



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

OTAVIO DOS SANTOS GAIJUTIS

ANÁLISE DE MÉTODOS PRÁTICOS DE ENSINO DE
AUTOMAÇÃO PARA PROCESSOS INDUSTRIAIS:
EQUIPAMENTO FÍSICO E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

CAMPINAS

2018

OTAVIO DOS SANTOS GAJJUTIS

**“ANÁLISE DE MÉTODOS PRÁTICOS DE ENSINO DE
AUTOMAÇÃO PARA PROCESSOS INDUSTRIAIS:
EQUIPAMENTO FÍSICO E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL”**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia Química da
Universidade Estadual de Campinas como
parte dos requisitos exigidos para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador: PROF. DR. FLÁVIO VASCONCELOS DA SILVA

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DEFENDIDA PELO ALUNO OTAVIO DOS
SANTOS GAJJUTIS, ORIENTADO PELO
PROF. DR. FLÁVIO VASCONCELOS DA
SILVA.

CAMPINAS

2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

G124a Gaijutis, Otavio dos Santos, 1979-
Análise de métodos práticos de ensino de automação para processos industriais : equipamento físico e simulação computacional / Otavio dos Santos Gaijutis. – Campinas, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Flávio Vasconcelos da Silva.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Engenharia química - Ensino. 2. Sistemas químicos. 3. Laboratórios - Estudo e ensino. 4. Automação industrial - Simulação. I. Silva, Flávio Vasconcelos da, 1971-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Analysis of practical teaching methods for industrial processes automation : physical equipment and computer simulations

Palavras-chave em inglês:

Chemical engineering - Teaching

Chemical systems

Laboratories - Learning and teaching

Industrial automation - Simulation

Área de concentração: Engenharia Química

Titulação: Mestre em Engenharia Química

Banca examinadora:

Flávio Vasconcelos da Silva [Orientador]

Anderson Luiz de Souza

Ivan Carlos Franco

Data de defesa: 14-06-2018

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Química

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de mestrado defendida por Otavio dos Santos Gaijutis e aprovada em quatorze de junho de dois mil e dezoito pela banca examinadora constituída pelos doutores:

Prof. Dr. Flávio Vasconcelos da Silva, Presidente

Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas

Prof. Dr. Anderson Luiz de Souza

Faculdade de Tecnologia de Tatuí, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza

Prof. Dr. Ivan Carlos Franco

Faculdade de Engenharia Química, Centro Universitário FEI

A ata de defesa com as respectivas assinaturas dos membros da banca examinadora encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

DEDICATÓRIA

Esse trabalho é dedicado aos professores e às professoras que, por natureza dessa profissão, têm a inovação no ensino como uma das suas maiores solicitudes.

Cada dia de aula é um desafio que sempre requer métodos novos para se resolver.

Aqueles professores que procuram sair da rotina visando o bem de seus alunos serão sempre lembrados.

AGRADECIMENTOS

Em poucas palavras, eu agradeço:

À sabedoria Divina que nos concede vislumbrar alguns dos mistérios do universo por meio da matemática.

Às instituições de ensino que me melhoraram como profissional e como pessoa, ao compartilhar comigo conhecimentos e infraestrutura do mais alto nível: a Unicamp, e a Fatec Tatuí.

Aos meus professores que me guiaram até onde cheguei e que me indicaram até onde preciso ir: ao infinito! Em particular agradeço ao meu orientador nesse trabalho, o Prof. Dr. Flávio Vasconcelos da Silva, pela guia e elucidações.

Aos professores da banca de defesa da dissertação de mestrado, pelas excelentes melhorias e recomendações na pesquisa. Especiais agradecimentos ao Prof. Anderson Luiz de Souza pelas contribuições com as análises estatísticas, assim como às Prof.^{as} Paula Hipólito e Eoná Moro pelas revisões.

À minha família amada, que me ajudou em tudo: minhas crianças André, Gabriel e Ana Júlia, que tiveram paciência com minha introspecção; meus pais Otavio e Trindade, que sempre me deram o melhor exemplo além do incentivo; e minha adorada esposa, Donary, com quem vou além do infinito. . .

*“Educação não é o preencher de um balde,
mas sim o acender de um fogo”*

(W. B. Yeats)

RESUMO

Por mais antigos e bem assentados que sejam os conhecimentos que hoje são ensinados nas escolas de engenharia, não se pode ignorar a necessidade de inovação nessas áreas da educação. Não somente atender às necessidades mas também explorar as oportunidades pedagógicas. Em particular nas engenharias essas oportunidades são inúmeras, em função das tecnologias a serem aprendidas e que devem fazer parte indissociável do ensino. Sabe-se também da importância de aulas práticas em laboratórios didáticos para a assimilação dos conceitos e das aplicações envolvidas. Por isso esta presente pesquisa investiga resultados de inovações no ensino, em particular para a Engenharia de Automação e Controle de Processos Contínuos, típicos das Indústrias Químicas. Essa área das engenharias requer profundos conhecimentos em matemática, em físico-química e em computação, como todas nas demais engenharias. No entanto esse conhecimento sobre Controle deve ser agregado ao conhecimento específico de cada engenharia, tornando-se um desafio adicional para os estudantes e os professores e para a instituição. Apesar da crescente adoção de sistemas de controle automático nas mais diversas áreas, os conhecimentos necessários das boas práticas para a implantação e operação de controladores não cresce na mesma proporção. Todas áreas da engenharia requerem e adotam controladores diversos, mas não são todos engenheiros que adquirem conhecimento suficiente sobre a automação de seus sistemas. Essa falta de conhecimento chega a causar impactos negativos no desempenho e até na segurança de equipamentos e plantas industriais. A presente investigação avalia como que se consegue melhorar o aprendizado desse assunto, sistemas de controle, em estudantes de engenharias, para que tenham maior competência em lidar com a questão de Sintonia de Controladores. Realizou-se assim uma pesquisa Estudo de Caso a partir de dados oriundos de experiências didáticas, visando comparar o resultado educacional de dois diferentes métodos de ensino: o uso de equipamento físico ou da simulação computacional. O conhecimento inicial e final dos alunos foram medidos por questionários e esses dados foram analisados com métodos estatísticos de histogramas e quartis. Ainda que se saiba que a simulação é muito conveniente em termos de custo e de acesso e que simuladores chegam a ser indispensáveis no ensino contemporâneo de engenharias, foi possível demonstrar que o ensino junto aos equipamentos físicos tende a propiciar melhores resultados educacionais, nesse assunto particular de engenharia de controle contínuo.

Palavras-chave: Engenharia química – Ensino. Sistemas químicos. Laboratórios – Estudo e ensino. Automação industrial – Simulação

ABSTRACT

No matter how old or well established that are some areas of knowledge that are taught today at engineering schools, there could not be neglected the need for innovation in these education fields. Not only to satisfy the need of improvement but also to explore new pedagogic opportunities. Particularly at engineering courses there are many of these opportunities, just because that such taught technologies could be employed on the teaching itself. Furthermore it is well known the importance of practical laboratory classes to convey deeper assimilation of the related concepts and applications. In this context, this present research aimed to investigate the results of teaching innovation, particularly for the control & automation engineering for continuous industrial processes, as typical of chemical industries. As with other engineering fields, this one requires deep knowledge about mathematics, so as about physical-chemical phenomena, also computers tools. However, this knowledge about control systems has been aggregated to the teaching of general engineering fields, becoming an additional challenge for the students. Although the current adoption of automatic control at the more diverse systems today, the low performance of students at this topic is likely impacting the performance of real systems, causing poor results on its operation and maybe even causing major security problems at those kind of industries. So the present study evaluated how is it possible to increase students awareness on this topic, so they'll have better competences on dealing with the matter of Controllers Tuning. There was done a case study research on data from didactic experiences, for comparisons between the pedagogic results of two different practical teaching methods approach: physical equipment or computer simulations. Data obtained from questionnaires was processed by means of histograms and quartiles. Although it is currently known that computer simulations have several benefits, in terms of costs and accessibility, and that simulations are imperative at today industrial engineering, it was possible to show that the teaching along physical equipment tends to cause better learning results, particularly in this field of continuous control engineering.

Keywords: Chemical engineering – Teaching. Chemical systems. Laboratories – Learning and teaching. Industrial automation – Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mini-estação Festo MPS-PA, com um PC para registro e controle.....	43
Figura 2: Exemplo de aquisição de dados dos sensores da MPS-PA.....	43
Figura 3: Tela do Proteus para simulação e resposta de planta não-linear com e sem controlador P-I-D.....	44
Figura 4: Instrumentos virtuais do Proteus: (a) Gerador de funções, e (b) Respostas em osciloscópio de quatro canais.	45
Figura 4: Comparativo dentre os histogramas do estado inicial e estado final de todos alunos	50
Figura 5: Comparativo dentre os histogramas do estado inicial e estado final dos alunos que passaram por aula prática em planta física	52
Figura 6: Comparativo dentre os histogramas do estado inicial e estado final dos alunos que passaram por aula prática em planta simulada	54
Figura 7: Exibição comparativa entre o estado inicial e os estados finais conforme o método de ensino prático.....	58
Figura B.1: Exemplo de função de transferência, $F(s)$, de um sistema físico: amortecedor mecânico.....	III
Figura B.2: Exemplo de Process Flow Diagram de uma planta industrial de síntese de amônia, para determinação de sua $F(s)$	IV
Figura B.3: Sistema em blocos correspondente ao sistema da Figura B.2.....	IV
Figura B.4: Respostas típicas de um controlador PID de topologia $(P/I) \cdot (1+D)$	IV
Figura B.5: Resposta do sistema MPS-PA em exercício de sintonia PID.....	V
Figura B.6: Apresentação frontal do conjunto Festo MPS-PA	VI
Figura B.7: Interface de usuário do <i>software</i> Proteus, um poderoso simulador de sistemas dinâmicos e interativo.....	VII
Figura B.8: Exemplo de planta industrial, forno de fundição por indução, modelável por uma indutância elétrica.....	VII

Figura B.9: Implementação da malha fechada de controle de temperatura na planta da Figura B.8 VIII

Figura B.10: Respostas da planta ao *setpoint* após sintonia fina do controle P-I implementado VIII

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição de frequências por intervalo de acerto de questões, de todos alunos, em seu estado inicial no começo de cada semestre	49
Tabela 2: Distribuição de frequências por intervalo de acerto de questões, de todos alunos, em seu estado final no término de cada semestre.....	50
Tabela 3: Distribuição de frequências por intervalo de acerto de questões, dos alunos que passaram por planta física, em seu estado inicial no começo de cada semestre.....	51
Tabela 4: Distribuição de frequências por intervalo de acerto de questões, dos alunos que passaram por planta física, em seu estado final no término de cada semestre	52
Tabela 5: Distribuição de frequências por intervalo de acerto de questões, dos alunos que passaram por planta simulada, em seu estado inicial no começo de cada semestre.....	53
Tabela 6: Distribuição de frequências por intervalo de acerto de questões, dos alunos que passaram por planta simulada, em seu estado final no término de cada semestre	54
Tabela 7: Separação das amostras por quartis em relação ao seu estado inicial e estado final do conhecimento de todos alunos (geral)	56
Tabela 8: Separação das amostras por quartis em relação ao seu estado inicial e estado final do conhecimento dos alunos que passaram pelo método planta física.....	56
Tabela 9: Separação das amostras por quartis em relação ao seu estado inicial e estado final do conhecimento dos alunos que passaram pelo método planta simulada	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO: PROBLEMAS NO ENSINO DE SISTEMAS DE CONTROLE PARA ENGENHARIA	15
1.1 OBJETIVO GERAL	18
1.2 PROBLEMATIZAÇÃO	18
1.3 HIPÓTESE	18
1.6 VISÃO GERAL	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO: QUESTÕES INDUSTRIAIS E ACADÊMICAS SOBRE ENSINO DE ENGENHARIA DE CONTROLE	20
2.1 A NECESSIDADE E OPORTUNIDADE DE INOVAÇÃO NO ENSINO DE ENGENHARIAS	20
2.2 A IMPORTÂNCIA SOCIAL DA AUTOMAÇÃO E RESULTADOS DE SEU APRENDIZADO	25
2.3 DESAFIOS NA EDUCAÇÃO DO TEMA AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS	29
2.4 A IMPORTÂNCIA DAS AULAS PRÁTICAS NO ENSINO DE ENGENHARIAS	33
2.5 AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO NO ENSINO DE ENGENHARIAS	36
3 METODOLOGIA: PESQUISA EM EDUCAÇÃO	40
3.1 DEFINIÇÕES DA PESQUISA	40
3.2 ORIGEM E TIPO DOS DADOS	41
3.2 EXECUÇÃO EXPERIMENTAL	42
3.3 ANÁLISE DOS DADOS	45
4 REGISTROS: SÍNTESES E ANÁLISES	46
4.1 REGISTROS OBTIDOS	46
4.2 SÍNTESES DOS QUESTIONÁRIOS DE CONHECIMENTO	47
4.3 ANÁLISES POR DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA E HISTOGRAMAS	48
4.3.1 Resultados dos Dois Métodos Somados	48
4.3.2 Resultados do Método Planta Física	51

4.3.3 Resultados do Método Planta Simulada	53
4.4 ANÁLISES POR QUARTIS E <i>BOX-PLOT</i>	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS: DISCUSSÃO, RESPOSTAS E CONCLUSÃO	59
5.1 DISCUSSÃO SOBRE OS MÉTODOS PRÁTICOS	59
5.2 RESPOSTAS À HIPÓTESE E AO OBJETIVO	60
5.3 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS	I
APÊNDICE B – EXEMPOS DE MÉTODOS DE ENSINO	III
B.1 REVISÃO DE TEORIAS	III
B.2 MÉTODO PLANTA FÍSICA	V
B.3 MÉTODO PLANTA SIMULADA	VI

1 INTRODUÇÃO:

PROBLEMAS NO ENSINO DE SISTEMAS DE CONTROLE PARA ENGENHARIA[⊕]

Neste presente trabalho são discutidas questões-problemas na área educacional das engenharias relativas às dificuldades típicas enfrentadas por estudantes de graduação, tratando especificamente dos estudos teóricos e práticos de Engenharia de Controle e Automação, particularmente direcionadas para Processos Industriais típicos de indústrias químicas. Essas questões são avaliadas diante de um referencial teórico especializado, para embasar a pesquisa estudo de caso que foi desenvolvida a partir de dados obtidos em sala de aula e em laboratório didático. Os pontos de discussão a serem abordados em maiores detalhes são: 1. A importância da automação de processos industriais e os problemas recorrentes por conta de aprendizado deficiente; 2. As dificuldades típicas referente ao ensino de automação e suas causas prováveis; 3. A importância do laboratório didático no ensino de engenharias e de automação; e 4. As vantagens e as desvantagens do uso de simuladores computacionais no ensino e na prática industrial das engenharias.

Não há dúvidas da permanente necessidade por melhorias e inovação no ensino em praticamente todas as áreas da educação. Junta-se a essa necessidade novas oportunidades que as melhorias tecnológicas podem propiciar para implementar essas melhorias e inovações. No entanto, nas engenharias, isso acontece de modo mais intenso, devido não somente ao amplo conhecimento teórico necessário, mas também devido à indispensável atitude prática que os engenheiros devem ter. Por conta dessa necessidade prática, ao mesmo tempo que aliado aos avanços tecnológicos, o ensino em engenharias pode desfrutar de ampla variedade de métodos teóricos e práticos.

Contudo essa necessidade de aulas práticas pode levar a um certo conflito quanto ao limite de orçamento, ou para laboratórios ou para *software*, nas Instituições de Ensino Superior. Como consequência dessas dificuldades institucionais ligadas a laboratórios, o ensino resultante pode acabar deficiente. Sabe-se que a escola realiza apenas parte da base necessária, cabendo ao egresso seu autodesenvolvimento. Entretanto se nessa base houverem

[⊕] Neste trabalho todas menções ao ensino de Engenheiros (bacharelado, média 5 anos) se aplicam igualmente ao ensino de Tecnólogos (tecnologias, média 3 anos), pois o emprego prático de ambos tipos de graduados podem ser muito parecidos ou até iguais.

gaps (vãos) profundos, será difícil ou improvável que o egresso consiga compensar as falhas de ensino a tempo de empregar os conhecimentos na prática.

Essa situação de aprendizado insuficiente para as aplicações práticas ocorre com frequência em diversas áreas das engenharias, e neste trabalho se analisa particularmente a área de automação e controle de plantas industriais. Essas plantas e equipamentos que requerem automação podem ser referentes a quaisquer das áreas de engenharia, tais como nos exemplos: indústrias da transformação (engenharia química), usinas geradoras de energia (engenharia elétrica), veículos e aeronaves (engenharia mecânica), prédios e cidades (engenharia civil), *clusters* e redes de informação (engenharia da computação e telecomunicação), etc.

Qualquer que seja a aplicação física, o controle automático de variáveis de processo é algo muito conveniente e muitas vezes até indispensável. Por isso a teoria (e a prática) de automação costuma fazer parte do currículo das mais diferentes escolas de engenharia – mas, claro, com menor ênfase do que num curso específico de Engenharia de Controle e Automação. Contudo embora as noções de controle contínuo devam ser assimiladas pelos engenheiros em geral, dada sua importância nas mais variadas engenharias, observa-se que isso nem sempre acontece de modo satisfatório, muito provavelmente por questões de ensino e aprendizagem.

Na verdade costuma-se observar alguma resistência dos estudantes em aprender mais de uma ciência além da qual estão inseridos. Pois, por exemplo, a teoria de Sistemas de Controle pode ser algo muito diferente da área em que estão se graduando como, por exemplo, Engenharia de Alimentos. Além disso essa teoria só poderá ser bem aprendida se for acompanhada de aulas práticas (FEISEL; ROSA, 2005). No entanto isso é algo que nem sempre é possível nas diversas escolas de engenharia.

Como consequência desse conhecimento insuficiente no controle de equipamentos físicos, essas diversas plantas industriais podem acabar operando em patamares insatisfatórios de performance, ou até mesmo em regimes inseguros. Um dos motivos dessa baixa performance é uma tendência observada (CAMPOS; TEIXEIRA, 2010) nos engenheiros de campo, ao se empregar a técnica chamada “Sintonia Automática” (*auto-tuning*) para controladores do tipo Proporcional, Integrador, Derivador (PID). Esse elemento – o Controlador PID – é o mais utilizado na prática (OGATA, 2010), há mais de um século (BENNET, 1996), e costuma desempenhar muitíssimo bem seu papel. No entanto, apesar de moderna e conveniente, a sintonia automática nem sempre propicia resultados ótimos,

normalmente resultando performances não muito boas se comparada a casos de sintonia manual.

De fato a Sintonia Manual pode ser muito trabalhosa de se fazer, além de ser necessários conhecimentos em áreas diversas, como a físico-química, a matemática e a computação. Já a Sintonia Automática pode funcionar bem em termos de segurança pois procura operar em regimes conservadores. No entanto, em termos de produtividade, o resultado da sintonia automática pode ser insatisfatório. Como possível consequência de uma planta industrial operar em baixos níveis de produtividade e/ou eficiência, pode haver impacto nos custos de produção assim impactando os preços de produtos/serviços, além de implicar em reduzido proveito do capital industrial imobilizado.

É claro que o *auto-tuning* é uma tecnologia muito útil e que em muitas situações ele é perfeitamente adequado. Suas vantagens estão na economia de tempo de instalação de um novo equipamento, no menor custo com mão-de-obra e manutenção, além de propiciar operação em regimes menos agressivos e mais seguros para o equipamento.

Contudo sempre haverá equipamentos muito complexos que exigirão um engenheiro especializado em controle industrial, com habilidades em Sintonia Fina (*fine tuning*) seja de Controlador PID convencional ou de soluções mais avançadas do tipo Inteligência Artificial. Ainda assim são muitos os casos em que bastaria um pouco mais de competência e paciência do engenheiro responsável para se melhorar a performance desses sistemas industriais – às vezes até em mais de uma ordem de grandeza.

Uma das formas de se realizar o ensino de engenharia em automação é por meio de simulações computacionais, com vantagens diretas em termos de custo e acessibilidade. Contudo essa abordagem também enfrenta algumas desvantagens pedagógicas conforme serão apresentadas no referencial teórico (Seção 2).

Portanto nesta pesquisa procurou-se apresentar o estado da arte do ensino de engenharia de controle na atualidade (2018) com seu contexto histórico, a fim de encontrar causas desse problema recorrente: o baixo proveito no aprendizado de sistemas de controle. Para isso foram avaliados artigos de revistas e de congressos, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Também foram feitos estudos estatísticos em dados obtidos durante aulas teóricas e práticas desse assunto. Como resultado apontam-se possíveis melhorias nessa área educacional tão plena de oportunidades mas ainda carente de melhores resultados.

1.1 OBJETIVO GERAL

Apresenta-se como objetivo geral desta pesquisa o desenvolvimento de instrumentos e métodos analíticos, que permitam obter inferências relativas ao resultado de métodos de ensino de conteúdos práticos da engenharia de controle de processos contínuos.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

Em função da importância do assunto e dos pontos de discussão mencionados levantou-se a seguinte questão, como colocação do problema nessa pesquisa:

“Como identificar qual método didático de aula prática em laboratório, dentre equipamento físico (com tempo limitado ao de aula) ou simulação computacional (com tempo versátil), que favoreça melhorias no resultado da aprendizagem para os estudantes de sistemas de controle industrial?”

À essa questão buscou-se solucionar na Seção 5 com a resposta da hipótese definida na Seção 1.3, após a síntese e análise dos registros disponíveis na Seção 4 deste presente trabalho.

1.3 HIPÓTESE

De modo objetivo, espera-se que a pergunta da problematização da Seção 1.2 possa ser respondida pela hipótese a seguir:

“A análise dos dados numéricos de um instrumento (Questionário de Conhecimentos) por meio de ferramenta estatístico (Quartis e de Histogramas) permitirá inferir qual método de ensino prático (Laboratório Físico ou Virtual) propiciou melhor resultado no aprendizado de estudantes do assunto (Sistemas de Controle Industrial).”

1.6 VISÃO GERAL

Esta presente dissertação de mestrado está organizada da seguinte forma: Na Seção 1 se apresentam o objetivo visado, o problema em questão, e a hipótese postulada. Por meio do referencial teórico da Seção 2 se embasam essas questões levantadas. O caminho para elucidar essas questões é apresentado pela metodologia na Seção 3. Apresenta-se na Seção 4 os dados obtidos, sintetizados e analisados. Ao final, na Seção 5, se faz a discussão das características e tendências observadas. Inclui-se como Apêndice A o questionário-instrumento usado na pesquisa, enquanto o Apêndice B exhibe exemplos da experimentação realizada em sala de aula e laboratório.

2 REFERENCIAL TEÓRICO:

QUESTÕES INDUSTRIAIS E ACADÊMICAS SOBRE ENSINO DE ENGENHARIA DE CONTROLE

O objetivo deste referencial teórico é embasar os cinco motivos enumerados a seguir, que levaram o pesquisador a empenhar-se na pesquisa delineada como estudo de caso. Avaliam-se aqui os seguintes pontos de discussão: 1) As oportunidades de inovação educacional nas engenharias; 2) a importância social do assunto “automação” e 3) as dificuldades matemáticas associadas. Apresenta-se também 4) a influência de aulas práticas no aprendizado e 5) as alternativas apresentadas pelos simuladores computacionais.

2.1 A NECESSIDADE E OPORTUNIDADE DE INOVAÇÃO NO ENSINO DE ENGENHARIAS

Apesar do desenvolvimento científico e tecnológico que vemos hoje na sociedade, e da ampla adoção dessas tecnologias e ciências pelas engenharias, ainda são muitos os conceitos-chave derivados das matemáticas e da físico-química que são ensinados hoje do mesmo modo como desde há décadas – ou até séculos. Claro que isso se deve ao fato de que esses conceitos-chave são descrições de fenômenos naturais que não mudaram ao longo do tempo, pois são, simplesmente, leis do universo.

Mesmo quando se trata de áreas de vanguarda nas engenharias, grande parte do que se ensina e aprende são desses conceitos que remontam a muitíssimos anos desde sua enunciação. Isso se aplica a todas áreas das engenharias: na mecânica, as leis de Newton; na elétrica, as leis de Ohm; na química, a transferência de massa e energia pelas leis de Fick e Fourier – todas do Século XIX (BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2010).

Apesar de sua longa data e presente utilização esse conhecimento clássico nem sempre é prontamente aprendido pelos estudantes aos quais são apresentados. Não somente porque requer conhecimentos matemáticos avançados mas porque parte da dificuldade de aprendizado se deve ao modo tradicional como os assuntos são ensinados. Esses assuntos

clássicos costumam ser tratados da mesma forma desde sua inepção. Embora tenha funcionado até o presente, não significa que tais métodos realmente sejam a melhor forma de abordar assuntos difíceis.

Um dos papéis fundamentais de todo professor é o de procurar novas formas de ensinar seus assuntos (MERCURI; PEREIRA; BAGNATO, 2010). A isso podemos chamar de constante Inovação na Educação, e jamais se esgotarão as oportunidades de melhorias nessa grande área humana de conhecimentos. Essas melhorias já acontecem naturalmente pois os professores realizam suas otimizações heurísticas de tempo e esforço para conseguirem cumprir suas diversas tarefas. Pois sabe-se que a rotina de professores vai muito além do lecionar em aula e do autoestudo para ensinar, também da preparação e correção de trabalhos, mas também inclui a revisão cíclica e melhoria contínua de seus métodos. Essas melhorias, por si, já são uma forma de inovação.

Essa melhoria continuada – ou inovações – no ensino não dependem somente da habilidade e experiência dos professores. Existem roteiros pré-definidos tais como os Modelos Mentais de Ensino, também chamados de Aprendizagem por Modelos Mentais, segundo apresentado por Seel (2017). Esses métodos podem facilitar a melhoria contínua dos métodos de ensino. Ainda Seel (*op. cit.*) destaca que quando se empregam estratégias e táticas inovadoras no ensino, nem sempre se tem sucesso; mas, quando há sucesso, o resultado pode chegar a ser revolucionário.

O impacto disso vai além de uma simples melhoria nas notas do aluno. Ao aprender mais profundamente as leis naturais descritas pela matemática-físico-química, o futuro engenheiro poderá, por sua vez, ser o agente de inovação em processos e produtos para a sociedade. Essas inovações podem ter grandes e positivos impactos nas esferas sócio-econômico-ambientais. Ou seja, parte das melhorias existenciais na sociedade realmente começam na sala de aula, com inovações de ensino que visam melhorar o aprendizado.

Essas questões abordadas nesta seção são válidas para todas as áreas das engenharias. Entretanto, neste presente estudo, trataremos especificamente da Engenharia de Controle. Essa engenharia abrange duas sub-áreas relativamente diferentes: o controle de variáveis contínuas[⊕] e o controle de variáveis discretas[⊕], mas frequentemente visando o mesmo resultado: criar a interface homem máquina, e/ou tornar a máquina autônoma.

[⊕] Neste trabalho tratamos as palavras “automação”, “sistemas de controle”, “controle contínuo”, ou somente “controle”, como sendo sinônimas entre si, mas ao mesmo tempo diferentes de “controle discreto”.

O controle de variáveis contínuas, como temperatura, pressão, nível, etc., é muito comum em indústria da transformação. Já o controle de variáveis discretas cuida de processos com variáveis lógicas, como sim/não, zero/um, presente/ausente etc., sendo muito comuns em indústrias do tipo montadoras e manufaturas. Entretanto é perfeitamente possível que ambos tipos de controle se apliquem simultaneamente em um ou outro processo dentro de ambos tipos de indústrias.

Cada uma dessas sub-áreas têm seus desafios pedagógicos intrínsecos. Os controles discretos requerem elevada capacidade lógica e de programação; e o controle contínuo requer profunda matemática e abstração. Entretanto, como veremos neste presente trabalho, o controle contínuo apresenta desafios particulares (RANADE; SALAZAR; RODRIGUES, 2012), que serão apresentados ainda nesta Seção 2.

A maior parte do que se ensina hoje quanto à automação vêm de compreensões obtidas há muitas décadas. As primeiras pesquisas publicadas sobre a matemática de controle surgiram em meados da 2ª Guerra Mundial. Por meio de conhecimentos de pesquisadores de áreas distintas – H. Nyquist com a eletrônica e H. W. Bode nas telecomunicações – foram desenvolvidos controladores rápidos para a indústria bélica (BODE, 1960). Esses métodos matemáticos de Nyquist e Bode, dentre outros da mesma época, ainda são partes fundamentais da engenharia de automação na atualidade.

Esse conhecimento de controle-automatização é de grande importância e impacto sócio-econômico há mais tempo do que a associação de Bode e Nyquist. Na engenharia química, nas indústrias de transformação, empregam-se sistemas de controle desde o início do Século XX. Porém eram de tipo não eletrônicos, pois esses eletrônicos não eram economicamente competitivos[Ⓢ]. Os primeiros modelos de controladores contínuos para indústria empregavam portadoras pneumáticas para transmitir sinais de instrumentação (sensores, controladores e atuadores). Bennet (1996) relata que passou a haver crescimento exponencial na venda de instrumentos pneumáticos de medição e controle em meados de 1920.

Apesar da adoção precoce desses controladores e instrumentos, o domínio matemático surgiu somente depois. Essas primeiras implementações eram realizadas sem conhecimento suficiente sobre as dinâmicas dos fenômenos físico-químicos e dos diversos tipos de atuadores do processo (válvulas, motores, aquecedores etc.). Como resultado havia menor proveito da tecnologia, havendo assim baixa eficiência produtiva e energética.

[Ⓢ] Nessa época ainda não haviam transistores para construir controladores. As válvulas termiônicas a vácuo seriam tecnicamente viáveis mas de custo proibitivo para uso em larga escala.

A falta de conhecimento aprofundado também foi causa de acidentes imprevistos por conta de instabilidades de causa desconhecida na época – e que infelizmente acontecem ainda hoje. Uma dessas causas de acidentes, que passou a ser conhecida somente mais tarde, se chama ‘efeito *wind-up* da ação integradora’. Segundo Hodel e Hall (2001) esse efeito que acontece com o controlador PID pode forçar um sistema a seus limites físicos, possivelmente de forma destrutiva. Esse problema pode ser evitado com certas análises matemáticas e ajustes de parâmetros operacionais do sistema.

Considera-se que de 1955 em diante passou a ser a Era do Controle Moderno (BENNET, 1996). Doravante o método científico e as ferramentas matemáticas passaram a ser adotadas de modo sistemático, para o que se chama de Sintonia de Controladores em Malha Fechada. Por isso grande parte da teoria e prática de automação usadas hoje em dia são as mesmas da década de 50.

Além disso, ainda na década de 70, surgiram conceitos e modelos fundamentais de formas bem sucedidas de Inteligência Artificial (I.A.), tais como a Lógica Nebulosa (MANDANI; ASSILIAN, 1975) e as Redes Neurais Artificiais treinadas via *backpropagation* (WERBOS, 1974). Essas tecnologias de I.A. passaram a fazer parte das soluções de sistemas de controle. Agregam-se outras técnicas de advento mais recente, como a de Estados de Espaço de Ogata (2010) lançada na década de 90.

Essas diversas técnicas de automação são hoje empregadas em campos muito diferentes entre si. Por exemplo na atual década 2010-2019 observa-se a explosão das aplicações de I.A. nas mais diversas áreas além da industrial. Pode-se encontrar soluções de automação para a agropecuária, para cuidar de plantio e de gado; também na automação predial e de cidades, possibilitando a otimização de recursos como as utilidades água, eletricidade e gás; também nos veículos terrestres e aéreos autopilotados. Indo ainda além, pode-se empregar automação até para fins de controle em processos biológicos vivos – incluindo seres humanos (BROWN, 1999).

Praticamente todas essas aplicações de automação tão diferentes entre si têm em comum a matemática de Sistemas Lineares Invariantes no Tempo (SLIT). Conforme será abordado adiante nesse trabalho, essa forma matemática é um dos desafios para o qual se procura inovação em como ensiná-la de modo satisfatório para uso prático. Embora seja uma área relativamente antiga da matemática, as dificuldades de aprendizado continuam iguais ou até maiores que em outras décadas, conforme relatam Ranade, Salazar e Rodriguez (2012).

Por isso tudo que se nota a importância da melhoria nas práticas pedagógicas relativas a conceitos-chave, por mais antigos que sejam e de quais áreas forem. A inovação é uma

necessidade e oportunidade para todas atividades humanas; e por isso a inovação no ensino também é desejável e até imprescindível. A inovação no ensino não acontece somente a nível institucional, na alta hierarquia das reitorias e diretorias. Na verdade, conforme dizem Pereira, Mercuri e Bagnato (2010, p. 202), "a alteração provocada pela inovação abrange aspectos curriculares no seu todo ou em suas partes", podendo ser, entre outras, inovações das "estratégias de aula, métodos de aula, formas de abordagem do conteúdo, novas relações com o conhecimento". É fácil perceber como isso está mais ao nível do professor do que dos cargos administrativos. Esses autores mencionam, ainda, que dificilmente se consegue observar nas Instituições de Ensino nem preocupação com planejamento sistemático nem com processos de melhoria contínua do ensino.

Essas inovações pedagógicas não são apenas desejáveis mas simplesmente necessárias para certos assuntos avançados e práticos, como esse da automação. Essa área emprega conhecimentos matemáticos-físico-químicos de longa data, referente aos fenômenos a serem controlados. Inclui-se a matemática complexa dos SLITs (por exemplo, pólos e nulos) mas que agora são resolvidas por tecnologias recentes como computação-simulação-realidade virtual. Por isso, para que tais assuntos sejam melhor aproveitados pelos estudantes, há que se ter inovação no método de ensino da parte antiga (as matemáticas), bem como inovação no método de ensino da parte moderna (a tecnologia). Essas duas frentes didáticas devem ficar bem conjugadas.

Conforme veremos nas próximas seções, o assunto “automação” impõe diversos desafios de ordem acadêmica e prática. Por isso a pesquisa científica na área de “ensino de automação” é bastante rica, havendo muitos trabalhos publicados analisando aspectos teóricos e práticos. Esse ensino é tratado de modo reflexivo por pesquisadores como Araújo e Costa Filho (2017), e de modo prático por pesquisadores como Martínez *et al.* (2014) e Zhang *et al.* (2013). Esta presente pesquisa segue essa linha educacional, ao investigar como se poderia apresentar esse assunto prático de modo mais proveitoso, visando melhorar as competências humanas daquelas pessoas que vão lidar com sistemas automatizados essenciais, no presente e no futuro.

2.2 A IMPORTÂNCIA SOCIAL DA AUTOMAÇÃO E RESULTADOS DE SEU

APRENDIZADO

A grande área de Automação e Controle possui longa história de desenvolvimento e adoção pelas mais diferentes áreas de sociedade, tais como nas esferas industrial, militar, transportes, predial etc. Na verdade os mecanismos automáticos são conhecidos desde a época da Grécia Antiga (270 A.C.) na forma de relógios a água do engenheiro Ctesíbio. Ainda no Século XV foram inventados mecanismos de controle de temperatura para chocadeira de ovos, por Drebbel. (BENNET, 1996)

Especificamente a área chamada Automação de Processos Contínuos surgiu há mais de um século, quando sistemas hidro-pneumáticos em malha fechada (sensor → controlador → atuador → sensor) eram usados na operação de grandes embarcações. Um sistema de controle de direção de navios foi patenteado em 1866 por J. MacFarlane Gray nos EUA. Na mesma década Jean Joseph Farcot lançava na França os precursores “*servo-moteurs*”, hoje indispensáveis nas aplicações de automóveis, aeronaves, *robots* etc. (BENNET, 1996)

As dificuldades de aprendizado da teoria e prática de automação existem desde o começo, por mais que as primeiras aplicações não fossem tão complexas com as de hoje. Sabe-se que na verdade esse conhecimento de Sintonia de Automação era considerado segredo estratégico (ÅSTRÖM, 2002). Foi então que os pesquisadores J. G. Ziegler e N. B. Nichols (1942) resolveram publicar um método empírico de sintonia de malhas de automação para controladores PID. Esse dispositivo (e seu algoritmo) chamado Controlador PID (proporcional-integrador-derivativo) é o tipo mais usado na prática, desde aquela época até ainda hoje, sendo a solução de controle mais importante no meio industrial. Relata Franchi (2014) que o PID chega a atender 97% dos casos das mais diversas plantas industriais de processo contínuo automatizado.

Antes dessa “revelação” de Ziegler e Nichols a enorme maioria das plantas industriais operavam em péssimos patamares de performance. Afinal esse conhecimento era escondido dos operadores das plantas por parte dos consultores-especialistas que prestavam esse serviço de sintonia. Esses especialistas eram raros e caros. Assim, a atitude de Ziegler e Nichols contribuiu para que os próprios operadores das plantas pudessem tentar a realização de melhorias para os casos mais comuns do cotidiano.

Contudo ainda hoje a situação é muito parecida com a anterior a 1942. Segundo Campos e Teixeira (2010) tem-se entre 80% a 90% das mais variadas plantas industriais operando no chamado modo de Sintonia Automática. Sintonia é o nome que se dá ao processo de ajustar ou otimizar o controlador ao equipamento que será controlada. Como já mencionado na Introdução, a autosintonia costuma ser muito útil ao propiciar expressiva economia de tempo de instalação e manutenção de sistemas. Entretanto sua performance nem sempre é satisfatória, pois esse modo automático costuma propiciar um regime de operação mais seguro e suave, o que não é compatível com alta performance.

Existem empresas de consultoria que realizam trabalhos muito importantes nessa área de otimização, pois as vezes os engenheiros de processo não tem tempo – ou conhecimento – para realizar. Essas consultorias são bem vindas e estão a par de tecnologias e melhorias que surgem no ramo. No entanto são muitos os casos que basta um pouco (mais) de teoria e prática para se conseguir ajustar bem um controlador. Como exemplos menos complicados mas que nem sempre estão bem ajustados: a temperatura de uma sauna, o pH de uma piscina, a vazão de gás para aquecedor etc.

Os típicos controladores PID modelo comercial costumam oferecer o modo de *auto-tuning*, e aproveitar esse recurso é uma boa coisa. Neste presente estudo não se questiona a validade dessa tecnologia de auto-sintonia, podendo-se até afirmar que sem dúvidas é uma tecnologia muito bem vinda. Este presente estudo visa demonstrar que as deficiências de aprendizado no assunto sistemas de controle tendem a induzir o uso do *auto-tuning*, enquanto que poderia ser mais interessante melhorar os parâmetros P-I-D de modo manual e raciocinado. Desta forma, o *auto-tuning* é sim importante e útil, mas a otimização inteligente pode ser melhor.

A sintonia manual bem feita pode melhorar drasticamente a resposta de um sistema de controle. A partir de dados do trabalho de Deshmukh e Vaishnav (2009), sobre o aspecto chamado *Phase Margin* (PM), pode-se calcular melhorias de até 90,8 % em função de uma boa sintonia manual do controlador PID. O impacto disso é melhor produtividade industrial. Nesse caso consegue-se maior proveito do capital imobilizado nos equipamentos. Como existe a depreciação de patrimônio, que é algo nunca cessa, essas melhorias de performance são muito interessantes para os empresários em geral.

Por outro lado nem sempre o resultado é melhoria. Relatam Deshmukh e Vaishnav (2009) que a sintonia inadequada pode causar piora em até 12,8 %. Nesse caso de sintonia manual ruim, considerando a resposta do sistema pior do que em sintonia automática, além de haver redução da produtividade pode haver também baixa eficiência energética. São dois

prejuízos a se somarem ao da depreciação. Sem contar riscos de danos e acidente em casos de sintonias muito críticas e agressivas, que podem acontecer quando não se tem noção exata dos perigos existentes.

Existem alternativas ao *auto-tuning* que podem render resultados até melhores que a sintonia manual. Dentre essas consta o trabalho de Chopra, Singla e Dewan (2014) que usaram soluções de Inteligência Artificial (FIS, ANN, ANFIS, GA), para obter parâmetros ótimos de sintonia de Controladores PID.

Ainda assim a sintonia manual é um assunto muito específico. Os professores e instrutores dessa área costumam ser engenheiros com vivência profissional. Ora, sabe-se que na graduação de engenharia costuma ser nulo o ensino de pedagogia aos discentes, ainda que sejam comum que engenheiros que se dediquem à docência. Assim, tais engenheiros-professores focam na parte prática, em detrimento de primeiramente melhorar a base matemática-científica dos alunos (MOLISANI, 2017). Isso se aplica não somente ao ensino de automação mas para a maioria dos outros assuntos profissionalizantes.

Pelo exposto até aqui pode-se notar a importância – e as dificuldades – de se adquirir conhecimentos satisfatórios nesse grande assunto, Automação e Controle. O resultado de sistemas industriais operando em baixa performance vai além da perda de oportunidade de melhorar produtividade. Se a prática de sintonia ótima de PID fosse adotada pela maioria das empresas, haveria positivo impacto social bem como ambiental. Pois um melhor rendimento das plantas industriais resulta em menor consumo aliado a mais baixos custos operacionais. Esse menor custo poderia chegar aos consumidores finais, favorecendo inclusão social. Ao mesmo tempo esses menores custos podem acirrar a competitividade entre empresas, incentivando maiores investimentos em Pesquisa & Desenvolvimento. Dessa forma uma consequência final da sintonia inteligente dos multi-bilhões de PIDs em operação mundial (SOLTESZ, 2017) seria um maior desenvolvimento econômico para as nações.

Assim, uma esperança de solução para que haja correto aprendizado de automação é na área das inovações didáticas-pedagógicas no ensino dessa área de engenharia. Pesquisadores já mostraram o quanto que é possível haver inovação nessa área educacional, com investimentos relativamente baixos. Pode-se desenvolver equipamentos próprios mas razoavelmente avançados (AIHARA, 2000), ou mesmo usar peças dos famosos conjuntos da Lego® (D'ABREU, 2002), para o ensino de automação e controle. Aqui mencionou-se a inovação na parte prática, no laboratório de ensino de controle.

De outro lado, tratando da inovação no ensino de matemática, existem boas e conhecidas opções. Com o uso do computador a matemática pode ser explorada de modos

muito interessantes, práticos, e até como entretenimento. Ferramentas *online* como o WolframAlpha® ou instaláveis como o WolframMathematica®, assim como a plataforma Matlab®, podem até mesmerizar o estudante com as inúmeras experiências dinâmicas e interativas de matemática. No entanto seus custos nem sempre são permissíveis, tanto para um indivíduo quanto mais para uma Instituição de Ensino com dezenas a centenas de computadores. Esse último caso somente funciona se for à base de parcerias entre as IEs e as *softwarehouse* produtoras de soluções matemáticas.

Nesse sentido há muito interesse e necessidade por soluções não comerciais no campo didático-pedagógico de sistemas de controle. No ensino da matemática destacam-se programas gratuitos como o GeoGebra[⊕] e o Scilab[⊕], dois poderosos processamentos matemáticos de linguagem de alto nível com ferramentas gráficas e interativas.

Para fins acadêmicos essas soluções cumprem excelente papel. Podem também ser usadas em inúmeras aplicações, desde administração de empresas, estatísticas e cálculo numérico, passando pela modelagem de sistemas físicos (SLITs), e claro, Sintonia de Controladores PID. Essa sintonia de controladores pode ser realizadas, tanto por meio do GeoGebra (BENKHELLAT & BENSOUSSAN, 2017), como por meio do Scilab (GREPINO & RODRIGUES, 2015). Não foram mencionados aqui os simuladores específicos de PID, que serão tratados na Seção 2.5.

Dessa forma podemos ver quanta margem há para inovação no ensino de sistemas de controle. Pois o foco excessivo somente na teoria matemática ou somente na parte prática jamais serão adequados ou suficientes. O desafio consiste em como realizar esse equilíbrio, quando ainda em nível acadêmico devido a três problemas básicos: 1) tempo limitado nas aulas; 2) conteúdo complicado e abrangente; e 3) recursos limitados de laboratórios didáticos.

Esses desafios aumentam quando, em pós-graduação, a turma de estudantes é formada por graduados de diferentes especialidades. Barbosa (2017) mostrou um trabalho realizado com turma de engenheiros diversos para ensino de automação. Sua abordagem por meio de *Project Based Learning* (PBL), aplicando problemas relacionados a cada área de engenharia, resultou em maior aderência dos estudantes. Ou seja, a solução foi inovação.

Por isso, na educação, as inovações possíveis estão ou no modo teórico de se apresentar conceitos matemáticos aplicados, ou no modo prático de se conduzir as experiências em laboratório. Espera-se que por meio dessas inovações seja possível melhor transmitir esse conhecimento de automação, além de esclarecer a importância do assunto,

[⊕] GeoGebra: <http://www.geogebra.org> ; Scilab: <http://www.scilab.org> .

visando interiorizar suficientemente os impactos desse conhecimento para as situações reais que os engenheiros enfrentam.

2.3 DESAFIOS NA EDUCAÇÃO DO TEMA AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Nessa seção serão melhor explicados alguns motivos do porque que se considera difícil o aprendizado de engenharia de automação. Obviamente todo novo assunto a ser aprendido por estudantes representa um desafio, e portanto dificuldades de aprendizagem costumam surgir. Contudo nessa área particular da engenharia de controle tem-se algumas questões adicionais conforme veremos.

Nessa área da automação e controle normalmente se requer conhecimentos profundos de física-química-mecânica-elétrica, o que nem sempre é o problema. Afinal esses projetos industriais envolvem equipes multidisciplinares, e dentro de cada especialidade os profissionais atendem bem suas especificidades. No entanto a matemática relacionada a sistemas de controle pode bem diferente da matemática referente a fenômenos físicos ou transformações químicas.

Normalmente a matemática fenomenológica emprega as formas de cálculo numérico-algébrico-diferencial, as quais são abordadas em suficiência nas engenharias. Por sua vez essa matemática específica de sistemas de controle, além de envolver as formas de cálculo mencionados, requer também: a matemática de números complexos; as malhas fechadas com *feedbacks* positivos ou negativos; as transformadas de domínios; e diversos métodos gráficos de visualização logarítmicas e/ou polidimensionais. Como se não bastasse, é também necessário conhecimentos de instrumentação (sensores, atuadores, controladores), telecomunicação de sinais e dados, e mais a computação para processar essa massa de informação.

Assim pode-se ver o quanto que a matemática associada à automação pode demandar grandes conhecimentos, competências e habilidades. Esse conhecimento não é fácil de ser transmitido e assimilado, pois requer noções preliminares. Ao chegar nessa etapa do ensino não é mais possível ficar revisando pontos tais como: números complexos, limites, derivadas e integrais, transformadas, gráficos de superfícies etc.

Outro complicador, segundo Ranade, Salazar & Rodrigues (2012), é a linguagem empregada nesse contexto de automação, que pode conflitar com a de outras áreas. Isso leva o nome de “*trick terminology*”, como, por exemplo, a palavra “fase”. Para um engenheiro químico, ‘fase’ significa estado físico; para engenheiro eletricista, ‘fase’ significa atraso entre sinais; para engenheiro mecânico e civil, ‘fase’ pode significar etapas de projetos; e para o engenheiro de controle, ‘fase’ significa diferença de resposta.

Uma grande dificuldade da maioria dos estudantes do assunto automação é a incompreensão do que são os modelos matemáticos de sistemas contínuos e lineares invariantes no tempo – os SLITs. Esses modelos reproduzem o comportamento de um sistema físico real por meio de matemática e computação. Não é por menos que haja dificuldade, pois antes há que se conhecer as Funções de Transferência, que são um desafio pedagógico.

Ainda antes de chegar em Funções de Transferência é necessário familiaridade com domínios matemáticos, tais como a Transformada de Laplace, uma técnica matemática considerada uma obra de engenharia (TONINDADEL & ARAUJO, 2012). Esses autores explicam que essa Transformada de Laplace “facilita a busca por uma melhor compreensão dos fenômenos da natureza.” (*op. cit.* p.2601-5).

Como breve exemplo pode-se modelar por meio dessas técnicas a resposta de um forno industrial, com suas perdas energéticas, mais a influência do ambiente, do material frio a ser processado, das aberturas de portas etc.

Esse assunto chamado Modelagem Matemática de Sistemas de Controle não é meramente teórico e pode ter objetivos práticos diversos. Pode-se usar essas técnicas para: estimativas de produtividade; ou para consumo de insumos e utilidades; ou para a mencionada Sintonia PID; ou para Otimização Matemática; e também para aplicações com Inteligência Artificial. Nota-se em todos esses diversos usos a matemática sempre presente e permeando todo o processo, seja essa matemática a do tipo financeira ou a dos algoritmos avançados.

Entretanto essa elevada exigência de matemática acaba impondo limitações. Uma das primeiras se deve à fatores sociais, especificamente ao cadente nível de matemática nos jovens desta década. A *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) mostrou no seu *Programme for International Students Assessment* (PISA) ano 2015, que a capacidade de leitura-matemática-ciências nos estudantes de até 15 anos apresentou declínio nos três anos anteriores, na média dos 72 países participantes – Brasil incluso. Esse relato da OECD (2016) apresenta o *ranking* do aspecto literatura-matemática-ciências desses países. Lamentavelmente nossa pátria consta na 68ª posição, dentre os 72 outros.

Parte desse perfil negativo é devido à falta de interesse pela matemática por parte dos estudantes. Esse desinteresse pode até causar um medo irracional de matemática, chegando a provocar aversão por qualquer tópico das matemáticas (ATTIE & MOURA, 2017). Esses autores mencionam o que se supõe ser uma “binariedade que historicamente se acredita existir, definindo apenas os polos opostos, saber tudo e não saber nada em matemática” (*op. cit.*, p.2).

Um dos modos de combater esse desinteresse, ou medo ou aversão, é por meio de matemática prática demonstrada. Meneghetti (2011) mostra promissores resultados para o ensino de matemática por meio da Experimentoteca de Matemática com vários exemplos de uso prático e cotidiano, favorecendo o interesse e a aderência dos estudantes pelo assunto. Vê-se aqui novamente a inovação no ensino propiciando a superação de barreiras.

Os fatores do não saber matemática vão além da questão social, estando possivelmente enraizada no nível cognitivo. Como a matemática é uma ciência que não depende dos órgãos sensoriais, a sua percepção é subjetiva por mais que suas operações e resultados sejam exatos. Por isso algumas dificuldades do aprendizado de matemática não são encontradas em outras disciplinas (DUVAL, 2012).

Genericamente, essas dificuldades são rotuladas de Distúrbios de Aprendizagem. Esse é um campo fértil para pesquisa científica conforme mostra Bueno (2013). No período de 1987 a 1997 foram apenas 13 teses e dissertações defendidas no Brasil sobre esses distúrbios de aprendizado; ao passo que no período de 1997 a 2007 houveram 160 pesquisas nesse tema. Evidentemente esses distúrbios de aprendizagem refletirão na capacidade matemática dos jovens que ingressarão futuramente nas engenharias.

Outro fator causador de dificuldades ao aprendizado de sistemas de controle são os conhecimentos computacionais necessários. É simplesmente inviável analisar sistemas reais ‘à mão’. O volume de dados e informações produzido pode ser muito alto. Por isso há que se ter competências em software específico, da linha do Scilab ou Matlab (GUZMÁN *et al.*, 2016).

Como o tempo das aulas de graduação pode não ser suficiente para aprender essas soluções específicas, uma forma é o estudante ingressar em programas de iniciação científica conforme mostrado por Assunção (2017) usando o software Scilab para automação. Ainda que a linguagem de programação seja de alto nível ou até mesmo visual na forma de blocos, sempre será necessário uma boa noção de lógica de decisão, fluxogramas, tratamento de dados etc. Na Seção 2.5 essa questão do *software* será tratada com detalhes.

Um terceiro aspecto que se soma às dificuldades do aprendizado de automação são os laboratórios das Instituições de Ensino Superior (IES) – ou a falta deles. Sem dúvida o maior limitador é o orçamento das IESs para a aquisição de equipamento e sua posterior manutenção. Tais equipamentos de automação – em quantidade de laboratório didático – podem alcançar cifras milionárias facilmente.

Conforme apresenta Howard (2013) de fato existe grande resistência dos professores em integrar novos recursos tecnológicos às suas atividades pedagógicas. Consoante dizem Demetriadis *et al.* que essa resistência existe apesar de que estes professores usem normalmente os recursos de TI para suas tarefas administrativas (controle de presença, lançamento de notas etc.). Esses autores mostram que às vezes esses professores só adotam novas práticas se forem tutorados praticamente até o final do processo, de modo similar aos estudantes quando não conseguem aprender sozinhos.

Por outro lado, mesmo quando não se tem esses entraves, ou seja, se há bons laboratórios e se os professores os utilizam, ainda existem as restrições de tempo. Como o assunto de controle industrial é amplo e rico de possíveis experiências práticas, um problema enfrentado é quanto ao tempo disponível. As turmas de estudantes ou não podem (ou não querem) passar mais tempo em laboratório do que o previsto para aula. Pode ser por questão de agendamento de laboratório, ou não disponibilidade do professor, ou também por desinteresse pessoal dos alunos. Dessa forma os limites de uso de laboratório por questão de tempo costuma ser também um dos desafios no aprendizado de sistemas de controle.

Assim conforme exposto nessa seção podemos perceber o quão difícil pode ser o ensino e o aprendizado de automação apesar da grande variedade de recursos e abordagens possíveis. Esse é provavelmente uma das explicações do resultado que se vê a nível industrial, de que muitas das plantas/equipamentos estão em performance ruim talvez por causa do modo de Sintonia Automática – ou até mesmo por Sintonia Nenhuma: apenas se instala o controlador esperando que seu ajuste será “automático”.

São milhões de plantas de processos contínuos instaladas ao redor do mundo todo e de todos os tipos: mineral, química, alimentícia, energética, térmica etc. Entretanto são relativamente poucos os engenheiros capacitados por completo na instrumentação, na matemática e na computação dessa ciência, a automação.

2.4 A IMPORTÂNCIA DAS AULAS PRÁTICAS NO ENSINO DE ENGENHARIAS

Tendo já sido mencionada a questão da importância dos laboratórios para o ensino de engenharia, não se tem dúvida da importância das aulas práticas no aprendizado de automação. Conforme demonstrado por Dutra, Milhomem e Neves (2017) essas aulas práticas devem abordar as partes mais físicas do sistema tais como: equipamentos (tanques, reatores, trocadores de calor), e instrumentos (de medição, de controle e de atuação); mas também deve abordar as partes intangíveis, como a matemática, o fluxo de programação, a comunicação de sinais e dados, os gráficos etc.

Por mais que um dado estudante tenha facilidades em abstração, se ele quer ser engenheiro é necessário clara compreensão das implicações físicas do que se aprende. Haveriam inúmeros exemplos de aprendizado de fenômenos intangíveis em laboratório; menciona-se aqui, brevemente, dois deles: a cinética química, e o eletromagnetismo. São dois fenômenos muitas vezes invisíveis à observação por nossos olhos – mas que não significa que sejam incompreensíveis, além de que de modo algum são ignoráveis. Pois suas aplicações práticas são muito importantes; não se pode ignorar mesmo sendo invisível; e são compreensíveis por meio dos modelos matemáticos. Assim mostra-se a necessidade de se conhecer a teoria mas também confirmar a prática – por mais intangível que seja.

Contudo apesar dessa obviedade da importância dos laboratórios, não são todos professores que os adotam em seu ensino, mesmo quando a disciplina é de cunho prático. Ressalvada a questão de não haver laboratórios adequados, é muito comum haver equipamentos didáticos deteriorando sem uso nas instituições de ensino.

Os motivos do desânimo desses professores são bem diversos, mas alguns típicos são: o tempo de preparo e desmonte podem ser maiores que o da experiência; os equipamentos de laboratório costumam dar problemas; ruídos e dados inesperados etc. (NICKERSON *et al.*, 2007). Outra questão frequente é de que as formas de planejamento e avaliação de aulas em laboratórios costumam ser diferente das de aulas teóricas (RODRIGUES, 2010), exigindo assim mais preparativos da parte dos professores.

Essas afirmativas valem, semelhantemente, para o ensino de sistemas de controle. Em virtude do elevado teor matemático desse assunto, na graduação já se espera que o aluno tenha aprendido requisitos mínimos de cálculo quando chegam nas disciplinas relacionadas a teoria de controle. Assim cabe ao professor inserir em seu cronograma algumas aulas de

revisão dos conceitos teóricos e matemáticos, mas priorizando as aulas práticas que demonstram os sistemas de controle em operação.

Contudo, essas aulas práticas costumam fluir de modo lento, pois os estudantes podem demorar a associar a montanha matemática à realidade plana dos fenômenos, enquanto treinam suas novas sinapses neuronais. Sem mencionar os esquecimentos típicos de alunos de como operar o equipamento, entre uma sessão de laboratório e outra, causando atrasos na experimentação.

Existe também a dificuldade dos professores com os equipamentos: são conjuntos complicados, que envolvem fenômenos de transporte, mecânica, eletro-eletrônica, instrumentação, software, comunicação etc. Para isso o professor deve se preparar adequadamente, recebendo da instituição o treinamento para usar os equipamentos didáticos, para depois realizar e explorar por si exercícios práticos antes de se apresentar em aula.

Costumam acontecer nas aulas práticas inevitáveis e incômodos erros e defeitos, como por exemplo mal contato, falhas de sensores etc. Apesar disso estes pequenos problemas podem até serem aproveitados no aprendizado (NICKERSON *et al.*, 2007). Por outro lado às vezes esses erros não são possíveis de resolver durante aula, o que sem dúvida prejudica o andamento da experiência.

A despeito dessas dificuldades de recursos, de tempo, e de compreensão, é certo que aulas em laboratório rende bons frutos para o aprendizado. Muitas vezes os alunos se surpreendem com os *insights* (intuições) iluminadores que adquirem por si, às vezes já nas primeiras aulas práticas. Além de esclarecer a importância industrial e social do assunto, por meio dessas aulas práticas pode-se propiciar ambiente fértil para surgir, ainda em plena graduação, ideias inovadoras de solução de problemas sociais (SILVA; LOPES; AMARAL, 2012), resultando até mesmo em novos processos, ou produtos, ou empresas inteiras.

Aliados aos laboratórios existe uma grande variedade de simuladores e demonstrações via software (GAUTAM; QIN; LOH, 2016), que podem servir de preparo para a aula prática, ou como complemento para momentos fora do laboratório. A questão da simulação para ensino de engenharia será tratada na Seção 2.5. Mas aqui podemos mencionar um intermediário entre laboratório físico e simulação computacional, que são os lab-remotos. Conforme apresentado por Selmer *et al.* (2007), *remote-labs* são plantas físicas alojadas em alguma instituição parceira, e que podem ser acessadas e operadas por interfaces distantes tal como pela *world wide web*, sendo que seus dados podem ser adquiridos para análise.

Por se tratar de equipamento real, a validade dos dados é limitada apenas pela propagação de erros da instrumentação, como em todos demais casos reais. No entanto alguns

críticos argumentam que os lab-remotos não têm o mesmo efeito cognitivo que o de equipamento físico presente diante do estudante (VAIDYANATHAN; ROCHFORD, 1998).

Uma grande vantagem dos lab-remotos é o compartilhamento da infraestrutura e de suas responsabilidades, em relação a custos de implantação e manutenção, além de reduzir o tempo ocioso do equipamento. No entanto sua maior vantagem é a de possibilitar que mais estudantes e pesquisadores tenham acesso aos equipamentos.

Não foi mencionada ainda uma das principais vantagens das aulas práticas: a interação entre colegas e professores. Durante aulas teóricas, mesmo quando resolvendo exercícios em sala, “o discurso dos professores ocupam os 51 % do tempo da classe” (MARTINIC; VERGARA; HUEPE, 2013, p.123, tradução nossa).

Por outro lado, em laboratórios os alunos são deixados a sós com o equipamento, forçando-os a resolver questões reais, impelindo-os a buscar soluções na própria memória ou junto aos colegas. Nessas ocasiões às vezes o professor é consultado por último – claro, após sua explicação inicial da tarefa experimental.

Assim, no aspecto psicocognitivo, o uso de *remote-labs* podem implicar em reduzido impacto educacional, em virtude da menor interação entre alunos de grupos diferentes numa mesma turma. Conforme salientam Ma e Nickerson (2006, p.6, tradução nossa), os “estudantes não aprendem somente a partir dos equipamentos, mas também por meio da interação entre pares e professores”.

Assim, conforme exposto nessa seção, os laboratórios reais – estejam presenciais ou remotos – são indispensáveis no ensino das engenharias. Na mesma proporção, são indispensáveis no ensino de automação, por mais que surjam problemas no decurso de aulas práticas ou por mais lentos que sejam os alunos na execução das tarefas delegadas. Justamente a solução de problemas que aparecem somadas ao tempo prolongado para se trabalhar, diante das respostas físicas do equipamento, é que permitirão ao aluno interiorizar efetivamente o assunto.

2.5 AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO NO ENSINO DE ENGENHARIAS

Conforme mencionado na Seção 2.4, é fácil reconhecer a importância de laboratórios no ensino de engenharia. No entanto três problemas foram mencionados, sendo 1) a ausência ou poucos recursos de laboratório didáticos; 2) a limitação de tempo para aulas mais profundas ou variadas; e 3) os problemas relativos aos equipamentos como falhas e erros. São questões factuais e que podem travar essa importante parte do ensino, que são as aulas práticas.

Motivados pelos problemas 1 a 3 listados, as instituições de ensino estão passando a adotar soluções diversas de simulação em software. Segundo Jahangirian *et al.* (2010), esses simuladores e suas capacidades aumentaram muito com o tempo, deixando de serem meras demonstrações didáticas para se tornarem parte integrante dos projetos industriais. Esse autor afirma que já são 60 (agora mais oito) anos de evolução nessa área.

Esses simuladores abrangem praticamente todas áreas das engenharias: mecânica, elétrica, física, química, civil, produção, e até na própria engenharia da computação – responsável pelo desenvolvimento de simuladores. Uma rápida busca *online* permite encontrar dezenas de ferramentas de simulação para quase todas áreas. Essa tendência abrange, inclusive, a área de educação e pedagogia.

Existem até simuladores de salas de aula, conforme experiências em universidades internacionais, para os professores se treinarem. Alguns alunos dessas salas simuladas são *bots* (virtuais, I.A.) enquanto outros são colegas professores porém sob a pele e voz artificial de um aluno. Existe interação entre esse professor e seus alunos; e esse professor não sabe, a priori, quem são os alunos virtuais e os reais.

Se, portanto, os simuladores são adotados na indústria e até na pedagogia, como não adotá-los também na educação das engenharias industriais? É claro que isso não é novidade, principalmente porque a maioria dos simuladores surgem nas universidades, justamente à serviço da educação. Ademais, conforme argumentam Komulainem *et al.* (2012, p. e153, tradução nossa): "as experiências confirmam que simuladores dinâmicos comerciais provêm treinamento realístico e podem ser integrados com sucesso em cursos de graduação e pós-graduação, cursos laboratoriais, e pesquisa".

Dessa forma, pode-se até argumentar que as simulações sejam a solução, para os três problemas apresentados no início dessa seção. Pois: 1) simuladores são mais prontamente

disponíveis que laboratórios físicos e permitem enorme variedade de experimentação (RASTEIRO, 2009); 2) alguns simuladores funcionam bem mesmo em computadores portáteis, podendo ser usados a qualquer momento com grandes vantagens em termos de tempo (KEENGWE; BHARGAVA, 2014); e 3) nas simulações existe maior controle das situações ideais, e, portanto, ausência de falhas tais como mal contato, ruídos e interferências, erros de sensores etc.

Acrescenta-se às vantagens mencionadas o fato de que hoje se encontram muitos simuladores na forma de software gratuito ou até mesmo software livre (aberto). Ou seja, não somente tem-se drástica redução de custo, mas vem inclusa a possibilidade de customizações e melhorias ou ampliações no software. Essas mudanças podem ser realizadas pelo próprio usuário, ou por uma comunidade de desenvolvedores voluntários. Na verdade, conforme apresenta Guzmán *et al.* (2016), já são tantos usuários e comunidades que fizeram isso, que hoje se consegue encontrar pronto para uso diversos módulos e bibliotecas complementares desses programas abertos, para aplicações específicas – dentre elas, automação e controle.

No âmbito industrial, Klatt e Marquardt (2009) afirmam que as ferramentas de Modelagem, Simulação e Otimização (MSO) já são *commodities* nas indústrias, pertencendo ao arsenal cotidiano das engenharias. Atualmente, pouco ou nada se implementa sem antes passar pela realização de ensaios computacionais. Essas ferramentas de nível industrial não são gratuitas, podendo chegar à casa dos milhões (ex: Aspen®) ou milhares (ex: Matlab®) de dólares americanos. Por essa razão financeira essas indústrias também adotam as ferramentas de *software* aberto, como por exemplo o bem reputado Scilab (GREPINO; RODRIGUES, 2015), para aplicação em soluções pontuais porém não menos confiáveis ou importantes.

Na grande área de automação as vantagens da simulação são muitas. Como exemplo, o processo de sintonia de PID de algum processo que poderia levar muito tempo para estabilizar. Um caso como esse é o de grandes câmaras frigoríficas da indústria alimentícia, que podem levar vários dias até alcançar o Regime Permanente (estabilidade de operação). Por outro lado, tendo-se o modelo matemático dessa câmara e mais o simulador adequado, pode-se reproduzir seu comportamento em poucos instantes. A partir dos resultados da simulação, a sintonia de PID pode ser realizada em questão de minutos apenas. Não fosse somente a enorme economia de tempo, haverá também expressiva economia de insumos e utilidades (energia) que seriam desperdiçadas, caso uma planta como essa fosse ensaiada fisicamente vezes após vezes até chegar (ou não) nos valores ótimos.

A julgar pelos argumentos favoráveis, pela ampla adoção industrial, e pelo limitado orçamento das instituições de ensino, de fato a simulação por software já é um método

largamente adotado na academia, nacional e internacional (ZALUSKI; DANTAS, 2017). Um motivador dessa relação escola-simuladores é o próprio fato de que os estudantes devem aprender a usar essas ferramentas, para depois saberem aplicá-las em ambiente industrial (GREPINO; RODRIGUES, 2015). Tanto é que desde longo tempo as *softwarehouses* que produzem simuladores tem celebrado parcerias com as IEs (ZHANG *et al.*, 2013), cedendo licenças temporárias para os estudantes.

No entanto, será realmente que esses simuladores são mesmo a resposta para os problemas de ensino de matemática e ciências? Não há dúvida de que as vantagens são inquestionáveis, mas não se pode esquecer que existem algumas desvantagens nesse método de ensino por simuladores.

A primeira e mais acentuada é a redução da interação com o próprio objeto da experiência. Boa parte das simulações podem vir semi-prontas, de modo que basta ao estudante meramente parametrizar alguns valores, então iniciar e pairar observando a simulação. Dessa forma o estudante se tornaria um simples espectador passivo, tendo menor ou nenhuma influência sobre o processo. Segundo McLellan (1995, *apud* MA; NICKERSON, 2006, tradução nossa), “o que os estudantes aprendem primariamente com simulações é como rodar simulações.”

Outra preocupante desvantagem das simulações é a possível redução de contato entre colegas e professores. Mesmo que uma tarefa experimental simulável seja alocada para um grupo de alunos, é possível que eles façam cada um sua experiência na comodidade de sua residência, sem no entanto se juntarem para se auxiliarem e avaliarem os resultados. Consequentemente pode faltar um dos principais momentos do aprendizado em laboratórios, que é a epifania do “A-há!”, o “Eureka!” que os alunos fazem entre si quando colhem com os próprios olhos os resultados que validam as teorias estudadas.

Mais um grave problema com a simulação para educação de engenharias é a facilidade de plágio disfarçado. O professor até pode lançar tarefas individuais por aluno. Contudo se um deles resolver o modelo e compartilhar com colegas, esses outros podem se limitar a adaptar conforme sua tarefa. Assim não haverá aprendizado em como usar a ferramenta, talvez apenas em interpretar resultados – ou talvez nem isso. Obviamente e lamentavelmente isso já acontece com outras interações típicas entre alunos, tais como exercícios, provas etc.. Mas nos simuladores, uma ligeira mudança de parâmetros pode mudar drasticamente o resultado todo, de modo que, para o professor, esse plágio disfarçado poderá parecer um trabalho válido.

Ainda que os simuladores tenham evoluído fortemente, passando a ser mais fáceis de usar, mais interativos e mais profissionais, todo o resultado depende de um único elemento: o

modelo matemático adotado. O aforismo de G. P. Box (1987) que diz que “essencialmente todos modelos estão errados, mas alguns são úteis”, explica alguns dos limites dos simuladores. Certos modelos adotados podem ser demais rígidos, e, portanto, ruins de extrapolação. Por isso os resultados de simulações podem conter erros significativos, ou até mesmo serem incoerentes, ainda que o programa não tenha acusado falhas. Segundo disseram Feisel e Rosa (2005, p.125, tradução nossa) “como a simulação é boa somente tanto quanto os modelos usados, é essencial que seja exata”. Na ausência de colegas e professores para validar os resultados, o aluno pode ser induzido à credulidade e a equívocos.

Um último fator negativo a ser abordado quanto aos simuladores para ensino é, na verdade, justamente a falta de problemas físicos que costumam acontecer nos equipamentos reais. Esses problemas – desde que não emperrem a experiência – costumam contribuir no aprendizado. Por exemplo, a falha de um sensor por conta de mal contato causará estranhos resultados que, quando corrigidos, se tornam até mais claros para o estudante. Simuladores inovadores permitem a inclusão de restrições, como tempo e orçamento, bem como flutuações estatísticas em algumas variáveis, “aliviando algumas das preocupações de que simuladores não representam o mundo real” (FEISEL; ROSA, 2005, p.125, tradução nossa).

Conforme apresentado nessa seção, não resta dúvida que simuladores são ferramentas extraordinárias para o ensino de engenharia. Contudo somente devem ser adotadas se complementares à prática experimental – jamais em substituição.

Essa exigência pode onerar ainda mais para as instituições, de que devem ter aulas práticas em laboratório mas também em simulação computacional. Afinal, se comprar software comercial já pode ser difícil, quanto mais difícil será comprar software mais equipamento físico. Entretanto sabendo-se da realidade de que nem sempre os laboratórios físicos estarão disponíveis, pois então que sim, que sejam usados simuladores para o ensino – mas com a condição de que hajam professores e colegas ao alcance, para que os resultados sejam interpretados corretamente.

3 METODOLOGIA:

PESQUISA EM EDUCAÇÃO

Nesta seção apresentam-se as definições para essa pesquisa, seu delineamento, o método experimental, a origem e tipo dos dados coletados, e a forma como esses dados foram processados.

3.1 DEFINIÇÕES DA PESQUISA

Como definições iniciais para esse trabalho, considera-se que o **Objeto da Pesquisa** é o **Aprendizado** dos seguintes tópicos do assunto Automação e Sistemas de Controle:

1. Modelos matemáticos de plantas físicas
2. Resposta do modelo e estabilidade
3. Sintonia de controladores P-I-D

Os **Sujeitos da Pesquisa** são os dois **Métodos de aula prática** empregados, sendo o primeiro os Laboratórios de Equipamento Físico, e o segundo a Simulação Computacional com Equipamentos Virtuais. Esses dois métodos foram submetidos à prova experimental por meio de execução junto a grupos de alunos de graduação, a saber.

Esses alunos são alunos de graduação em Tecnologia em Automação Industrial. Esses alunos estudaram (já finalizaram o curso) na Faculdade de Tecnologia de Tatuí/SP (Fatec Tatuí), uma instituição pública estadual da autarquia Centro Paula Souza. Seu ensino é de nível superior; no entanto a formação é de Tecnólogos (três anos) invés de Bacharéis (cinco anos). Muitos desses tecnólogos são empregados pelas indústrias químicas e alimentícias da região, e são, portanto, responsáveis pela operação e melhorias na automação dessas indústrias. Nisso se incluem todos os três tópicos a serem aprendidos, como no objeto da pesquisa.

Em função de seu objetivo, essa pesquisa aconteceu na forma de Pesquisa Descritiva, pois procurou descobrir relação entre a variável independente (o método de ensino prático) e a variável dependente (que é o resultado acadêmico). Não é Pesquisa Explicativa pois não adentra nas causas do sucesso ou fracasso desse ou daquele método de ensino prático.

Essa pesquisa segue Delineamento Estudo de Caso pois compara um estado inicial dos estudantes e seu estado final após passar pelos métodos práticos, para que seja possível comparar o caso inicial e final e portanto o resultado no Sujeito da Pesquisa.

Os dados são oriundos de experiências didáticas voluntárias do presente pesquisador, que é professor da disciplina prática de “Sistemas de Controle” nessa mencionada faculdade. Esse professor realizou por conta própria experiências pedagógicas planejadas junto às suas turmas. Por se tratar dessa disciplina que, como foi mostrada na Seção 2.3, é um assunto difícil, foi a própria necessidade que motivou o professor na busca por melhoria; e para que haja melhoria, é necessário realizar medição do estado atual. Esse professor realizou registros devidamente organizados, com todos os cuidados em relação a omissões, influências e tendências, e estão devidamente arquivados mas prontamente disponíveis.

Contudo embora os alunos foram comunicados de alguma experiência didática em andamento, não foram informados qual era exatamente, com o propósito de evitar polarizações. Não se aplica o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) pois o sujeito da pesquisa não são os alunos mas os métodos de ensino. Embora houve diferenças entre um método e outro, os estudantes não sofreram nenhuma desvantagem pedagógica entre grupos, pois todos conteúdos teóricos, exemplos, exercícios e tarefas, mais as avaliações e questionários, foram idênticos para todos.

Qualquer informação publicada será sempre referente aos grupos de alunos, conforme o método didático usado, jamais havendo qualquer identificação individual.

3.2 ORIGEM E TIPO DOS DADOS

Foram três experiências, uma por semestre letivo. Em cada experiência, haviam duas turmas, vespertina e noturna, dessa disciplina intitulada Tópicos Especiais de Automação III (TEA3, quinto semestre), lecionadas pelo presente pesquisador desde 2012. O conteúdo

teórico foi o mesmo para ambos grupos, ao modo tradicional: lousa e giz, *datashow*, caderno e portfolio, conforme se pode ver exemplificado nas Figuras B.1 até B.4, do Apêndice B desta dissertação.

Quanto ao conteúdo prático, este foi ministrado de forma diferenciada e alternada: em um semestre a turma vespertina teve aulas pelo método da planta física, enquanto a turma noturna teve aulas em planta simulada; em outro semestre, inverteu-se o método, conforme o turno.

Todos os alunos participantes responderam a um formulário, denominado Questionário de Conhecimentos (QC), presente como Apêndice A desta dissertação. Para os alunos, esse QC foi fornecido como sendo uma Avaliação Diagnóstica. Essa avaliação foi aplicada na primeira e depois na última aula do semestre. Somente foi possível sondar esse conhecimento inicial porque uma disciplina teórica preliminar fora apresentada por outro professor em semestre anterior, intitulada Sistemas de Controle (SISCON, terceiro semestre).

Assim foram denominados os dados obtidos e analisados:

- QCI: questionário de conhecimento iniciais sobre tópicos de sistemas de controle, aplicado na primeira aula do semestre, como sondagem do resultado da disciplina teórica SISCON. Esses dados são o Controle/Testemunha da Pesquisa, ou seja, o estado inicial a ser considerado no Estudo de Caso.
- QCF: o mesmo questionário, idêntico ao primeiro, realizada na aula final de cada semestre, como avaliação do efeito da disciplina prática TEA3. Esses dados sinalizam o resultado de cada sujeito da pesquisa (o método de ensino), a ser considerado no Estudo de Caso

3.2 EXECUÇÃO EXPERIMENTAL

Nesta seção se apresenta o modo como se conduziu a parte experimental desta pesquisa, envolvendo os métodos-sujeitos equipamento físico e simulação computacional, aqui sendo apresentado características de cada método de ensino prático.

Quanto ao equipamento/planta física adotado nas experiências, empregou-se uma mini-estação Festo© MPS-PA®. Trata-se de um conjunto abrangente, formado por sensores,

Quanto ao software simulador adotado, empregou-se um conjunto de desenvolvimento de eletrônica, o Labcenter© Proteus®. Trata-se de um sofisticado conjunto simulador-montador de projetos de eletrônica, interativo com o usuário, com respostas dinâmicas, e que consegue reproduzir funções de transferência (modelos matemáticos de sistemas físicos, SLITs) em tempo quase-real, nos regimes transiente e permanente. Uma tela exemplo do Proteus é apresentada na Figura 3. Um exemplo de resposta dos instrumentos é mostrada na Figura 4. Constam ainda no Apêndice B as Figuras B.7, B.9 e B.10 como exemplos ilustrativos desse programa.

Os estudantes já conheciam esse programa Proteus por meio de outras disciplinas de eletrônica, anteriores a essa de Sistemas de Controle. Mesmo sendo uma poderosa ferramenta de simulação, esse programa pode ser executado em computadores comuns com velocidade satisfatória. Esse programa não é gratuito, mas a *softwarehouse* Labcenter© permite o uso de uma versão demonstração completa.

As aulas de simulação também foram limitadas a um bloco de duas horas-aula (100 minutos), quatro a seis vezes por semestre. Foi solicitado aos alunos o preparo de relatório sobre a experiência, a incluir no portfolio de tarefas. Essas aulas foram iniciadas e conduzidas em laboratório de informática, mas com a possibilidade dos alunos continuarem a simulação em outro momento.

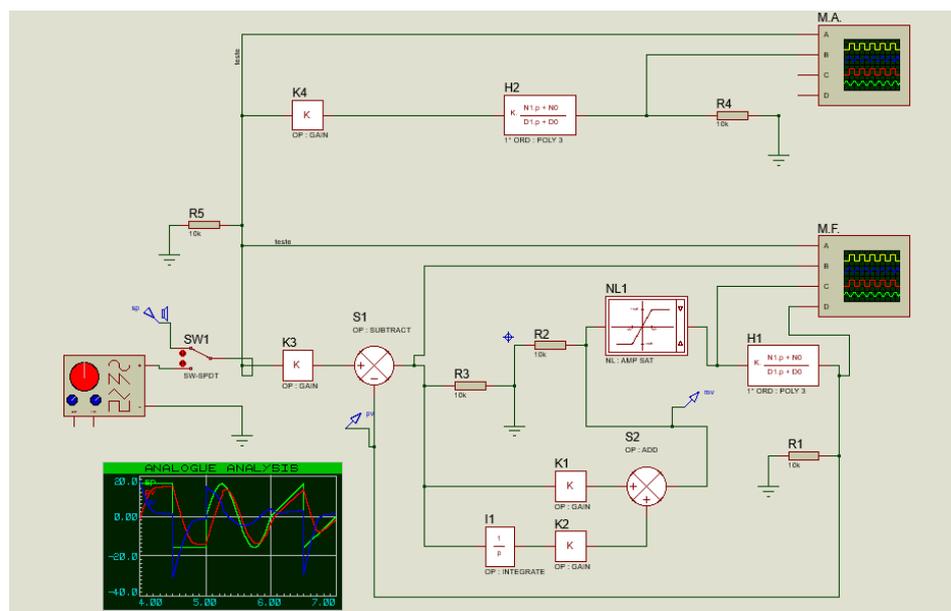


Figura 3: Tela do Proteus para simulação e resposta de planta não-linear com e sem controlador P-I-D

Fonte: arquivo próprio (2018)

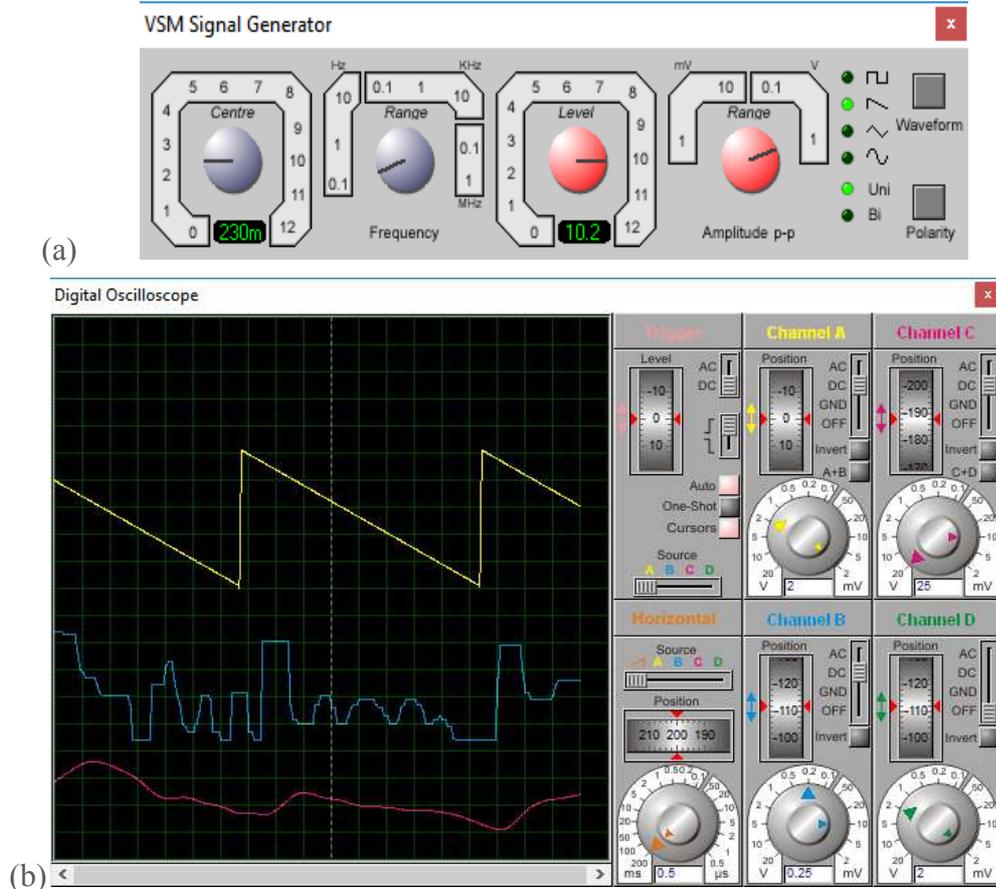


Figura 4: Instrumentos virtuais do Proteus: (a) Gerador de funções, e
(b) Respostas em osciloscópio de quatro canais.
Fonte: arquivo próprio (2018)

O autor oferece um roteiro resumido de como que esse software simulador de eletrônica pode ser aplicado para simular sistemas de controle industriais modelados por SLITs/Funções de Transferência, sob contato, informado no Apêndice B.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

No que tange a análise dos dados desta pesquisa, as ferramentas matemáticas e estatística adotadas foram: tabelas dinâmicas para contagem de acertos para formar tabelas de distribuição de frequências; histogramas para expressar a distribuição estatística por faixas de acertos; separação por quartis para definir grupos conforme respostas; e gráfico tipo *box plot* para demonstrar os grupos dos quartis. Os registros são apresentados e analisados na Seção 4, e seu impacto na pesquisa é avaliado na Seção 5.

4 REGISTROS:

SÍNTESES E ANÁLISES

Nessa seção são apresentados: os registros obtidos da experimentação didática; a síntese desses números usando técnicas estatísticas; e análises textuais dos números resultantes. As discussões desses registros e análises são realizadas na Seção 5.

4.1 REGISTROS OBTIDOS

As experiências didáticas ocorreram ao longo de três semestres: 2016/2ºS, 2017/1ºS e 2017/2ºS. Cada turma variou dentre apenas sete a até 27 alunos. O total de alunos ao longo das três experiências foi de 94 estudantes, que iniciaram matriculados nesses semestres mas sendo que nem todos participaram – por ausência ou trancamento.

Quanto ao questionário de conhecimento (QC) foram 82 estudantes que responderam, na forma de Questionário de Conhecimento Inicial (QCI) e/ou dos Questionário de Conhecimento Final (QCF). Dessa forma, 87,2 % do total de alunos matriculados inicialmente responderam. A diferença de 13 alunos se deve aos faltantes no dia da aplicação do QC. Portanto o número de 82 amostras é considerado o universo.

Desses 82 estudantes, 66 deles responderam em ambas ocasiões, QCI e QCF, resultando assim em 80,1 % deles que foram medidos no começo e no final do processo, para a medição do resultado do objeto da pesquisa (o aprendizado) no sujeito da pesquisa (os métodos de aula prática). No entanto como as sínteses expressam de modo coletivo o estado inicial e também o estado final conforme o método de ensino prático, foram empregados todos os dados dos 82 participantes invés de somente dos 66 que participaram de ambas sondagens de conhecimento.

4.2 SÍNTESES DOS QUESTIONÁRIOS DE CONHECIMENTO

Na segunda aula de cada semestre já tendo sido apresentado os tópicos da disciplina aos alunos na primeira aula, foi aplicado para cada turma o Questionário de Conhecimentos Iniciais (QCI) sobre esses tópicos do objeto da pesquisa, a título de avaliação diagnóstica, do conhecimento já obtido na disciplina teórica de sistemas de controle. Foram 15 questões de quatro opções com apenas uma certa.

Apresenta-se no Apêndice A esse formulário aqui denominado de QCI, sendo exatamente o mesmo documento que o QCF. Aos alunos não foi comunicado se tratar do mesmo documento e o tempo entre cada evento foi de pelo menos 18 semanas. Em ambas ocasiões esse formulário foi fornecido com o título de Avaliação Diagnóstica, valendo nota para incentivar esforço dos alunos, tendo sido exemplar.

Esse QCI não foi resolvido nem comentado nas aulas seguintes, ficando os alunos cientes do seu resultado individual pelo Sistema Integrado de Gestão Acadêmica (SIGA) da Fatec Tatuí. Após isso decorreu-se o semestre normalmente, com as aulas teóricas e práticas conforme métodos de laboratório, diferenciados ao modo exemplificado no Apêndice B.

Na última aula de cada semestre esse formulário foi reaplicado, também sob título de Avaliação Diagnóstica mas aqui denominado de questionário de conhecimento final (QCF). Foi alcançada a parcela de 87,2 % dos alunos, pois houveram alguns que perderam o QCI ou o QCF – mas jamais foram todos de quaisquer das turmas. Ou seja todos grupos foram amostrados pelos QCs em sua maioria de participantes, no início e ao final do processo.

O cômputo numérico desses instrumentos QCI e QCF consiste apenas em quantificar o número de acertos de cada aluno, dentre nenhum acerto (Nota 0) até todas certas (Nota 15). Por isso, tem-se 16 estados possíveis. Esses estados foram estratificados de duas formas diferentes:

- 1) Em grupos de quatro faixas de acertos (fa) e uma denominação, sendo: 0 a 3 (ruim), 4 a 7 (regular), 8 a 12 (boa), e de 12 a 16 acertos (ótima). Ou seja, os alunos que acertaram entre 0 a 3 questões formam um grupo; alunos de 4 a 7 acertos, outro grupo; e assim vai. Essa métrica foi aplicada nas Tabelas 1 até 6, de Distribuição de Frequências, bem como nos Histogramas apresentados nas Figuras 4 até 6.

- 2) De forma unitária mas agrupados conforme quartis estatísticos, do valor mínimo ao primeiro quartil, do primeiro ao segundo quartil (sendo a mediana), da mediana ao terceiro quartil, e do terceiro quartil ao valor máximo. Cada uma dessas faixas de quartis, conforme apresentada na Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9 e na Figura 7, correspondem a 25 % do total de amostras coletadas.

Acredita-se que com essas duas formas de distribuição foi possível observar as mudanças no objeto da pesquisa (o aprendizado dos tópicos de sistemas de controle) em relação ao sujeito da pesquisa (o método de aula prática adotado), conforme nos comentários analíticos apresentados a seguir, ainda nesta Seção 4.

4.3 ANÁLISES POR DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA E HISTOGRAMAS

Nesta seção 4.3 emprega-se o ferramental de tabelas de distribuição de frequências para graficar histogramas, que mostram visualmente a distribuição inicial e final dos alunos por faixa/intervalo de acertos. Essa síntese é feita para o caso geral (todos alunos em ambos métodos de ensino prático) e para os dois casos específicos (alunos que passaram pelo método planta física, e pelo método planta simulada).

4.3.1 Resultados dos Dois Métodos Somados

Essa primeira análise geral apenas avalia se houve progresso no conhecimento final de todos alunos em relação ao estado inicial. Por isso essa primeira análise ainda é incapaz de diferenciar o método prático adotado, que é o sujeito desta experiência. Serve para demonstrar em linhas gerais que os alunos progrediram em seu aprendizado ao passar pelas aulas práticas da disciplina de sistemas de controle, como é natural de se esperar.

Na Tabela 1 se apresenta a quantidade de alunos conforme acertos para cada faixa/intervalo de quatro unidades em seu estado inicial denominado QCI-geral, na coluna ‘Quantidades por classe’. Esses dados sintéticos demonstram o estado inicial de todos alunos,

que por si representa o conhecimento já adquirido na disciplina teórica de sistemas de controle.

Tabela 1: Distribuição de frequências por intervalo de acerto de questões, de todos alunos, em seu estado inicial no começo de cada semestre

Intervalo de acertos (classes)	Quantidades por classe	Distribuição de frequências	Quantidade acumulada	Distribuição de frequências acumuladas
0 — 4	0	0,0 %	0	0,0 %
4 — 8	27	34,6 %	27	34,6 %
8 — 12	48	61,5 %	75	96,2 %
12 — 16	3	3,8 %	78	100 %
TOTAL	78	100 %	-	-

Fonte: autoria própria (2018)

Convém comparar brevemente a coluna ‘Distribuição de frequências’ do QCI-geral da Tabela 1 com a mesma coluna da Tabela 3 e da Tabela 5. Pode-se notar que o estado inicial de todos alunos era praticamente o mesmo para ambos métodos práticos empregados. Isso facilita a percepção do progresso conforme cada método. Nestas três tabelas mencionadas percebe-se que de fato esses alunos já tinham conhecimento inicial, pois a maior parte das amostras (entre de 60,4 % a 63,3 % na coluna ‘Distribuição de frequências’) estiveram na faixa de 8 até 11 acertos ‘boa’.

O resultado geral para os alunos de ambos métodos de ensino prático é apresentado na Tabela 2. Como é de se esperar houve progresso da maioria, na seguinte forma: no QCI-geral 34,6 % deles estavam na faixa de 4 a 7 acertos ‘regular’, enquanto no QCF-geral passou a haver 26,7 % deles nessa faixa, ou seja, menos notas regulares. Na faixa intermediária de 8 a 11 acertos ‘boa’ o número mudou pouco, de 61,5 % para 58,5 %, o que pareceu ligeira piora. Entretanto, observando-se a coluna de notas mais expressivas, de 12 até 15 acertos ‘ótima’, de apenas 3,8 % passou a ser 13,4 % o número de alunos que apresentam salto no progresso de seu conhecimento.

Tabela 2: Distribuição de frequências por intervalo de acerto de questões, de todos alunos, em seu estado final no término de cada semestre

Intervalos de acertos (classes)	Quantidades por classe	Distribuição de frequências	Quantidade acumulada	Distribuição de frequências acumuladas
0 — 4	1	1,2 %	1	1,2 %
4 — 8	22	26,8 %	23	28,0 %
8 — 12	48	58,5 %	71	86,6 %
12 — 16	11	13,4 %	82	100 %
TOTAL	82	100 %	-	-

Fonte: autoria própria (2018)

Pelo gráfico tipo histograma apresentado na Figura 4 se exhibe de forma visual as análises comentadas das tabelas. Tem-se no histograma cor azul (QCI-geral) a situação inicial dos estudantes antes da disciplina prática de sistemas de controle. Então tem-se no histograma cor laranja (QCF-geral) a situação final dos estudantes. Pode-se perceber que houve migração de uma faixa para outra tendendo a ser da esquerda para direita, exceto por um único aluno que regrediu por motivo indeterminado.

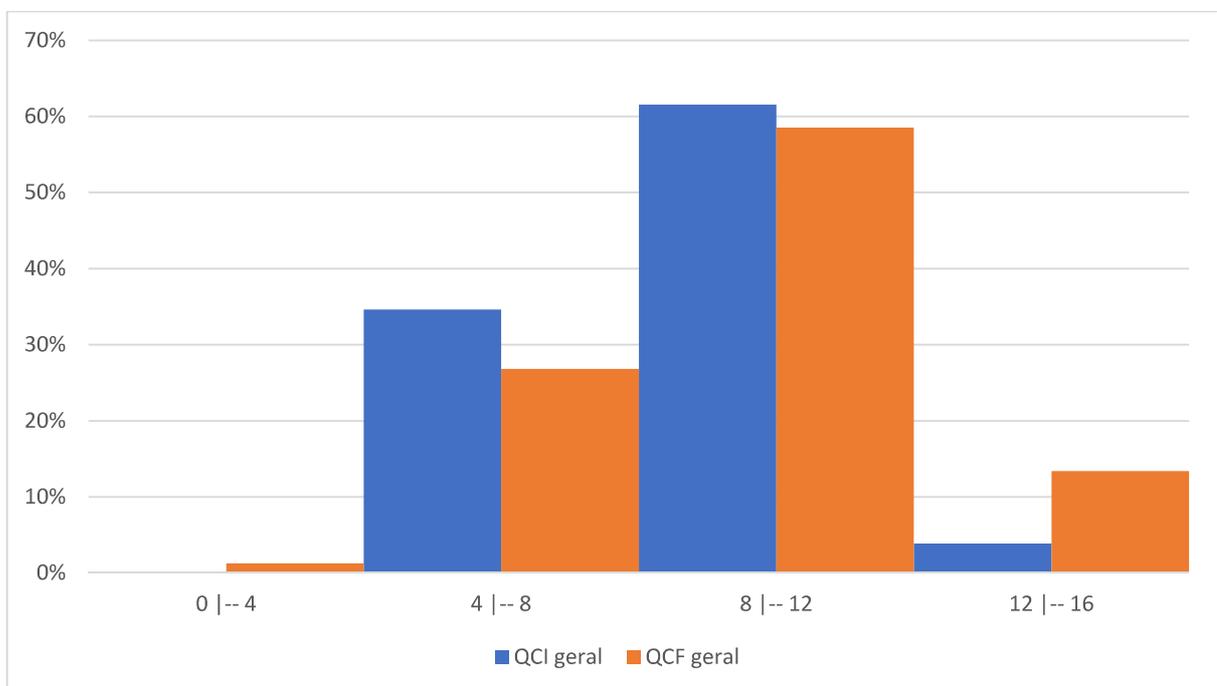


Figura 4: Comparativo dentre os histogramas do estado inicial e estado final de todos alunos

Fonte: autoria própria (2018)

Ainda nesta Figura 4 pode-se observar que houve transbordo de classe, de modo que alunos que estavam na faixa de acertos 'ruim' passaram à faixa 'boa' ou 'ótima', enquanto que da faixa 'boa' para a 'ótima' também houve migração expressiva.

4.3.2 Resultados do Método Planta Física

Semelhante à análise da Tabela 1 na Seção 4.3.1, pela Tabela 3 se apresentam os resultados gerais dos alunos envolvidos com o método de aula prática em planta física. Por haver distribuição inicial muito semelhante à geral dos alunos, não cabem muitos comentários ou análises nesse ponto da QCI-física.

Tabela 3: Distribuição de frequências por intervalo de acerto de questões, dos alunos que passaram por planta física, em seu estado inicial no começo de cada semestre

Intervalos de acertos (classes)	Quantidades por classe	Distribuição de frequências	Quantidade acumulada	Distribuição de frequências acumuladas
0 — 4	0	0,0 %	0	0,0 %
4 — 8	17	35,4 %	17	35,4 %
8 — 12	29	60,4 %	46	95,8 %
12 — 16	2	4,2 %	48	100 %
<i>TOTAL</i>	<i>48</i>	<i>100%</i>	-	-

Fonte: autoria própria (2018)

Por outro lado o resultado desses alunos que passaram pelo método de ensino prático da planta física é apresentado na Tabela 4. Os progressos aconteceram da seguinte forma: no QCI-física 60,4 % dos alunos estavam na faixa de 8 a 11 acertos (bom), enquanto no QCF-física passou a haver 61,4 % deles – ou seja, quase nenhuma mudança nessa faixa, da maiorias participantes. No entanto na faixa de 4 a 7 acertos (regular) pode-se ver a migração para bom ou ótimo, pois de 35,4 % deles caiu para 21,2 % - ou seja, esvaziou-se, mas não foram para a faixa 0 a 3 (ruim) pois continuou nula. Ao mesmo tempo, a faixa de acertos ótimos, de 12 a 15, populou-se significativamente. Pois eram apenas 4,2 % dos alunos que inicialmente obtiveram notas ótimas, enquanto no final passaram a ser 17,3 % deles nessa faixa.

Tabela 4: Distribuição de frequências por intervalo de acerto de questões, dos alunos que passaram por planta física, em seu estado final no término de cada semestre

Intervalos de acertos (classes)	Quantidades por classe	Distribuição de frequências	Quantidade acumulada	Distribuição de frequências acumuladas
0 — 4	0	0,0 %	0	0 %
4 — 8	11	21,2 %	11	21,2 %
8 — 12	32	61,5 %	43	82,7 %
12 — 16	9	17,3 %	52	100 %
TOTAL	52	100 %	-	-

Fonte: autoria própria (2018)

Essa análise pode ser visualizada por meio dos histogramas presentes na Figura 5. Aqui a cor azul representa o estado inicial dos alunos, enquanto a cor laranja representa o estado resultante, de forma coletiva. Em linhas gerais percebe-se forte redução da faixa ‘regular’, e ainda mais forte aumento da faixa ‘ótima’. Isso pode significar que aqueles que estavam ‘regular’ passaram a ‘bom’, e os ‘bons’ migraram para a condição ‘ótima’.

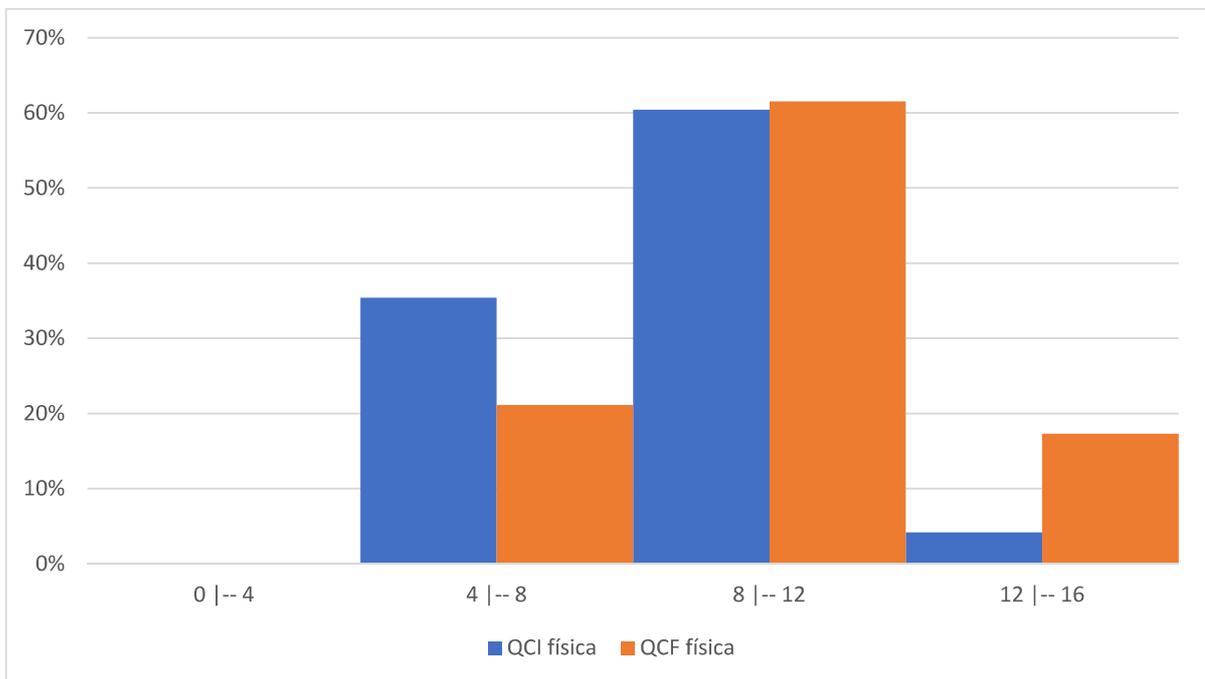


Figura 5: Comparativo dentre os histogramas do estado inicial e estado final dos alunos que passaram por aula prática em planta física

Fonte: autoria própria (2018)

4.3.3 Resultados do Método Planta Simulada

Os resultados iniciais dos alunos que passaram pelo método de aula prática em planta simulada é apresentado na Tabela 5. Como as turmas todas mostraram certa homogeneidade conforme visto na Tabela 1, aqui neste ponto não há o que analisar em relação ao QCI-simulada além do que já visto em na Seção 4.3.1.

Tabela 5: Distribuição de frequências por intervalo de acerto de questões, dos alunos que passaram por planta simulada, em seu estado inicial no começo de cada semestre

Intervalos de acertos (classes)	Quantidades por classe	Distribuição de frequências	Quantidade acumulada	Distribuição de frequências acumuladas
0 — 4	0	0 %	0	0 %
4 — 8	10	33,3 %	10	33,3 %
8 — 12	19	63,3 %	29	96,7 %
12 — 16	1	3,3 %	30	100 %
<i>TOTAL</i>	<i>30</i>	<i>100%</i>	-	-

Fonte: autoria própria (2018)

Façamos agora a análise do resultado do QCF-simulada, conforme dados apresentados na Tabela 6. A faixa considerada como ‘boa’, dos 8 a 11 acertos, foi ligeiramente esvaziada; eram inicialmente 63,3 % dos alunos nessa faixa, e passou a ser 53,3 % deles. A faixa considerada ‘regular’ aumentou levemente, de 33,3 % para 36,7 %; e passou a haver uma ocorrência de acertos na faixa ‘ruim’. E a faixa de 12 a 15 acertos, considerada ‘ótima’, evoluiu suavemente de 3,3% para 6,7%

Dessa forma o resultado numérico não apresenta tendência de avanço, mas na verdade, até demonstra alguma dispersão da curva de distribuição. O ponto central achatou, e as caudas da curva esticaram-se. Isso pode ser observado pela Figura 6.

Tabela 6: Distribuição de frequências por intervalo de acerto de questões, dos alunos que passaram por planta simulada, em seu estado final no término de cada semestre

Intervalos de acertos (classes)	Quantidades por classe	Distribuição de frequências	Quantidade acumulada	Distribuição de frequências acumuladas
0 — 4	1	3,3 %	1	3,3 %
4 — 8	11	36,7 %	12	40,0 %
8 — 12	16	53,3 %	28	93,3 %
12 — 16	2	6,7 %	30	100 %
TOTAL	30	100 %	-	-

Fonte: autoria própria (2018)

O resultado apresentado no gráfico da Figura 6 permite visualizar o mencionado “achatamento” da parte central do histograma. Nota-se que o resultado da faixa considerada ‘boa’ foi diluído entre as faixas ‘ótima’ e ‘regular’. E talvez possamos inferir que aquela ocorrência que surgiu na faixa ‘ruim’ possa ser oriunda da faixa ‘regular’.

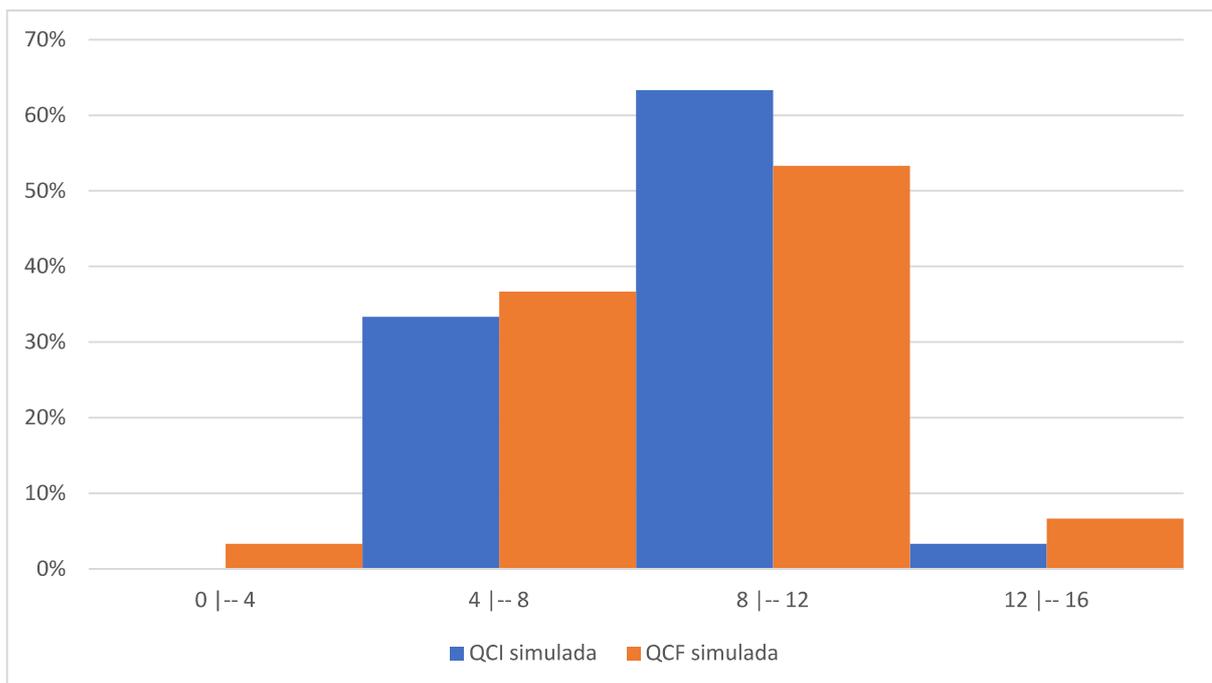


Figura 6: Comparativo dentre os histogramas do estado inicial e estado final dos alunos que passaram por aula prática em planta simulada
Fonte: autoria própria (2018)

Assim, concluindo essa Seção 4.3, foram analisados de forma numérica e gráfica os dados dos alunos, separados por faixas de acertos consideradas de ‘ruim’ a ‘ótima’. Na Seção 5 são apresentados generalizações desses resultados.

4.4 ANÁLISES POR QUARTIS E *BOX-PLOT*

O método de Análise Estatística por Quartis visa estratificar em quantidade de ocorrências, ou frequências, dessa vez não pelo valor das amostras mas pela quantidade de amostras. Especificamente, isso significa que o universo de 100% das amostras será quarteirizado (separados em partes de um quarto) do número de amostras. Para cada uma dessas faixas se indica a extensão do valor das amostras dentro do respectivo quartil.

Apresenta-se na Tabela 7 os valores mínimo e máximo dos dados e a divisão por três quartis separados pela mediana, para os dois eventos, o QCI-geral e o QCF-geral. Tem-se nessa tabela um meio de comparar os resultados gerais de modo rápido de todos alunos participantes, independente do método de aula prática. No entanto convém lembrar que a análise dos grupos desse modo geral não contribui para a verificação do objeto desta pesquisa junto ao sujeito. Isso será observado na Tabelas 8 e na Tabela 9.

Ainda assim, a partir desta Tabela 7 podemos realizar as seguintes análises: A primeira é em relação ao mínimo e máximo, onde pode-se perceber que houve extensão da faixa, pois era de 4,0 até 13,0 e passou a estar entre 2,0 e 14,0. A variação de 13,0 para 14,0 é bem-vinda pois indica melhorias nos acertos 'ótimos', mas a variação de 4,0 para 2,0 sinaliza aumento dos casos de acertos 'ruins'. Na segunda análise pode-se notar que as divisórias do primeiro e do terceiro quartil (Q1 e Q3) mantiveram-se no patamar anterior. Significa que em linhas gerais as populações se dividem de forma semelhante tanto no estado inicial como no final. Numa terceira análise se vê que a mediana, que é a divisória do segundo quartil (Q2), mostrou avanço de 8,0 para 9,0, significando que 50% da população (de Q2 até Q3 mais Q3 até o máximo) progrediu na sua taxa de acerto de respostas.

Tabela 7: Separação das amostras por quartis em relação ao seu estado inicial e estado final do conhecimento de todos alunos (geral)

	QCI geral	QCF geral
MÍNIMO	4,0	2,0
Q1	7,0	7,0
Q2 = MEDIANA	8,0	9,0
Q3	9,8	10,0
MÁXIMO	13,0	14,0

Fonte: autoria própria (2018)

Agora por meio da Tabela 8 podemos realizar análises semelhantes. A primeira é em relação ao mínimo e máximo, onde pode-se perceber que houve encolhimento da faixa pois era de 4,0 até 13,0 e passou a estar entre 5,0 e 14,0. Tanto a variação de 4,0 para 5,0, e de 13,0 para 14,0 são bem-vindas, pois indicam melhorias nos acertos ‘ótimos’ e redução dos casos de acertos ‘ruins’. Na segunda análise pode-se notar que as divisórias do primeiro e do terceiro quartil (Q1 e Q3) alçaram patamar superior, sendo Q1 de 7,0 para 8,0 e Q3 de 9,3 para 11,0. Significa que em linhas gerais as populações progrediram de nível entre o estado inicial e o final. Numa terceira análise se vê que a mediana, que é a divisória do segundo quartil (Q2), mostrou avanço de 8,0 para 9,0, significando que 50% da população (de Q2 até Q3 mais de Q3 até o máximo) melhorou sua taxa de acerto de respostas.

Tabela 8: Separação das amostras por quartis em relação ao seu estado inicial e estado final do conhecimento dos alunos que passaram pelo método planta física

	QCI física	QCF física
MÍNIMO	4,0	5,0
Q1	7,0	8,0
Q2 = MEDIANA	8,0	9,0
Q3	9,3	11,0
MÁXIMO	13,0	14,0

Fonte: autoria própria (2018)

Por fim, pela Tabela 9 podemos repetir essas análises. A primeira é em relação ao mínimo e máximo, onde pode-se perceber que houve encolhimento da faixa pois era de 4,0 até 12,0 e passou a estar entre 2,0 e 13,0. A variação de 12,0 para 13,0 sinaliza melhorias nos acertos ‘ótimos’, enquanto inversamente a variação de 4,0 para 2,0 indica aumento dos casos de acertos ‘ruins’. Na segunda análise pode-se notar que as divisórias do primeiro e do terceiro quartil (Q1 e Q3) variaram, sendo que Q1 melhorou de 6,3 para 7,0, e Q3 piorou de 9,8 para 9,0. Significa que em linhas gerais as populações se espalharam, ou dispersaram para as laterais. Numa terceira análise se vê que a mediana, que é a divisória do segundo quartil (Q2), ficou estagnada em 8,0, significando que 50% da população (de Q2 até o máximo) não melhorou sua taxa de acerto de respostas.

Tabela 9: Separação das amostras por quartis em relação ao seu estado inicial e estado final do conhecimento dos alunos que passaram pelo método planta simulada

	QCI simulada	QCF simulada
MÍNIMO	4,0	2,0
Q1	6,3	7,0
Q2 = MEDIANA	8,0	8,0
Q3	9,8	9,0
MÁXIMO	12,0	13,0

Fonte: autoria própria (2018)

As análises apresentadas nessa seção referente às Tabela 7 até 9 podem ser visualizadas pelo gráfico apresentado na Figura 7. Essa forma de gráfico chamado *box plot* indica mínimos e máximos, a mediana, e as divisórias de quartis das amostras. Cada um dos quatro elementos deste gráfico, identificados sequencialmente como QCI-geral, QCF-geral, QCF-física e QCF-simulada, representam a separação por quartis conforme já apresentado nas Tabelas 7 até 9.

Para facilitar a análise desta Figura 7 se considera que o QCI de cada grupo (física ou simulada) pode ser igualado ao QCI-geral, afinal todos alunos começaram praticamente com o mesmo nível de conhecimento. Como já mencionado o QCF-geral tem pouca importância nessa análise, pois não revela o efeito desse ou daquele método de ensino prático.

Por sua vez, comparando-se o QCI-geral com o QCF-física (Figura 7, primeiro e terceiro elementos) pode-se perceber pela posição mais alta no gráfico a evolução dos resultados, indicando que 50% da população (a soma de Q1 a Q2 com Q2 a Q3) teve avanços

na taxa de acertos. O mesmo comentário vale para os mínimos e máximos bem como a mediana, que estão mais altos no estado final em relação ao estado inicial.

Por outro lado, comparando-se o QCI-geral com o QCF-simulada (Figura 7, primeiro e quarto elementos) percebe-se a posição relativa mais baixa no gráfico, significando que 50% da população (Q1-Q3) se concentraram em uma menor faixa de acertos. Ao mesmo tempo que se vê que a nota máxima não melhorou, percebe-se um afundamento das notas mínimas.

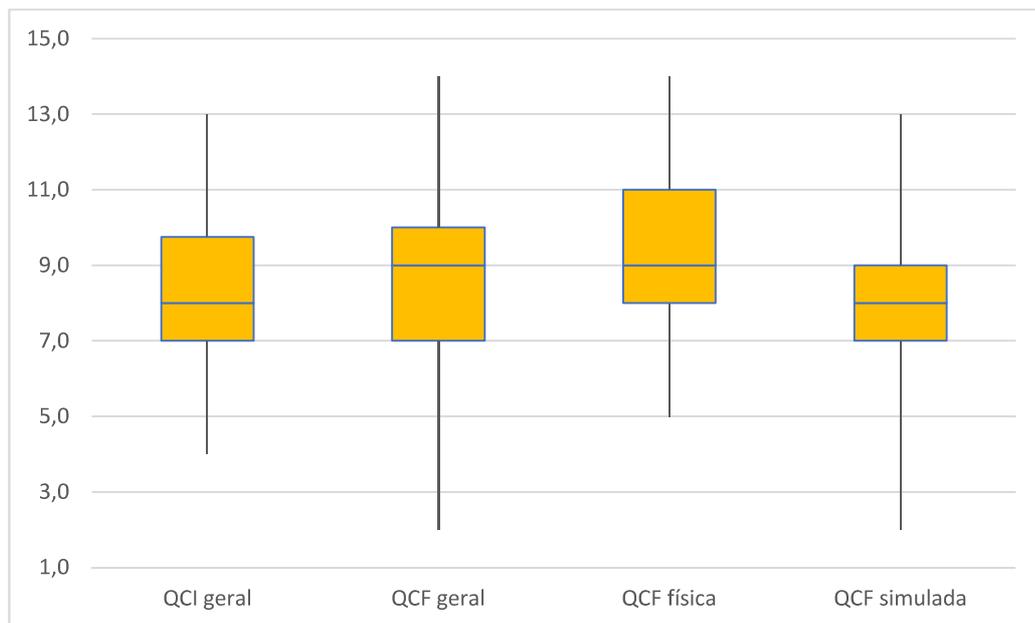


Figura 7: Exibição comparativa entre o estado inicial e os estados finais conforme o método de ensino prático
Fonte: autoria própria (2018)

Na Seção 5 se fazem generalizações em respostas à hipótese e objetivo definidos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS:

DISCUSSÃO, RESPOSTAS E CONCLUSÃO

5.1 DISCUSSÃO SOBRE OS MÉTODOS PRÁTICOS

Recapitulando brevemente, esta presente pesquisa teve como objetivo definir instrumento e método de análise para validar qual método de ensino prático (o sujeito da pesquisa) consegue melhor resultado no aprendizado (o objeto da pesquisa) junto a alunos de graduação, em particular na área educacional de sistemas de controle e automação industrial.

Conforme apresentado no referencial teórico nessa área de sistemas de controle se enfrentam diversos desafios educacionais, por conta da teoria e da prática necessárias ao seu aprendizado. Por isso se ressaltou a importância de laboratórios no ensino de engenharia de controle, assim como se apresentou a viabilidade de se usar simuladores computacionais para contribuir no aprendizado.

No entanto, mesmo que os simuladores possuam a forte vantagem de permitir que o estudante explore maior variedade e complexidade experiências, além do tempo não-limitado para se realizar simulações, os resultados apontados pela metodologia delineada demonstraram que a simulação computacional sozinha não é assim efetiva no ensino de engenharia de controle.

Por outro lado, mesmo que as bancadas físicas de laboratório tenham diversas restrições em termos de variedade de experimentação, maiores demandas de tempo para preparo e desmonte, eventuais problemas técnicos com equipamentos, e sobretudo a limitação de tempo em função do agendamento de laboratórios, encontrou-se pela metodologia delineada que os laboratórios físicos tendem a propiciar melhores resultados educacionais.

Essa generalização está sendo tecida somente em relação ao tema sistemas de controle contínuos, particularmente nos tópicos de modelagem matemática, da sintonia de controlador PID, e das respostas das variáveis de processo. Não é possível generalizá-la para outras áreas dos conhecimentos humanos, mesmo dentro da engenharia de controle. Pois, por exemplo, as diversas tecnologias de Inteligência Artificial são dependentes da computação, e seu desenvolvimento, teste e implementações também dependem do computador; por isso a I.A. é

ainda mais dependente da computação e possivelmente seria beneficiada pela simulação mais do que no caso desta pesquisa quanto ao controle PID.

5.2 RESPOSTAS À HIPÓTESE E AO OBJETIVO

Em função dos resultados observados e comentados na Seção 4 agora torna-se possível responder à hipótese levantada inicialmente na Seção 1.3 assim como ao objetivo definido na Seção 1.1. Transcreve-se abaixo a respectiva hipótese e objetivo, seguidas por comentários sobre sua adequação como solução aos problemas levantados na Seção 1.2.

Assim, citando-se a hipótese definida:

“A análise dos dados numéricos de um instrumento (Questionário de Conhecimentos) por meio de ferramental estatístico (Quartis e de Histogramas) permitirá inferir qual método de ensino prático (Laboratório Físico ou Virtual) propiciou melhor resultado no aprendizado de estudantes do assunto (Sistemas de Controle Industrial).”

Os resultados analíticos apresentados na Seção 4, seja na forma de histogramas ou dos quartis, demonstraram que o método de ensino prático por laboratório físico favoreceu o aprendizado dos estudantes, especificamente nesse assunto sistemas de controle contínuo industrial. A diferença do resultado entre um método de ensino e outro é contrastante, particularmente visível pelo gráfico dos quartis apresentado na Figura 7. Portanto, a hipótese foi confirmada, pois foi possível inferir qual método de ensino trouxe melhor resultado pedagógico.

O instrumento definido e os métodos desenvolvidos foram colocados à prova, propiciando resultado bem definido em relação ao aprendizado de estudantes do tema. Assim, conforme o objetivo determinado para esta pesquisa diz:

“Desenvolver instrumentos e métodos analíticos que permitam obter inferências relativas ao resultado de métodos de ensino de conteúdos práticos, da engenharia de controle de processos contínuos.”

Afirma-se assim que o objetivo foi alcançado, agora facultando que essa metodologia de análise de métodos de ensino possa ser aplicada em outras áreas do ensino prático de engenharias.

5.3 CONCLUSÃO

Pesquisas científicas no ramo da educação nem sempre são conclusivas mas contribuem para o avanço tecnológico (técnicas de ensino) e para inovações (melhorias no ensino), bem como preparam o caminho para pesquisas mais profundas.

Conforme visto no referencial teórico, ainda que se saiba a importância da automação de processos contínuos e da imprescindibilidade dos laboratórios didáticos, mais as oportunidades que os simuladores computacionais oferecem, ainda há muita necessidade e margem de melhoria nessa grande área do ensino da engenharia de controle.

Os registros, sínteses e análises dessa pesquisa Estudo de Caso podem, quem sabe, trazer coragem e entusiasmo para que mais professores façam experiências didáticas com seus alunos, fazendo-se um adequado planejamento visando cuidados para não haver prejuízo pedagógico.

Concluo esta dissertação asseverando que a presença física do estudante junto aos fenômenos físicos estudados é essencial no aprendizado de sistemas de controle. Aliando-se essas experiências em laboratórios físicos com as ferramentas intangíveis da matemática – por meio da computação –, o resultado só pode ser o aumento da compreensão do estudante. De fato, esta pesquisa expôs a importância de não se dissociar a teoria da prática. Além disso, esta pesquisa mostrou que tanto a teoria como a prática podem e devem ser abordadas de formas diferenciadas – sempre que possível.

■

REFERÊNCIAS

- AIHARA, C. K. **Projeto e implantação de plataforma didática aplicada ao ensino e pesquisa em automação**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2000
- ALLIET-GAUBERT, M. et al. **Cooperative Weblab in chemical engineering between France and Brazil: Validation of the methodology**. Journal of Education for Chemical Engineers v.7. Elsevier. 2012
- ARAÚJO, R. G. B.; FILHO, M. V. A. C. **Reflexões sobre práticas pedagógicas para a engenharia de controle e automação**. Anais do XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Joinville, SC. 2017
- ÅSTRÖM, K. J. **Control System Design Book**. University of California. California, USA. 2002
- ASSUNÇÃO, M. L. M. et al. **A importância da iniciação científica no início do curso de engenharia de controle e automação para a formação de futuros engenheiros**. Anais do XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Joinville, SC. 2017
- ATTIE, J.P.; MOURA, M.O. **A altivez da ignorância matemática: Superbia Ignorantiam Mathematicæ**. Revista Educação e Pesquisa. Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2017.
- BARBOSA, W. S. **Implementação de "Problem Based Learning" no ensino de laboratório de controle e servomecanismos**. Anais do XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Joinville, SC. 2017
- BENKHELLAT, L.; BENSOUSSAN, D. **Geogebra as a tool of design of ultrafast and robust controller**. 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Toronto, Canadá. 2017
- BENNET, S. **A Brief History of Automatic Control**. Smithsonian Institute, Washington DC, USA. 1996.
- BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Fenômenos de transporte**. 2ª Edição. Editora LTC - Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, RJ. 2010.
- BODE, H. W. **Feedback - The History of an Idea**. 1960, in: Classic Papers in Control Theory. org: BELLMAN, R., KALABA, R. Dover Publications, Inc. [S.l.]. 1992
- BROWN, S. J. **Health management process control system**. U.S. Patent #US5960403A. [S.l.]. 1999
- BUENO, J. G. R. **Balanco tendencial das dissertações e teses sobre dificuldades de aprendizagem (1987-2010)**. Dossiê Epistemologia e teorias da educação. v.5 n.2. [S.l.]. 2013

- CAMPOS, M. C. M. M.; TEIXEIRA, H. C. G. **Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais**. 2a edição. Editora Edgar-Blücher. São Paulo, SP. 2010.
- CHOPRA, V.; SINGLA, S. K.; DEWAN, L. **Comparative analysis of tuning a PID controller using intelligent methods**. Acta Polytechnica Hungarica. Vol. 11, No. 8. [S.l.]. 2014
- D'ABREU, J. V. V. **Integração de Dispositivos Mecatrônicos para Ensino-Aprendizagem de Conceitos na Área de Automação**. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2002
- DEMETRIADIS, S. et al. **Cultures in negotiation: teachers' acceptance/resistance attitudes considering the infusion of technology into schools**. Journal of Computers & Education n.41. Elsevier. [S.l.]. 2003
- DESHMUKH, A. S., VAISHNAV, S. R. **A Comparative Performance Analysis of PID Tuning Techniques Based On Frequency Response Specification**. Second International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET-09. IEEE. [S.l.]. 2009
- DUTRA, M. K., MILHOMEM, R. L., NEVES, C. F. O C. **Aspectos práticos sobre a modelagem matemática de um sistema de controle de nível**. XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Joinville, SC. 2017
- DUVAL, R. **Quais teorias e métodos para a pesquisa sobre o ensino da matemática?**. Revista Praxis Educativa. v.7i2.0001. Ponta Grossa, PR. 2012
- FEISEL, L. D., ROSA, A. J. **The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education**. The Research Journal for Engineering Education. v.94, i.1. Colorado, USA. 2005
- FIorentini, D., LOrenzato, S. **Investigação em educação matemática: percursos teóricos e metodológicos**. 3ª Ed. Editores Associados. [S.l.]. 2009
- FRANCHI, C. M. **Controle de Processos Industriais, Princípios e Aplicações**. 1ª Edição. Editora Érica. São Paulo, SP. 2014
- GAUTAM, S., QIN, Z., LOH, K. C. **Enhancing laboratory experience through e-lessons**. Journal of Education for Chemical Engineers. v.15 19-22. Elsevier. [S.l.]. 2016
- GREPINO, P. H., RODRIGUES, F. A. **Utilização de softwares livres no ensino da engenharia química**. Revista da Engenharia Química e Química - REQ. Vol 1. [S.l.]. 2015
- GUZMÁN, J. L. et al. **An interactivity-based methodology to support control education**. IEEE Control Systems Magazine. 1066-033X/16. [S.l.]. 2016
- HODEL, A. S., HALL, C. E. **Variable-structure PID control to prevent integrator windup**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 48, no. 2, pp. 442-451. IEEE. [S.l.]. 2001
- HOWARD, S. K. **Risk-aversion: understanding teachers' resistance to technology integration**. Journal of Technology, Pedagogy and Education. Vol 22. [S.l.]. 2013
- JAHANGIRIAN, M. et al. **Simulation in manufacturing and business: A review**. European Journal of Operational Research (203) 1-13. Elsevier. [S.l.]. 2010

- KEENGWE, J., BHARGAVA, M. **Mobile learning and integration of mobile technologies.** Journal of Education and Information Technologies, v.19, i.4. Springer. [S.l.]. 2014
- KLATT, K. U., MARQUARDT, W. **Perspectives for process systems engineering - Personal views from academia and industry.** Journal of Computers and Chemical Engineering 33 536-550. Elsevier. [S.l.]. 2009
- KOMULAINEN, T. M. et al. **Experiences on dynamic simulation software in chemical engineering education.** Journal of Education for Chemical Engineers 7 e153-e162. Elsevier. [S.l.]. 2012
- MA, J., NICKERSON, J. V. **Hands-on, simulated, and remote laboratories: a comparative literature review.** ACM Computing Surveys, v.38, n.3. New Jersey, USA. 2006
- MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. **An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller.** Internation Journal of Man-Machine Studies, n. 7, vol. 1. [s.l.]. 1975
- MARTÍNEZ, J. et al. **Diseño de herramientas didácticas enfocadas al aprendizaje de sistemas de control utilizando instrumentación virtual.** Revista iberoamericana de automática e informática industrial. Elsevier. [S.l.]. 2014
- MARTINIC, S.; VERGADA, C.; HUEPE, D. **Uso del tiempo e interacciones en la sala de clases. Un estudio de casos en Chile.** Revista Pro-Posições. v.24, n.1. Janeiro/Abril. Campinas/SP. 2013
- MENEGHETTI, R. C. G. **Experimentoteca de matemática: discussões sobre possibilidades de sua utilização no processo de ensino e aprendizagem de Matemática.** Revista Práxis Educativa, v.6 n.1. Ponta Grossa, PR. 2011
- MOLISANI, A. L. **Evolução do perfil didático-pedagógico do professor-engenheiro.** Revista Educação em Pesquisa, v. 43, n. 2. São Paulo, SP. 2017
- NICKERSON, J. V. et al. **A model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education.** Journal of Computers & Education. v.49 n.3. Elsevier. [S.l.]. 2007
- OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. **Programme for International Student Assessment (PISA) anno 2015.** Results in focus: Excellence and equity in education. [S.l.]. 2016
- OGATA, K. **Engenharia de controle moderno.** 5ª Edição. Editora Pearson Prentice Hall. São Paulo, SP. 2010.
- PEREIRA, E. M. A., MERCURI, E., BAGNATO, M. H. **Inovações curriculares: experiências em desenvolvimento em uma universidade pública.** Revista Currículo sem Fronteiras. [S.l.]. 2010
- RANADE, S. M., SALAZAR, H., RODRIGUEZ, L. A. **Process control: Domains, disciplines and cognitive difficulties.** Journal of Education for Chemical Engineers. Elsevier. [S.l.]. 2012.

RASTEIRO, M. G. et al. **LABVIRTUAL - A virtual platform to teach chemical process.** Journal of Education for Chemical Engineers 4 e9-e19. Elsevier. [S.l.]. 2009

RODRIGUES, B. C. R. **Sistematização e Avaliação de Aulas Práticas de Bioquímica sob uma Abordagem Investigativa.** Dissertação de mestrado. Instituto de Biologia. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2010

SEEL, N. M. **Model-based learning: a synthesis of theory and research.** Education Technology Research Development. Springer. [S.l.]. 2017

SELMER, A. et al. **Weblabs in Chemical Engineering Education.** Journal of Education for Chemical Engineers. v.2. Elsevier. [S.l.]. 2007

SILVA, R. B., LOPES, M. P., AMARAL, L. S. **Projeto e construção de uma planta didática para ensino de estratégias de controle de nível, vazão e temperatura em cursos de engenharia.** Faculdade de ciência e tecnologia de Montes Claros - FACIT. Montes Claros, MG. 2012

SOLTESZ, K. **On automation of the PID tuning procedure.** Coletânea de artigos. Department of Automatic Control. Lund University. Lund, Suécia. Janeiro. 2012

TONIDANDEL, D. A. V., ARAÚJO, A. E. A. A. **Transformada de Laplace: uma obra de engenharia.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 2 2601-2. [S.l.]. 2012

VAIDYANATHAN, R. ROCHFORD, L. **An exploratory investigation on computer simulations, students preferences, and performance.** Journal of Education for Business. [S.l.]. 1998

WERBOS, P. **Beyond regression: new tools for prediction and analysis in the behavioral sciences.** Tese de doutorado (PhD). Universidade de Harvard, EUA. 1974

ZIEGLER, J. G., NICHOLS, N. B. **Optimum settings for automatic controllers.** Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. Rochester. New York, USA. 1942

ZALUSKI, P. R. S., DANTAS, M. J. P. **Aplicação de softwares de simulação na educação em engenharia: um relato de experiências internacionais exitosas em cursos de modelagem e simulação de sistemas.** XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Joinville, SC. 2017

ZHANG, Y. et al. **A real time approach to process control education with an open-ended simulation tool.** Journal of Education for Chemical Engineers. Elsevier. [S.l.]. 2013

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS

Consta aqui a ‘Avaliação Diagnóstica’ usada como Questionário de Conhecimento, Inicial e Final. Foi entregue impressa para os alunos, sendo duas páginas em uma folha, com um total de 15 questões de múltiplas escolhas, aqui reproduzidas integralmente.

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE TATUÍ/SP - FATEC "PROF. WILSON R. R. CAMARGO"

AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA DE SISTEMAS DE CONTROLE - PROF. O. S. GAJUTIS

Nome: _____ Data: _____

Condições: Individual. Em silêncio. Sem consulta. Proibido celular/tablet/calculadora. Marcar opção à tinta.

Questão 1) Qual é a diferença entre controle de Processos Contínuos e de Processos Discretos?

351

- a) Contínuo é em malha fechada, Discreto é em malha aberta
- b) Contínuo é Automação; Discreto é Mecatrônica
- c) Contínuo é Mecatrônica; Discreto é Automação
- d) Ambos são igualmente importantes e não há diferença

Questão 2) Qual é a diferença entre Processo Industrial Contínuo e de Lote (ou batelada)?

352

- a) Dentro de um processo Contínuo tem-se Lotes, por isso não se distinguem
- b) Contínuo está para Automação, Lotes está para Mecatrônica
- c) Contínuo tem um fluxo ininterrupto de material, enquanto Lote é feito em quantidade definida
- d) Lote tem um fluxo ininterrupto de material, enquanto Contínuo é feito em quantidade definida

Questão 3) O que é um sistema dinâmico realimentado?

353

- a) São aqueles em que as quantidades de materiais mudam o tempo todo
- b) São aqueles em que alguns parâmetros físicos são mantidos por controle automático
- c) São sistemas que não têm um regime permanente definido
- d) São sistemas de difícil controle automático, requer operadores humanos

Questão 4) O que se entende por processo em Malha Aberta e Malha Fechada?

354

- a) Não há diferença efetiva, ambos são sistemas industriais com instrumentação ativa
- b) MA oferece controle contínuo, enquanto MF é controle por lote
- c) MA são sistemas com controle de lote, enquanto MF é controle contínuo
- d) MA são sistemas sem controle, enquanto em MF tem-se medição de parâmetros para poder atuar com controle

Questão 5) Seja um Controlador Proporcional. Se o sistema sofreu uma mudança em forma de degrau (ex: SP de 80°C para 90°C), qual será a reação deste controlador na MV (variável manipulada)?

355

- a) O controlador reage rápido, de modo a evitar variações súbitas no processo
- b) Pode ou suavizar ou causar um pico no PV (valor do processo), chamado Sobressalto (Overshoot)
- c) Provoca um degrau na MV
- d) Ele não atua neste caso

Questão 6) Tem-se agora um Controlador Proporcional-Integral. Supondo uma mudança em degrau no SP, qual será sua atuação na MV?

356

- a) O controlador reage rápido, de modo a evitar variações súbitas no processo
- b) Pode ou suavizar ou causar um pico no PV (valor do processo), chamado Sobressalto (Overshoot)
- c) Provoca um degrau na MV
- d) Ele não atua neste caso

Questão 7) Então empregou-se um Controlador Prop-Integ-Derivador, e deu-se uma mesma perturbação de SP em degrau. O que o PID faz na MV?

357

- a) O controlador reage rápido, de modo a evitar variações súbitas no processo
- b) Pode ou suavizar ou causar um pico no PV (valor do processo), chamado Sobressalto (Overshoot)
- c) Provoca um degrau na MV
- d) Ele não atua neste caso

(CONT.) APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS

Questão 8) Qual é a função da Transformada de Laplace, e qual sua vantagem?

358

- a) Função: converter equações algébricas em diferenciais; Vantagem: facilita o trabalho matemático
- b) Função: converter equações algébricas em diferenciais; Vantagem: facilita o trabalho computacional
- c) Função: converter equações diferenciais em algébricas; Vantagem: não muita, dificulta os cálculos
- d) Função: converter equações diferenciais em algébricas; Vantagem: facilita o trabalho matemático

Questão 9) O que é a variável 's' resultante da Transformada de Laplace de uma função em 't' ?

359

- a) Pode ser um número complexo com parte real e imaginária
- b) Medição de velocidade linear, de 's'=speed
- c) Uma grandeza física pouco conhecida e usada na prática
- d) Uma constante de valor universal

Questão 10) O que é uma Função de Transferência?

360

- a) Um modo de representar sinais e ondas
- b) O modelo matemático de um conjunto de elementos
- c) Parte da burocracia (quase dispensável) num projeto de sistemas
- d) É o algoritmo de programação num PLC

Questão 11) Para que servem as Funções de Transferência?

361

- a) Para simplesmente documentar/arquivar um projeto
- b) Usada somente para fins acadêmicos, para explicar física teórica
- c) Para se poder analisar um sistema através de simulação
- d) Não tem aplicação prática, serve apenas para análise preliminar

Questão 12) Como que se pode obter a Função de Transferência de um Sistema?

362

- a) Desenhando um diagrama em blocos do sistema, cada bloco com sua $F(s)$
- b) Somente com processo computacional, pois 'à mão' é inviável
- c) Não há necessidade disto, normalmente não se obtém tal $F_{sys}(s)$
- d) A partir de estimativas, por tentativa e erro

Questão 13) O que é errado dizer quanto a um sistema de 1a ordem?

363

- a) Pode existir um offset (desvio) do SP em regime permanente
- b) Ocorre um sobressalto/overshoot nas mudanças
- c) Seu tempo de subida é maior que num sistema de 2a ordem
- d) Podem ocorrer nulos, polos e oscilações

Questão 14) O que é errado dizer quanto a um sistema de 2a ordem?

364

- a) Não ocorre offset (desvio) do SP em regime permanente
- b) Ocorre um sobressalto/overshoot nas mudanças
- c) Seu tempo de subida é menor que num sistema de 1a ordem
- d) Podem ocorrer nulos, polos e oscilações

Questão 15) O que não se analisa na Estabilidade de um Sistema?

365

- a) Tempos de subida e acomodação
- b) Maximização de Performance ou de Segurança
- c) As raízes dos polinômios, visando encontrar nulos e polos
- d) Fatores econômicos-financeiros da produção

APÊNDICE B – EXEMPOS DE MÉTODOS DE ENSINO

Nesta seção são apresentados exemplos de trechos de conteúdos dados em salas de aula e laboratório, contendo casos de aplicação, fotografias de laboratório e trechos de exercícios feitos para portfólio.

B.1 REVISÃO DE TEORIAS

Partes dos tópicos apresentados na disciplina Sistemas de Controle (3º Semestre) foram reapresentados em Automação III (5º Semestre) a título de revisão e exemplificação de conteúdos. Pelas Figuras de B.1 até B.4 são apresentados exemplos desses tópicos teóricos.

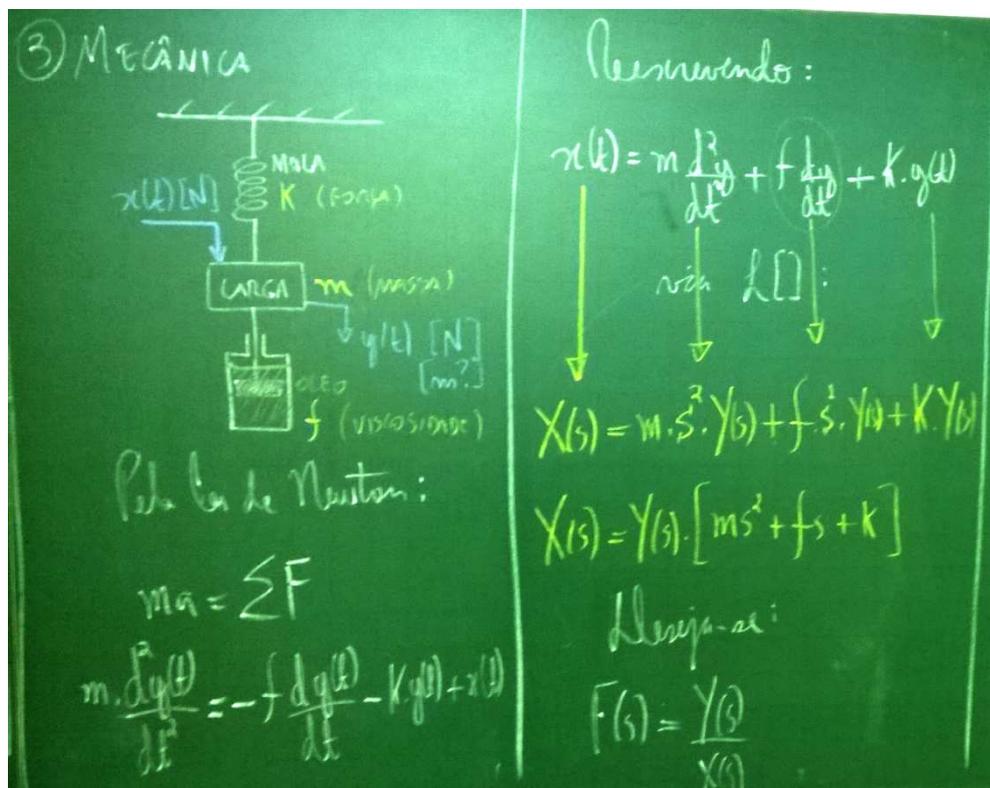


Figura B.1: Exemplo de função de transferência, $F(s)$, de um sistema físico: amortecedor mecânico.
Fonte: arquivo próprio (2016)

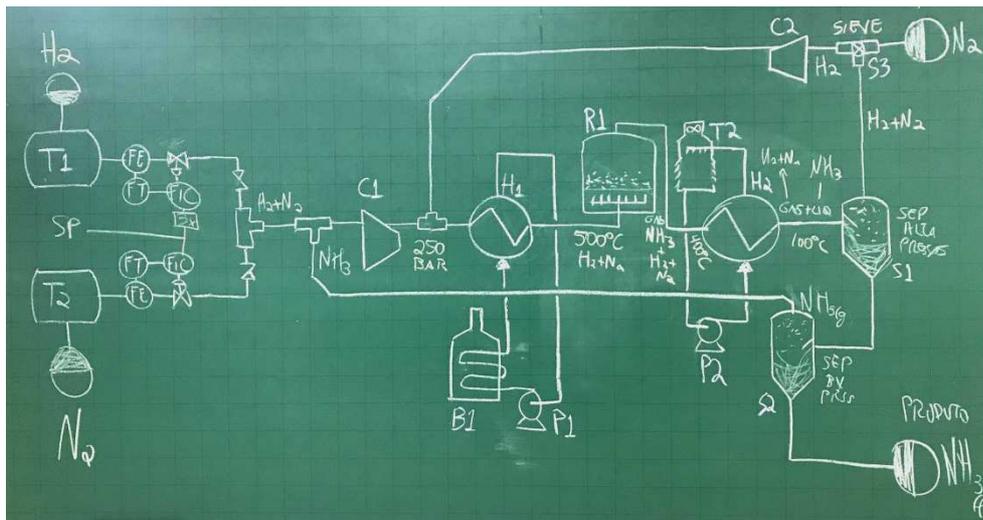


Figura B.2: Exemplo de Process Flow Diagram de uma planta industrial de síntese de amônia, para determinação de sua $F(s)$
 Fonte: arquivo próprio (2016)

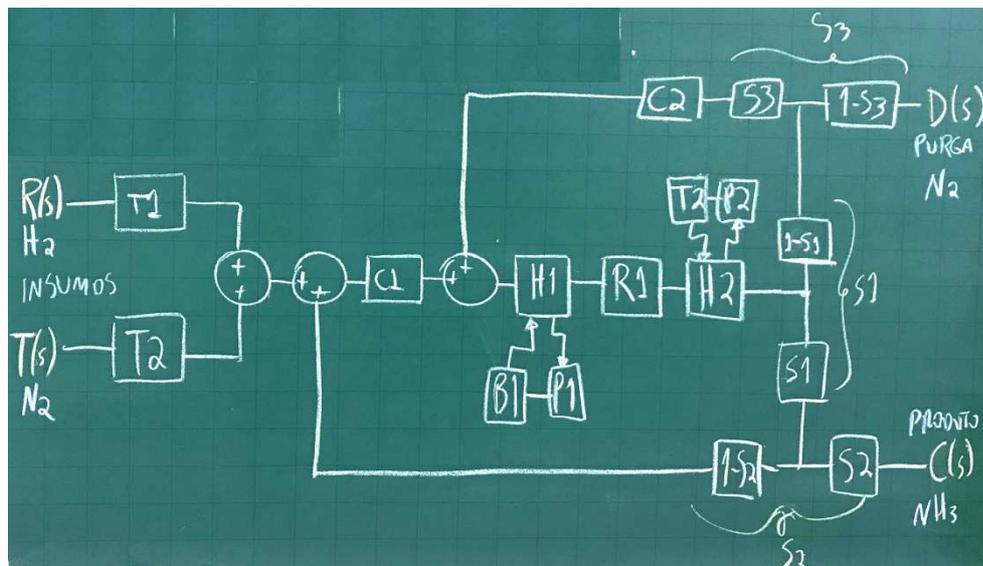


Figura B.3: Sistema em blocos correspondente ao sistema da Figura B.2
 Fonte: arquivo próprio (2016)

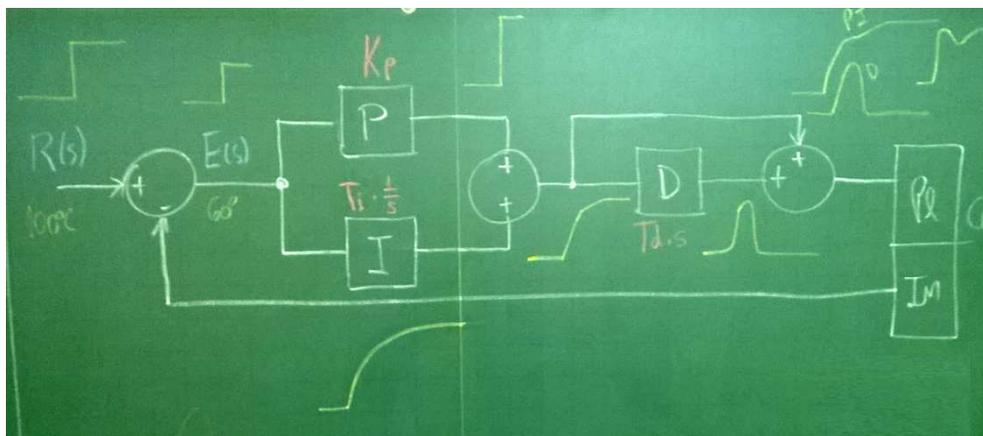


Figura B.4: Respostas típicas de um controlador PID de topologia $(P/I) \cdot (1+D)$
 Fonte: arquivo próprio (2016)

B.2 MÉTODO PLANTA FÍSICA

As experiências práticas em planta física foram realizadas com o conjunto Festo MPS-PA, que consiste em: equipamentos dois tanques; atuadores bomba de água, aquecedor e válvulas; instrumentos de medição de nível, vazão, temperatura e pressão; e integração com computador, numa espécie de sistema supervisorio. Esse conjunto é apresentado na Figura B.6. A Figura B.5 apresenta exemplo de tarefa de Sintonia Manual na planta física e seus resultados no supervisorio.

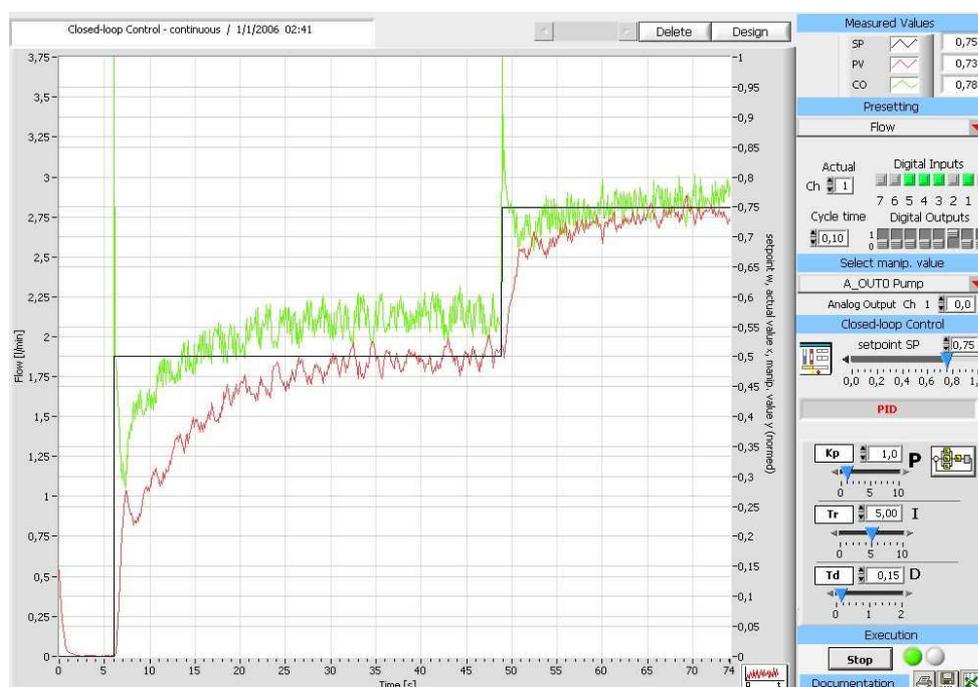


Figura B.5: Resposta do sistema MPS-PA em exercício de sintonia PID

Fonte: arquivo próprio (2018)



Figura B.6: Apresentação frontal do conjunto Festo MPS-PA
Fonte: arquivo próprio (2018)

B.3 MÉTODO PLANTA SIMULADA

As experiências em plantas simuladas foram realizadas com o software Labcenter Proteus, apresentado na Figura B.7. Este programa possui diversos instrumentos de medição virtuais, bem como elementos interativos e o mais importante nesta pesquisa: Blocos de Função de Transferência. Os exercícios usaram como aplicação a simulação de circuitos elétricos típicos de fins industriais, por exemplo, motores ou fornos elétricos em linhas de transmissão de energia, acionados por fontes chaveadas (PWM) conforme Figura B.8. Nas Figuras B.9 e B.10 são exibidas algumas das tarefas relacionadas a modelagem, resposta temporal, e sintonia desses sistemas em malha fechada.

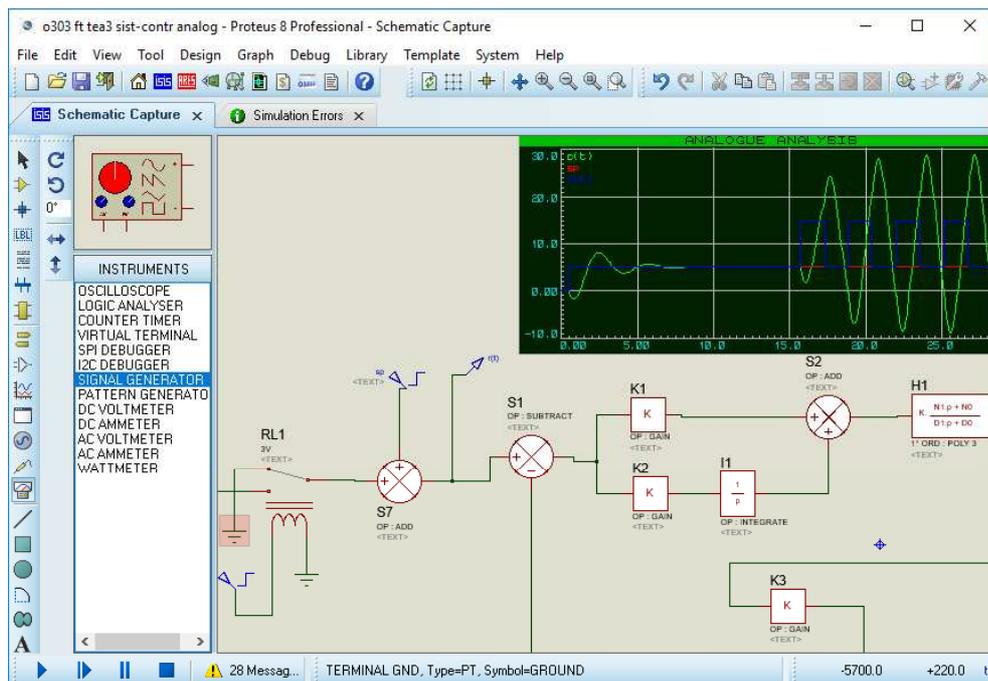


Figura B.7: Interface de usuário do *software* Proteus, um poderoso simulador de sistemas dinâmicos e interativo
 Fonte: arquivo próprio (2018)

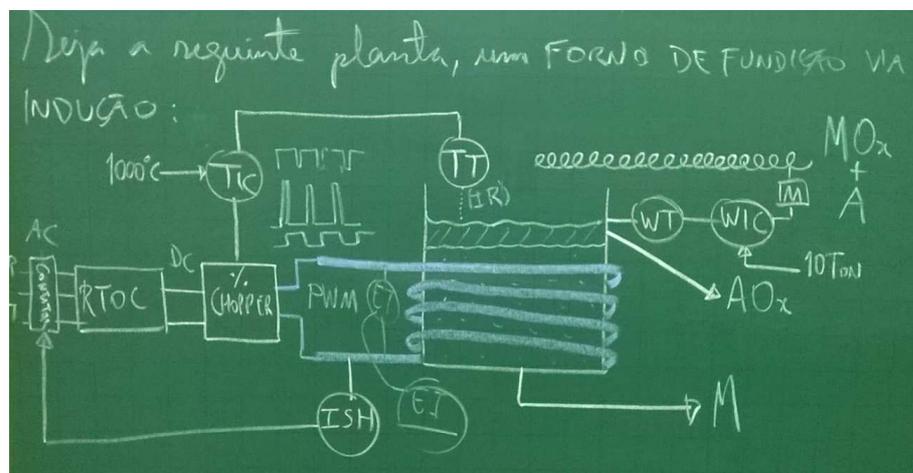


Figura B.8: Exemplo de planta industrial, forno de fundição por indução, modelável por uma indutância elétrica
 Fonte: arquivo próprio (2016)

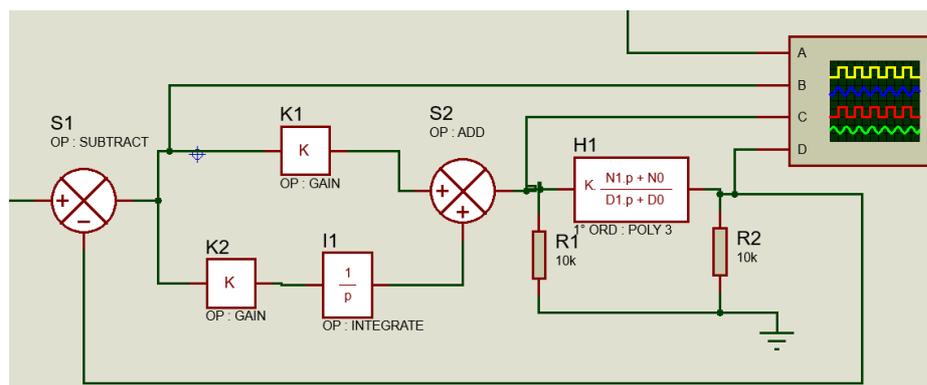


Figura B.9: Implementação da malha fechada de controle de temperatura na planta da Figura B.8
Fonte: arquivo próprio (2018)

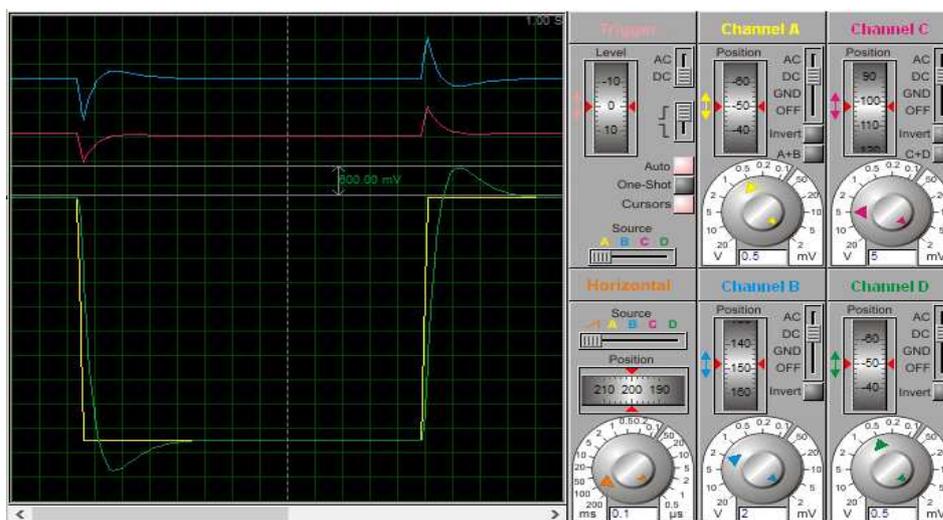


Figura B.10: Respostas da planta ao setpoint após sintonia fina do controle P-I implementado
Fonte: arquivo próprio (2018)

Caso algum pesquisador nesta área de sistemas de controle queira informações sobre como realizar simulações de função de transferências usando o Proteus, eu, o autor deste trabalho, posso fornecer um roteiro não aqui publicado por conservação de espaço. Fazer contato pelo endereço de e-mail <osgaijutis@engineer.com>.