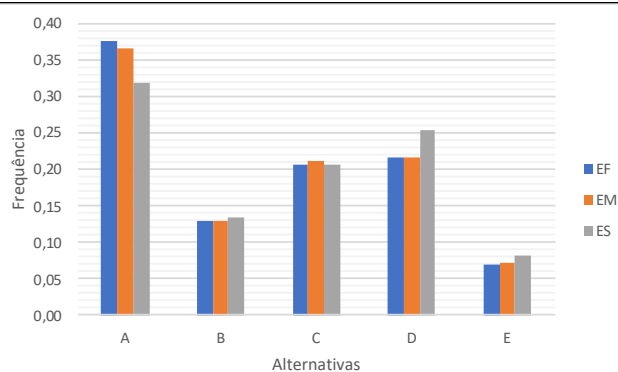


Com base nas informações dadas, a potência na condição morno corresponde a que fração da potência na condição superquente?

- A $\frac{1}{3}$
B $\frac{1}{5}$
C $\frac{3}{5}$
D $\frac{3}{8}$
E $\frac{5}{8}$



Concluintes do Ensino Médio



Grupos EF, EM e ES

Resolução:

O item aborda um contexto técnico de leitura de manual de uma ducha. É fornecido no texto-base a potência dissipada quando a ducha opera na função superquente e pede-se a fração desta potência que corresponde quando a ducha está na função morna, ou seja, o item quer a razão $\frac{P_m}{P_Q}$

Se toda a potência dissipada da ducha for convertida em calor, temos que $P = \frac{Q}{\Delta t}$ e que o calor sensível é dado por $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$.

Considerando a mesma vazão, temos que

$$\frac{P_m}{P_Q} = \frac{m_m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta_m}{m_Q \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta_Q}$$

Como a vazão e o calor específico da água são os mesmos nas duas situações, temos que:

$$\frac{P_m}{P_Q} = \frac{\Delta\theta_m}{\Delta\theta_Q}$$

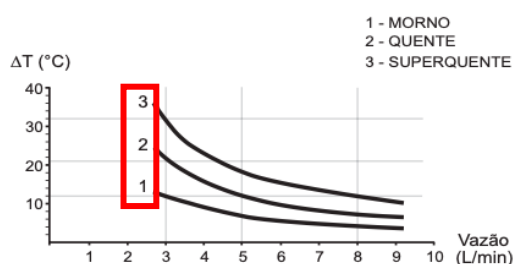
Substituindo para a vazão de 3L/min que é onde é possível ver a variação de temperatura com maior precisão no gráfico:

$$\frac{P_m}{P_q} = \frac{12}{32} = \frac{3}{8}$$

Análise dos distratores:

Alternativa A: Principal distrator de todos os grupos. Este valor surge se o candidato retirar do gráfico os números utilizados para identificar as curvas da ducha na função morna e quente, conforme indicado na Figura 66. Neste caso, se ele pegar o valor 1 referente a ducha morna e o valor 3 da ducha quente, a razão é de 1/3.

Figura 66: Gráfico da variação da temperatura da água em função da vazão de água para diferentes funções da ducha, com a região onde encontram-se os valores que podem ter atraído o candidato para a alternativa A.



Fonte: elaborado pelo autor.

Outra possibilidade é o candidato realizar a leitura errada do gráfico e fazer a leitura dos valores da variação da temperatura para as duchas morna e superquente respectivamente em 10 e 30. Neste caso, a razão seria de 10/30 ou 1/3.

Comentário:

O item tem uma abordagem técnica de instalação de duchas elétricas em que pede a razão entre as potências da ducha na função morna e superquente. Para a resolução formal do item é necessário conhecer a definição de potência, a fórmula de troca de calor e realizar a leitura correta de gráfico. Trata-se de um item do domínio algorítmico da taxonomia de Smith (MARCOM, 2019) que são necessários dois tipos de leitura: texto e gráfico.

Observa-se a busca por soluções intuitivas que fujam da manipulação algébrica, de acordo com o que é descrito por Clement (1994) além de erros comuns de leitura de gráfico descritos por Beichner (1994), como a confusão de variáveis ou não

leitura dos eixos do gráfico.

São fornecidas diversas informações no texto-base que não são necessárias para a resolução do item, o que pode ser considerado como carga cognitiva estranha (CHAGAS, 2019). Se o candidato buscar a solução a partir dos valores fornecidos no texto ele gastará muito mais tempo do que resolvendo como apresentado na resolução.