



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

MATHEUS CARVALHO MEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TUTORIA  
INTELIGENTE E INTERATIVO BASEADA NA  
METODOLOGIA PBL APLICADO EM AMBIENTE VIRTUAL  
DE APRENDIZAGEM**

CAMPINAS

2022

MATHEUS CARVALHO MEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TUTORIA  
INTELIGENTE E INTERATIVO BASEADA NA  
METODOLOGIA PBL APLICADO EM AMBIENTE VIRTUAL  
DE APRENDIZAGEM**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Educação, na área de concentração de Educação.

ORIENTADOR: PROF. DR. SERGIO FERREIRA DO AMARAL

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À VERSÃO FINAL  
DA TESE DEFENDIDA PELO ALUNO MATHEUS  
CARVALHO MEIRA, E ORIENTADA PELO PROF. DR.  
SERGIO FERREIRA DO AMARAL

CAMPINAS

2022

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Faculdade de Educação  
Rosemary Passos - CRB 8/5751

M478d Meira, Matheus Carvalho, 1983-  
Desenvolvimento de um sistema de tutoria inteligente e interativo baseada na metodologia PBL aplicado em ambiente virtual de aprendizagem / Matheus Carvalho Meira. – Campinas, SP : [s.n.], 2022.

Orientador: Sergio Ferreira do Amaral.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação.

1. Educação. 2. Inteligência artificial. 3. Sistemas tutoriais inteligentes. 4. Aprendizagem. 5. Projetos. 6. Chatbot. 7. Linguagem de programação lógica. I. Amaral, Sergio Ferreira do, 1954--. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação. III. Título.

Informações Complementares

**Título em outro idioma:** Development of an intelligent and interactive tutorial system based on the PBL methodology applied in a virtual learning environment

**Palavras-chave em inglês:**

Education

Artificial intelligence

Intelligent tutoring systems

Learning

Projects

Chatbot

Logic programming language

**Área de concentração:** Educação

**Titulação:** Doutor em Educação

**Banca examinadora:**

Sergio Ferreira do Amaral [Orientador]

Estefano Vizconde Veraszto

Karla Isabel de Souza

Rafael Fernando Diório

Alexandre Garcia Aguado

**Data de defesa:** 09-11-2022

**Programa de Pós-Graduação:** Educação

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

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0001-9057-9324>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/6262844063982718>

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

**TESE DE DOUTORADO EM EDUCAÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TUTORIA  
INTELIGENTE E INTERATIVO BASEADA NA METODOLOGIA PBL  
APLICADO EM AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAGEM**

**MATHEUS CARVALHO MEIRA**

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Sergio Ferreira do Amaral  
Prof. Dr. Estefano Vizconde Veraszto  
Profa. Dra. Karla Isabel de Souza  
Prof. Dr. Rafael Fernando Diório  
Prof. Dr. Alexandre Garcia Aguado

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

*Dedico este trabalho aos alunos, professores e aos profissionais da área da Educação que se preocupam com a constante inovação com experiências e tecnologias para transformar e evoluir a Educação.*

## *AGRADECIMENTOS*

*A Deus,*

*À esposa Mariana e filha Isabela pelo incentivo e dedicação incondicional. Aos pais Sr. Meira e Bernadete, referências de vida. Aos irmãos e sogros pelo apoio.*

*Ao orientador Dr. Sérgio Ferreira do Amaral pela oportunidade de pesquisa, excelência na gestão do projeto, incentivo, apoio, orientações e colaboração na execução dos processos do doutorado. Pelas conversas, ensinamentos, conselhos e dedicação.*

*Ao amigo feito no LANTEC Luís Antônio Tavares, pela parceira de vida e em todos os processos do doutorado, em especial, as disciplinas compartilhadas, artigos publicados e a revisão da tese.*

*A Faculdade de Educação UNICAMP, seu corpo docente, coordenação, secretaria de pós-graduação e estrutura para pesquisa.*

*Ao LANTEC pela oportunidade em integrar a equipe de pesquisadores.*

*A UNIVESP pela oportunidade de formação didático-pedagógica em EAD.*

*Ao IFSP por disponibilizar os recursos para a dedicação integral na pesquisa.*

*“Se vi mais longe, foi por estar  
sobre ombros de gigantes.”*

***Isaac Newton***

## RESUMO

Inovações com a Inteligência Artificial - IA estão cada vez mais presentes nas nossas relações sociais. A IA é uma tecnologia chave no fortalecimento da transformação digital da educação, o que demanda uma aprendizagem adaptativa e personalizada. Ambientes digitais educacionais sem integração com as novas tecnologias, destacando a IA, podem não considerar os distintos perfis de aprendizagem entre os estudantes e podem não suportar processos relacionados às interações reativas. Sem tecnologias para adaptar os processos e condições de aprendizagem, uma plataforma representada por um Ambiente Virtual de Aprendizagem - AVA, se restringe a disponibilizar conteúdos semelhantes a todos os estudantes participantes de um mesmo processo de aprendizagem. Este trabalho apresenta um ambiente concebido no arcabouço da Inteligência Artificial na Educação para apoiar o desenvolvimento de projetos. O objetivo consiste no desenvolvimento de um Sistema de Tutoria Inteligente e Interativo baseado na metodologia PBL (*Project Based Learning*) para orientação de projetos em cursos técnicos e superiores em plataforma integrada aos Ambientes Virtuais de Aprendizagem.

A tese fundamenta-se nas abordagens dos Sistemas de Tutoria Inteligentes (ITS – *Intelligent Tutoring Systems*) associados à metodologia do PBL. O método de pesquisa compreende aspectos qualitativos de natureza aplicada com objetivos exploratórios e descritivos. Apresenta um protótipo de sistema para apoio à tutoria, estruturado nas arquiteturas dos ITS's clássicos e contemporâneos, para propiciar orientações personalizadas aos estudantes. A orientação destaca a aplicação em um escopo (case) de projeto de lógica de programação, em plataforma com interface interativa, associada ao AVA e múltiplos assistentes inteligentes (chabots) especializados integrados para apoiar cada uma das etapas do método PBL. Para determinar as tecnologias dos ITS's e chatbots, foi realizado um levantamento para identificar as tendências e caminhos da Inteligência Artificial na Educação. O resultado apresenta um sistema para apoiar o desenvolvimento de projetos em um escopo selecionado na lógica de programação, com interações conversacionais com processamento de linguagem natural e aprendizagem de máquina. Um protótipo inteligente com predicados interativos, para orientar a criação de projetos estruturados no PBL, destacando o papel ativo e de protagonismo do estudante.

**Palavras-chave:** inteligência artificial na educação; sistema de tutoria inteligente; aprendizagem baseada em projetos; chatbot; ensino de lógica de programação.

## ABSTRACT

Innovations with Artificial Intelligence - AI are increasingly present in our social relationships. AI is a key technology in strengthening the digital transformation of education, which demands adaptive and personalized learning. Educational digital environments without integration with new technologies, highlighting AI, may not consider the different learning profiles among students and may not support processes related to reactive interactions. Without technologies to adapt the learning processes and conditions, a platform represented by a Virtual Learning Environment - VLE, is restricted to providing similar content to all students participating in the same learning process. This work presents an environment conceived in the framework of Artificial Intelligence in Education to support the development of projects. The objective is to develop an Intelligent and Interactive Tutoring System based on the PBL (Project Based Learning) methodology to guide projects in technical and higher education courses on a platform integrated with Virtual Learning Environments.

The dissertation is based on the approaches of Intelligent Tutoring Systems - ITS associated with the PBL methodology. The research method comprises qualitative aspects of an applied nature with exploratory and descriptive objectives. It presents a prototype system to support tutoring, structured in the architectures of classic and contemporary ITS's, to provide personalized guidance to students. The guidance highlights the application in a programming logic project scope (case), in a platform with an interactive interface, associated with the VLE and multiple intelligent assistants (chabots) integrated specialized to support each of the steps of the PBL method. To determine the technologies of ITS's and chatbots, a survey was carried out to identify trends and paths of Artificial Intelligence in Education. The result presents a system to support the development of projects in a selected scope in programming logic, with conversational interactions with natural language processing and machine learning. An intelligent prototype with interactive predicates, to guide the creation of structured projects in PBL, highlighting the active and protagonism role of the student.

**Keywords:** artificial intelligence in education; intelligent tutoring systems; project-based learning; chatbot; programming teaching.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa mental da estrutura do trabalho.....	27
Figura 2 - Pirâmide de aprendizagem.....	29
Figura 3 - Aspectos comuns ao PBL .....	37
Figura 4 - Definições da Inteligência Artificial.....	59
Figura 5 - Arquitetura de um Sistema Especialista .....	65
Figura 6 - Fluxo de eventos CAI .....	73
Figura 7 - (a) Exibição da rede SCHOLAR; (b) Tela SCHOLAR.....	74
Figura 8 - Modelo de aprendizagem AI-CAI SOPHIE .....	75
Figura 9 - Arquitetura clássica ITS.....	81
Figura 10 - Relações e componentes da arquitetura clássica ITS.....	82
Figura 11 - Arquitetura clássica de modelagem de estudantes.....	86
Figura 12 - Arquiteturas atuais de modelagem de interações.....	87
Figura 13 - Questões de comunicação do conhecimento .....	91
Figura 14 - Arquitetura Clancey com Base de Conhecimento .....	92
Figura 15 - Número de arquiteturas de ITS encontradas por ano.....	95
Figura 16 - Componentes clássicos encontrados nas arquiteturas de ITS.....	95
Figura 17 - Arquitetura clássica estendida por Self.....	99
Figura 18 - Arquitetura multiagente I-Help.....	100
Figura 19 - ITS com diagrama de componentes UML e direção de processo.....	102
Figura 20 - Histórico Chatbots .....	105
Figura 21 - Estrutura básica da AIML.....	107
Figura 22 - Metodologia da pesquisa exploratória .....	118
Figura 23 - Etapas análise temática sobre IA na Educação.....	119
Figura 24 - Metodologia do levantamento bibliográfico dos ITS .....	120
Figura 25 – Diagrama de componentes do protótipo base da arquitetura ITS/Chatbots.....	122
Figura 26 - Protótipo Chatbots especialistas para cada Passo do PBL.....	123
Figura 27 – Métodos de interações entre estudante, AVA e ITS .....	124
Figura 28 - Design de conteúdo e seleção de recursos pedagógicos.....	126
Figura 29 - Principais profissionais responsáveis pela elaboração de um AVA.....	128
Figura 30 - Modelo de referência de apresentação de conteúdo AVA e ITS.....	129
Figura 31 - Mapeamento da intenções e entidades do Chatbot.....	131
Figura 32 - Arquitetura do PBL-Tutor .....	136

Figura 33 - Arquitetura Chatbot gerente de processos .....	138
Figura 34 - Arquitetura Chatbot especialista Passo 1 .....	138
Figura 35 - Mapa mental dos módulos dos Assistentes Inteligentes .....	143
Figura 36 - Entidade de desenvolvedor <i>brainstorm</i> .....	145
Figura 37 - Intenção <i>brainstorm</i> .....	145
Figura 38 - Código de resposta do assistente à intenção Âncora .....	146
Figura 39 - Página, <i>fulfillment</i> e resposta .....	147
Figura 40 - Fluxo do Assistente Inteligente .....	148
Figura 41 - Fluxo no console de desenvolvimento .....	149
Figura 42 - Fluxo de desenvolvimento da plataforma inteligente .....	150
Figura 43 - Plataforma Interativa PBL-Tutor .....	152
Figura 44 - Objetos de interação .....	153
Figura 45 - Estados do Assistente Inteligente .....	155
Figura 46 - Interações entre ITS e Plataforma .....	156
Figura 47 - ITS e multimídias interativas .....	157
Figura 48 - Disciplina de Lógica de Programação no AVA .....	158
Figura 49 - Tópico de estruturas condicionais no AVA .....	159
Figura 50 - Recursos e Conteúdo no AVA .....	160
Figura 51 - Tendências de estudos de IA na Educação .....	163
Figura 52 - Campo da Inteligência Artificial e da Educação .....	167
Figura 53 - Processamento de Linguagem Natural no PBL-Tutor .....	169
Figura 54 - <i>Fuzzy Matching</i> por similaridade de intenção .....	170
Figura 55 - <i>Fuzzy Matching</i> para termos inconsistentes ou incorretos .....	171
Figura 56 - <i>Fuzzy</i> combinado entre similaridade intenções, parciais e sinônimos .....	172
Figura 57 - Sistema Especialista no PBL-Tutor .....	173
Figura 58 - Aprendizagem de Máquina no PBL-Tutor .....	175
Figura 59 - Arquitetura sintetizada múltiplos Chatbots .....	178
Figura 60 - Fluxos de direcionamentos entre Chatbots Especialistas .....	179
Figura 61 - Sintetização do uso de vertentes de IA no sistema .....	180
Figura 62 - Demonstração da arquitetura modular do PBL-Tutor .....	182
Figura 63 - Principais áreas de pesquisa .....	209
Figura 64 - Principais fontes de publicações .....	209

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atividades de Introdução e Planejamento .....	45
Tabela 2 – Atividades de Coleta de Informações .....	47
Tabela 3 - Atividades de Criação e Desenvolvimento .....	49
Tabela 4 - Atividades da Segunda Fase de Pesquisa .....	50
Tabela 5 - Atividades do Desenvolvimento da Apresentação .....	51
Tabela 6 - Publicação do Projeto .....	52
Tabela 7 - Percepções de IA no ensino e na aprendizagem .....	61
Tabela 8 - Modelagem clássica do estudante .....	85
Tabela 9 - Métodos de modelagem do estudante .....	96
Tabela 10 - Principais assistentes virtuais e plataformas inteligentes .....	109
Tabela 11 - Habilidades humanas e correlações entre IA e IAED .....	113
Tabela 12 - Recursos do Sistema de Tutoria Inteligente .....	130
Tabela 13 - Principais recursos Dialogflow (ES e CX).....	141
Tabela 14 - Dez Artigos mais citados em tendências de IAED.....	164
Tabela 15 - Principais fontes de publicação .....	165
Tabela 16 - Principais funções de tutoria do PBL-Tutor.....	168
Tabela 17 - Case: Desenvolvimento de Aplicação para Descarte Solidário .....	183

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AIML	<i>Artificial Intelligence Markup Language</i>
ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
AVA	Ambiente Virtual de Aprendizagem
CAL	<i>Computer Assisted Learning</i>
CBM	<i>Constraint-Based Model</i>
CBT	<i>Computer-Based Training</i>
CHAT	<i>Conversational Hypertext Access Technology</i>
CIA	<i>Computer-Aided Instruction</i>
DIA	<i>Distributed Artificial Intelligence</i>
DOU	Diário Oficial da União
EAD	Educação a Distância
ES	<i>Expert Systems</i>
IA	Inteligência Artificial
IAED	Inteligência Artificial na Educação
ICAI	<i>Intelligence Computer-Aided Instruction</i>
IE	Instituição de Ensino
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
LANTEC	Laboratório de Inovação Tecnológica Aplicada na Educação
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
LMS	<i>Learning Management System</i>
MEC	Ministério da Educação
ML	<i>Machine Learning</i>
NLP	<i>Natural Language Processing</i>
PBL	<i>Problem Based Learning</i>
PI	<i>Programmed Instruction</i>
POC	<i>Proof of Concept</i>
SG	<i>Serious Games</i>
TDIC	Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação
TDS	<i>Tutorial Dialogue Systems</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>

# SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APRESENTAÇÃO.....	18
1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Hipótese da pesquisa .....	23
1.2 Objetivos.....	24
1.2.1 Objetivo Geral .....	24
1.2.2 Objetivos Específicos .....	24
1.3 Motivações e Justificativas.....	25
1.4 Estrutura do Trabalho .....	27
2 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS .....	29
2.2 Introdução e Definições do PBL .....	30
2.2.1 PBL do Ponto de Vista dos Estudantes .....	32
2.2.2 PBL do ponto de Vista dos Professores e Tutores .....	35
2.3 Desenvolver um Projeto PBL.....	36
2.3.1 Aspectos que Definem um PBL .....	37
2.3.2 Passos ou Etapas do PBL .....	44
2.4 PBL e Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação.....	53
2.5 Trabalhos Correlatos com PBL e Plataformas Interativas.....	54
2.6 Considerações ao PBL.....	55
3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO .....	56
3.2 Tecnologias Educacionais e a IA para o Ensino de Programação.....	56
3.3 Introdução aos Conceitos de IA na Educação .....	58
3.4 Inteligência Artificial e a Educação 4.0.....	60
3.5 Algumas Vertentes de Pesquisas da IA na Educação.....	62
3.5.1 Processamento de Linguagem Natural .....	62
3.5.2 Aprendizado de Máquina.....	64
3.5.3 Sistemas Especialistas .....	64
3.5.4 Aprendizagem Adaptativa ou Personalizada.....	66

4	SISTEMAS DE TUTORIA INTELIGENTES E CHATBOTS .....	68
4.1	Introdução e Definições dos Sistemas de Tutoria Inteligentes.....	69
4.2	Histórico dos Sistemas de Tutoria Inteligentes .....	70
4.2.1	Precursos dos Sistemas de Tutoria Inteligentes.....	71
4.3	Concepção dos Sistemas de Tutoria Inteligentes .....	78
4.4	Arquitetura de um Sistemas de Tutoria Inteligente.....	80
4.4.1	Arquitetura Clássica dos Sistemas de Tutoria Inteligente.....	81
4.4.2	Comunicação do Conhecimento na Visão da Arquitetura de Wenger .....	91
4.4.3	Arquitetura de Clancey com Modelo de Base de Conhecimento.....	92
4.4.4	Novas Arquiteturas dos Sistemas de Tutoria Inteligentes.....	94
4.5	Sistema Chatbot de Tutoria Inteligente .....	103
4.5.1	Chatbots Inteligentes para Orientação na Resolução de Problemas.....	104
4.5.2	Chatbots em Contexto Específico de IA na Educação .....	110
4.6	Trabalhos Correlatos com ITS's e PBL.....	112
5	METODOLOGIA.....	114
5.1	Modalidade de Aprendizagem <i>Online</i> .....	115
5.2	Pesquisa de Demandas na Aprendizagem <i>Online</i> .....	116
5.3	Método de Levantamento de Tendências de IA na Educação.....	117
5.4	Estudo Exploratório dos Sistemas de Tutoria Inteligentes.....	119
5.5	Metodologia de Desenvolvimento do Sistema .....	121
5.5.1	Métodos de Interações entre Sistemas e Estudantes.....	123
5.5.2	Case para o <i>Design</i> de Conteúdo do Projeto .....	125
5.5.3	Modelo de Referência de Interface de Apresentação .....	127
5.5.4	Tecnologias para Desenvolver o Sistema de Tutoria Inteligente .....	129
5.6	Pesquisa dos Recursos dos Sistemas de Tutoria Inteligentes.....	130
5.7	Modelagem do ITS Interativo Integrado ao AVA.....	131
5.8	Síntese do Percuro Metodológico .....	132
6	DESENVOLVIMENTO E APRESENTAÇÃO DO ITS.....	133
6.1	Arquiteturas .....	133
6.1.1	Arquitetura do Sistema de Tutoria Inteligente .....	133
6.1.2	Arquitetura dos Assistentes Inteligentes (Chatbots).....	137
6.2	Desenvolvimento .....	140
6.2.1	Plataforma de Desenvolvimento.....	141
6.2.2	Desenvolvimento dos Assistentes Inteligentes (Chatbots).....	142

6.2.3	Fluxo do Assistente e do Desenvolvimento da Plataforma Inteligente .....	148
6.3	Apresentação .....	151
6.3.1	Plataforma Interativa .....	151
6.3.2	Sistema de Tutoria Inteligente .....	154
6.3.3	Integração ITS Interativo e AVA .....	158
7	DISCUSSÃO E RESULTADOS .....	161
7.1	Tendências da Inteligência Artificial na Educação .....	161
7.1.1	Considerações para IAED e Levantamento .....	162
7.1.2	Resultados do Levantamento de Tendências da IAED .....	162
7.1.3	Considerações no Levantamento de Tendências em IAED .....	165
7.2	Relações entre Protótipo ITS com PBL e a Educação.....	166
7.3	PBL-Tutor com as Vertentes de IA na Educação.....	168
7.3.1	Interações com a Língua Natural.....	169
7.3.2	Referências das Intenções com o <i>Fuzzy Matching</i> .....	170
7.3.3	Sistemas Especialistas e o Conhecimento de Domínio .....	172
7.3.4	Reconhecimento de Padrões e Aprendizagem de Intenções .....	174
7.4	Inovações de Sistema e Gestão do Diálogo Conversacional.....	176
7.4.1	Ensino Adaptativo e Personalizado em Percurso Conversacional .....	176
7.4.2	Múltiplos Chatbots para Gestão do Diálogo Conversacional.....	177
7.4.3	Arquitetura Modular para Novos Projetos e a Interdisciplinaridade.....	181
7.5	Case de Projeto no PBL-Tutor.....	182
7.6	Em Relação aos Benefícios Associados ao PBL .....	184
7.7	Em Relação aos Obstáculos Associados ao PBL .....	186
7.8	Em Relação aos Benefícios do ITS Interativo com o PBL.....	187
7.8.1	Diferenciais em Relação aos Trabalhos Correlatos .....	187
7.8.2	Assistentes Especializados e Orientações Personalizadas.....	188
7.8.3	Capacidade de Atendimento e Disponibilidade de <i>Feedbacks</i> .....	190
7.8.4	Interface e Interatividade na Plataforma.....	191
7.8.5	Vantagens Tecnológicas das Integrações .....	192
8	CONCLUSÃO.....	193
8.1	Trabalhos Futuros .....	196
8.1.1	Interfaces para Publicação de novos Projetos e Disciplinas.....	196
8.1.2	Estudo de Campo para Avaliação do Uso do Sistema.....	197

9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	199
	APÊNDICES .....	209
I	Apêndice - Artigos <a href="https://pbltutor.com/apendice-1">https://pbltutor.com/apendice-1</a> .....	209
II	Apêndice - Principais Áreas de Pesquisa .....	209
III	Apêndice - Principais Fontes de Publicações .....	209
	ANEXOS .....	210
I	Anexo – Plano de Ensino Lógica de Programação .....	210
II	Anexo – Plano de Ensino Programação de Computadores .....	211

## APRESENTAÇÃO

Meus pais dedicaram a vida ao serviço público, na Universidade Federal de Alfenas. Sempre estiveram presentes para incentivar minha vida acadêmica. Tive o privilégio de me graduar em Ciência da Computação no ano de 2004. Com a formação, trabalhei na iniciativa privada no suporte de sistemas, programação, analista e gestão de projetos de TI. Em 2007, abri uma empresa de consultoria de sistemas e tive a primeira oportunidade como professor e coordenador de curso em uma faculdade particular. Conciliei as atividades até 2010, quando fui aprovado em concurso público como professor efetivo do Instituto Federal São Paulo (IFSP), na área da computação. A atuação como professor estreitou o vínculo com a educação e incentivou a continuidade da carreira acadêmica.

Concluí o Mestrado em Tecnologia na área de Tecnologia e Inovação na Faculdade de Tecnologia da UNICAMP em 2016. Grato ao Dr. Marcos A. F. Borges pela oportunidade de atuar como pesquisador no Laboratório de Informática, Aprendizagem e Gestão (LIAG), para incentivar o uso da informática no ensino, para melhorar os processos de aprendizagem. No LIAG, tive a chance de explorar os conceitos do construtivismo e construcionismo, idealizados por Jean Piaget e Seymour Papert. No mestrado, desenvolvi o projeto com as metodologias de Aprendizagem Baseada em Jogos Digitais e Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) para estimular a aprendizagem em disciplinas de Lógica de Programação.

Acreditando que essas abordagens são interessantes para inspirar jovens na busca pelo conhecimento, em 2019 despertou em mim o interesse pelo doutorado na Faculdade de Educação da UNICAMP, como uma forma de dar sequência aos temas desenvolvidos no mestrado. Diante disso, a linha de pesquisa do Dr. Sérgio Ferreira do Amaral nas tecnologias educacionais pareceu um caminho natural. A sinergia das pesquisas, a liberdade de trabalho e os processos de inovações do laboratório LANTEC foram singulares para a definição do doutorado. Novamente, o fio condutor da Aprendizagem Baseada em Projetos no ensino de Lógica de Programação se fez presente em associação às inovações do laboratório na linha de pesquisa da Inteligência Artificial na Educação. Tenho orgulho por participar do LANTEC na investigação a respeito de tecnologias interativas com os Sistemas de Tutoria Inteligentes. Agradeço ao Dr. Sérgio pelo apoio na formatação e concepção do projeto para desenvolver um sistema de tutoria inteligente com base no PBL.

# 1 INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial tem suas concepções fundadas há algumas décadas, contudo, apenas nos últimos anos, vem conquistando a maturidade desejável de modo a permitir grandes mudanças de paradigmas na sociedade contemporânea (OLIVEIRA, 2019). A atual e exponencial evolução dos recursos tecnológicos permitem contribuições da Inteligência Artificial em novas abordagens, como representar habilidades relacionadas ao raciocínio e conhecimento de especialistas orientadas à educação (ROLL; WYLIE, 2016; SELDON; ADIBOYE, 2018; VICARI, 2017).

O presente trabalho atua na investigação das possibilidades da Inteligência Artificial na Educação, evidenciando os Sistemas de Tutoria Inteligentes. O objetivo centra-se na proposição de sistema e metodologia para diversificar as práticas pedagógicas no ensino técnico e superior, em um case elegível na área da computação. O case delimita o projeto e conteúdo para a disciplina de lógica de programação, contudo apresenta um ambiente de concepção e desenvolvimento de sistema para ser suportado em distintas áreas do conhecimento.

A oferta de cursos relacionados à computação, destacando os superiores na Educação a Distância (EAD), modalidade de aprendizagem *online*, vem seguindo tendências de aumento no Brasil (ABED, 2019; INEP, 2019). Em 2019, o Diário Oficial da União (DOU) publicou uma portaria que “estabelece a introdução de até 40% de carga horária à distância (EAD) em cursos de graduação presenciais” (DOU, 2019). Nesse sentido, deve haver pesquisas e estudos que permitam desenvolver e apresentar soluções para apoiar o ensino e aprendizagem voltados para os cursos técnicos e de graduação a distância na computação.

A lógica de programação é um componente curricular presente nas matrizes dos projetos pedagógicos dos cursos superiores de tecnologia em computação e bacharelado / licenciatura em computação, resoluções CNE/CP nº 3 e CNE/CSE nº 5, respectivamente (BRASIL, 2002, 2016), sendo tipicamente ministrado nos anos introdutórios (GARCIA; CORREIA; SHIMABUKURO, 2008). A resolução das diretrizes curriculares nacionais para a educação profissional de nível técnico (CNE/CEB nº 04/99) institui a lógica de programação como competência geral do técnico da área de informática (BRASIL, 1999).

A lógica de programação se apresenta como componente chave para compreensão dos programas de computadores desde a aplicação da tecnologia até o apoio na aprendizagem de outras abordagens curriculares ao longo do curso. A programação<sup>1</sup> vem conquistando o interesse dos jovens, cercados por aparatos tecnológicos a cada instante mais presentes em suas vidas. A programação permite despertar características como a criatividade das pessoas que a estudam. Os estudantes das disciplinas que envolvem a programação, em muitos casos, têm a pretensão de compreender a lógica empregada nas aplicações atuais para desenvolver seus próprios projetos (CHAVES, 1998; VALENTE, 1999). Disciplinas técnicas, como a lógica de programação, apresentam ambientes propícios para criar projetos (MOURSUND, 1999).

O ensino de programação, com destaque para os anos introdutórios dos cursos superiores, tem sido considerado um desafio por educadores há várias décadas. Estudos atribuem esse desafio ao elevado nível de abstração necessário para compreensão dos conceitos (SCHEZ-SOBRINO et al., 2020; SILVA, 2016). “Devido à complexidade no processo de ensino e aprendizagem da disciplina de lógica de programação, é extremamente necessário o uso de ferramentas alternativas que auxiliem o professor e aluno na realização e acompanhamento de tarefas” (GREGÓRIO, 2018, p. 2). Atualmente, as novas tecnologias educacionais têm potencial de atuar no processo de ensino, visando ao apoio nas orientações das atividades ou projetos de domínio e a estabelecer personalizações desse ensino, analisando, por exemplo, o conhecimento prévio do estudante (GREGÓRIO, 2018; SCHEZ-SOBRINO et al., 2020).

Nos cursos técnicos e superiores ofertados na EAD, a lógica de programação é trabalhada nos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA's). Em geral, os AVA's são estruturados simplesmente como plataforma de repositório e disponibilização de conteúdo. As implementações de AVA's, em muitos casos, utilizam “estratégias como sites e repositórios de conteúdo, que ignoram a necessidade de estratégias com atividades que incluem espaços de crítica ou reflexão” (MACIEL, 2013, p. 25). Sua função se restringe a disponibilizar conteúdo semelhante a todos estudantes de uma mesma disciplina. Nesse ambiente, não se apresentam

---

<sup>1</sup> Conteúdos de programação em si não caracterizam apenas assuntos exclusivos das disciplinas específicas de lógica ou linguagem de programação (GARCIA; CORREIA; SHIMABUKURO, 2008).

características de um ensino adaptativo, que considere diferentes perfis de aprendizagem, para distintas orientações ao longo do processo de estudo (RISSOLI; GIRAFFA; MARTINS, 2006).

Dentre outros elementos considerados obstáculos no processo de aprendizagem, figuram os atrasos no *feedback* e o fato de professores ou tutores nem sempre estarem disponíveis quando estudantes os procuram em virtude de alguma necessidade. Nas práticas pedagógicas de projetos em lógica de programação, atrasos no *feedback* podem influenciar aspectos como diminuição da motivação dos estudantes (COMAN et al., 2020).

Ao se associar a complexidade da disciplina e atrasos no *feedback* a uma plataforma estática (de repositório de conteúdo), apresentam-se poucas possibilidades para o fomento de práticas pedagógicas com projetos dinâmicos na EAD. A plataforma, quando não integrada a abordagens contemporâneas que envolvam os evidenciados recursos de orientação e tutoria disponíveis na área de Inteligência Artificial na Educação, poderá não prover processos que ofereçam interações reativas junto aos estudantes ou professores.

O trabalho em contexto destaca a Inteligência Artificial (IA) para propor novos métodos e estratégias relacionados a projetos e apoiar os estudantes em um escopo de lógica de programação. Os projetos contemplam as metodologias que relacionam a construção do conhecimento à investigação, como Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL - *Project Based Learning*). O PBL evidencia o protagonismo dos estudantes durante o processo da aquisição do conhecimento (BENDER, 2014). O ambiente proposto mostra-se não mais estático (de repositório), mas privilegiando ações dinâmicas, com ferramentas que ofereçam apoio a partir da IA dos Sistemas de Tutoria Inteligentes (ITS - *Intelligent Tutoring Systems*). Nessa conjunção, apresenta-se a questão orientadora do presente trabalho: é possível desenvolver um sistema de tutoria interativa, mediada por Inteligência Artificial e utilizando-se da metodologia PBL, aplicado em Ambiente Virtual de Aprendizagem?

Para a questão, são apresentadas as tecnologias com habilidades de domínio especialista, existentes na área de Inteligência Artificial Aplicada na Educação (IAED - *Artificial Intelligence in Education*), destacando os ITS's com base nos chatbots inteligentes. O conceito do ITS designa programas com propósitos educacionais, para apoio às atividades de ensino e aprendizagem. Relaciona as interações inteligentes e singulares às necessidades dos estudantes que ocorrem ao longo de um percurso de aprendizagem. ITS's têm funções inerentes ao

processo tutorial como: apresentar informações que devem ser aprendidas; realizar perguntas; atribuir tarefas ou mesmo fornecer *feedback* para determinar mudanças cognitivas e motivacionais ao estudante (PALADINES; RAMIREZ, 2020; SLEEMAN; BROWN., 1982).

Um chatbot consiste em um “*software* usado para simular interações com humanos por meio de texto ou voz” (IBM, 2021). Em muitas plataformas inteligentes, como o IBM Watson *Assistant*, os chatbots se misturam com os chamados assistentes virtuais. A tecnologia dos novos chatbots, chamados de inteligentes (*Intelligent Tutoring Chatbot System*), se misturam, também, com os limites dos ITS’s. Enquanto os novos chatbots inteligentes podem apresentar as características de sistemas especialistas e aprendizado de máquina (conceitos da IA frequentemente encontrados nos ITS’s), os ITS’s contemporâneos, de modo geral, detêm as características para o processamento de linguagem natural (conceitos da IA frequentemente encontrados nos chatbots). Portanto, a inclusão dos paradigmas, como os sistemas especialistas ou aprendizagem de máquina, propiciam o desenvolvimento de chatbots inteligentes para apoiar a orientação de diversos problemas de domínios gerais ou específicos, como a lógica de programação (ASHFAQUE et al., 2020; PATEL et al., 2019b; ROSA, 2011).

Os ITS’s conquistam atenção ao expor importantes concepções para desenvolver alternativas aos modelos de plataformas tradicionalmente implementados, como AVA estático com baixa interatividade. Com designações associadas entre os sistemas inteligentes de ensino, bem como às novas tecnologias aplicadas na educação, determinações com o envolvimento dos ITS’s conquistam, a cada instante, mais destaque nas bibliotecas que compõem as aplicações e recursos com o objetivo de aprimorar o ensino e aprendizagem (CHEN; ZHANG, 2019). Desse modo, paradigmas que circundam o processo de ensino e aprendizagem com base nos sistemas ITS’s podem dialogar e serem construídos a partir do relacionamento e desenvolvimento de abordagens metodológicas como a Aprendizagem Baseada em Projetos (*PBL - Project Based Learning*).

Estudos recentes do PBL defendem a ampla utilização da tecnologia no apoio para determinar as práticas com projetos (BARELL, 2010; BENDER, 2014). O PBL se apresenta como uma metodologia de ensino ativa com projetos centrados no estudante. Seguindo as características das metodologias ativas, privilegia a atuação de estudantes como sujeitos participantes do processo de ensino e aprendizagem e fundamenta-se na pedagogia e nas

interações, posicionando-os na participação de concepções críticas e reflexivas (BUCK INSTITUTE, 2008). Dessa forma, caracteriza-se por permitir o desenvolvimento de competências técnicas, como a lógica de programação (NOORDIN, 2011).

No PBL, “os estudantes confrontam as questões e os problemas do mundo real que consideram significativos, determinando como abordá-los e, então agindo cooperativamente em busca de soluções” (BENDER, 2014, p. 9). No PBL, o estudante trabalha nos projetos em contexto de seleção, investigação ou criação de um produto, apresentação ou desempenho que corresponde a uma pergunta do mundo real ou desafio de domínio específico. O professor tem o papel de orientação para aprofundar a compreensão e o raciocínio para estabelecer estratégias à medida que o processo de desenvolvimento do projeto evolui (HOLM, 2011).

Trabalhos correlatos foram considerados com descritores para: (1) as plataformas interativas com PBL e; (2) a IA dos sistemas de tutoria inteligentes com PBL. A correlação apresentou pesquisas com propostas de modelos conceituais e desenvolvimento de arquiteturas de plataformas PBL sem entrar na IA (CHIKURTEVA; CHIKURTEV, 2020; CHIKURTEVA; SPASOVA; BOGDANOV, 2021). O trabalho de Beaumont, Norton e Tawfik (2011) apresenta um ITS para a metodologia baseada em problemas (não projetos) com ausência de plataforma interativa integrada aos AVA's. O presente trabalho se posiciona na lacuna detectada para associar a IA na Educação mediada por projetos PBL em plataformas com interatividade.

## **1.1 Hipótese da pesquisa**

A hipótese do trabalho centra-se na diversificação para desenvolver e apoiar estratégias baseada em Inteligência Artificial aplicada em ambientes virtuais de aprendizagem. Sistemas Tutores Inteligentes tem potencial para desenvolver e aplicar variadas estratégias de nivelamento a partir de consultas nas bases de domínio e de conhecimento dos estudantes (CLANCEY, 1987; LUGER, 2009; PATEL et al., 2019b; SMITH et al., 2006). A Aprendizagem Baseada em Projetos tornam as atividades acadêmicas dinâmicas, com estudantes mais engajados em papéis ativos no seu aprendizado (BENDER, 2014; BUCK INSTITUTE, 2021).

Desenvolver e apresentar novas Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação para viabilizar instrumentos e processos significativos no incremento de pesquisas, interações e manipulação de informações em contextos educacionais. O resultado desse desenvolvimento simboliza novos contextos na evolução do ensino e aprendizagem, destacando a IA na Educação, sob a forma de recursos e soluções. Corroborar iniciativas e pesquisas de tecnologias educacionais que estão sendo cada vez mais utilizadas e “implementadas na educação semipresencial e a distância, estendendo-se sutilmente no apoio ao ensino presencial” (RISSOLI; GIRAFFA; MARTINS, 2006, p. 37).

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Desenvolvimento de um Sistema de Tutoria Inteligente e Interativo baseado na metodologia PBL para orientação de projetos em cursos técnicos e superiores em plataforma integrada aos ambientes virtuais de aprendizagem.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Pesquisar demandas no AVA e disciplinas de lógica de programação, no ensino técnico e superior, para padronização do ambiente e seleção de materiais pedagógicos que possam comportar ou originar o case de projeto pedagógico na metodologia do PBL;
- Levantar tendências e evidências dos caminhos da Inteligência Artificial na Educação;
- Desenvolver estudo exploratório dos Sistemas de Tutoria Inteligentes;
- Propor o uso de Sistemas de Tutoria Inteligentes associados à metodologia PBL como apoio na orientação do desenvolvimento de um case de projeto.
- Apresentar um protótipo de implementação para o Sistema de Tutoria Inteligente e Interativo com chatbots, denominado PBL-Tutor;

- Modelar a plataforma interativa com AVA para interações com o ITS e chatbots a partir da metodologia do PBL como prova de conceitos para as proposições.

### 1.3 Motivações e Justificativas

O ensino superior no Brasil, com destaque à Educação a Distância (EAD), modalidade de aprendizagem *online*, apresenta, atualmente, amplas tendências de crescimento. Em 2019, representou aumento de 63,2% do total de vagas ofertadas nessa modalidade, conforme os dados do censo nacional da educação superior divulgados pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) e Ministério da Educação (MEC). No período de uma década, entre 2009 e 2019, o aumento representou 378,9%, considerando as matrículas dos estudantes nos cursos de graduação à distância. Esses números seguem fortes tendências de crescimento quando se tratam de graduações que envolvem as tecnologias relacionadas à computação, desde os cursos de tecnologias às engenharias (ABED, 2019; INEP, 2019).

Posteriormente aos estudos das tendências de crescimento da EAD (modalidade da aprendizagem *online*) divulgados pelo Inep e MEC, foi publicada, em 11 de dezembro de 2019, a Portaria número 2.117 no Diário Oficial da União (DOU). A Portaria “dispõe sobre a oferta de carga horária na modalidade de Ensino a Distância (EAD) em cursos de graduação presenciais ofertados por Instituições de Educação Superior (IES) pertencentes ao Sistema Federal de Ensino”. Em parágrafo único, não se aplicando aos cursos de medicina, o seguinte artigo (Art. 2º): “As IES poderão introduzir a oferta de carga horária na modalidade de EAD na organização pedagógica e curricular de seus cursos de graduação presenciais, até o limite de 40% da carga horária total do curso.” (DOU, 2019).

Nesta conjuntura de expansão da EAD, existem oportunidades para o desenvolvimento de novos estudos e proposições de soluções para diversificações metodológicas no enriquecimento das pesquisas que orientam o processo de ensino e aprendizagem. A diversificação consiste em proposições de novas propriedades às plataformas de EAD, representadas nos AVA’s, na modalidade *online*, com a apresentação de ferramentas dinâmicas, com base nos Sistemas de Tutoria Inteligentes, que propiciem ao ambiente deixar de atuar em uma posição estática (de repositório) para desenvolver interações a qualquer instante com os

estudantes, em conjunto com a metodologia do PBL para desenvolver a aprendizagem de modo reflexivo e com estratégias para promover interações nos projetos. Nesse contexto, utilizar-se do desafio do projeto, como motivação, para que o estudante exerça seu protagonismo na construção dos conhecimentos, apresentando, também, diversificações que explorem as oportunidades práticas e pedagógicas em disciplinas de domínio específico, como a lógica de programação, para desenvolver as interações com vertentes da Inteligência Artificial.

Dada a complexidade no processo de ensino de lógica de programação, principalmente nos primeiros anos dos cursos superiores da computação, abre-se espaço para demandas de proposição e diversificação das ferramentas e metodologias para apoio no ensino. As tecnologias educacionais estão em constantes mudanças e faz-se necessário, principalmente aproveitando os recursos da Inteligência Artificial na Educação, que novas pesquisas possam apresentar soluções para apoiar as atividades, projetos e estabelecer personalizações ao ensino da programação (GREGÓRIO, 2018; SCHEZ-SOBRINO et al., 2020).

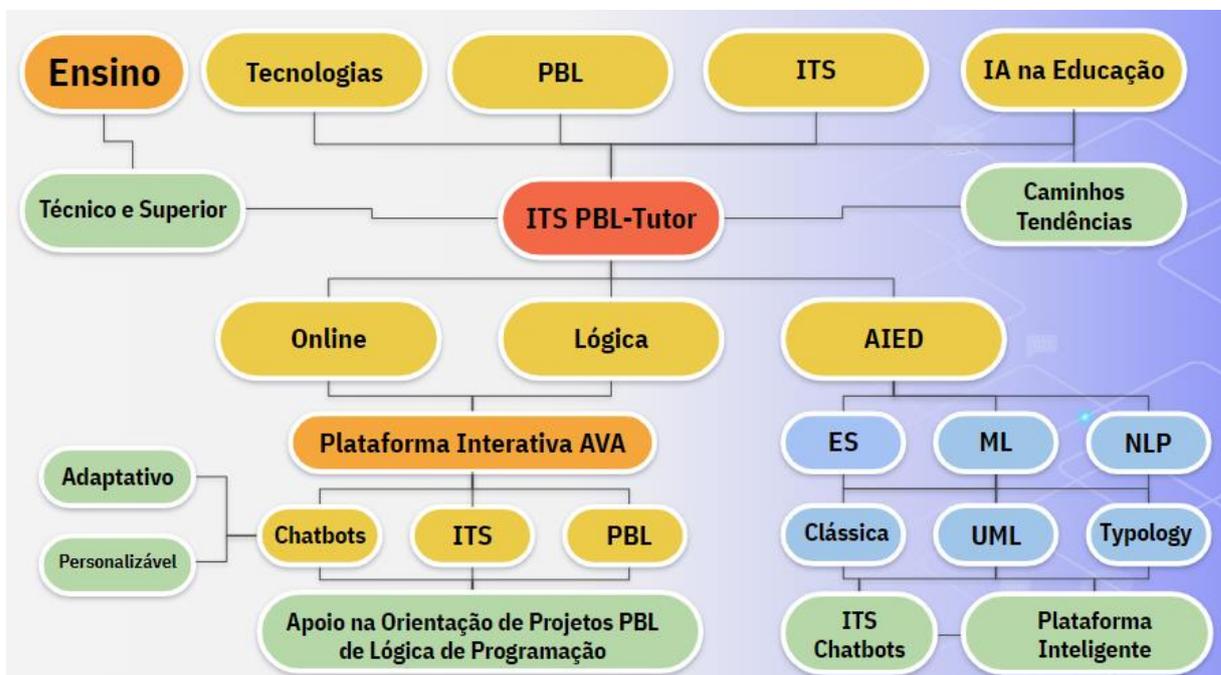
Alinhar o objetivo do trabalho aos novos desafios da Educação 4.0. A Educação 4.0 requer o compromisso das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação nos processos de ensino e aprendizagem. O nome Educação 4.0 faz referência às respostas educacionais às necessidades da Indústria 4.0 ou quarta Revolução Industrial, abarcando diversas fontes tecnológicas como: “Inteligência Artificial”; “Internet das Coisas”; “Pensamento Computacional”; “Robôs”; dentre outros. Estudos apontam que a “Educação 4.0 vêm sendo fortalecida cada vez mais por métodos de Inteligência Artificial. Indicam demandas cada vez maiores por uma educação adaptativa e personalizada” (CIOLACU et al., 2019, p. 23).

Uma produção científica significativa relaciona Inteligência Artificial e Educação, com presença nos sistemas educacionais que, conseqüentemente, podem acarretar grande impacto nos processos de ensino e aprendizagem a curto e médio prazo (TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020; VICARI, 2017). “É fundamental que a educação esteja aberta e atenta aos avanços da Inteligência Artificial buscando diagnosticar antecipadamente os novos desafios e possibilidades que ela traz e podendo atuar sobre eles” (MENEZES et al., 2017, p. 9). As aplicações da Inteligência artificial na educação apresentam muitas oportunidades (TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020).

## 1.4 Estrutura do Trabalho

A Figura 1 apresenta um mapa mental da estrutura da tese. No centro da figura, em destaque, observa-se o Sistema de Tutoria Inteligente (ITS PBL-Tutor). O mapa apresenta, na parte superior, os referenciais e o levantamento bibliográfico. Na parte inferior esquerda, apresenta o ambiente do protótipo (ITS, PBL, plataforma interativa e AVA). Na parte inferior direita, ilustra as arquiteturas do ITS com as vertentes da Inteligência Artificial na Educação: Sistemas Especialistas (ES - *Expert Systems*), o Aprendizado de Máquina (ML - *Machine Learning*) e Processamento de Linguagem Natural (NLP - *Natural Language Processing*).

Figura 1 - Mapa mental da estrutura do trabalho



Fonte: elaborado pelo autor

Com base na Figura 1, a organização do trabalho segue a estrutura:

- O capítulo 2 consiste no referencial teórico da metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos;
- O capítulo 3 apresenta a Inteligência Artificial na Educação;

- O capítulo 4 apresenta os Sistemas de Tutoria Inteligentes (ITS's), evidencia as arquiteturas e destaca o estado da arte e as publicações científicas contemporâneas proeminentemente referenciadas na IAED, para compor o arcabouço do trabalho para o desenvolvimento do protótipo de ITS;
- O capítulo 5 exhibe o percurso metodológico do trabalho para um estudo exploratório qualitativo aplicado e os distintos estágios da pesquisa;
- O capítulo 6 caracteriza a concepção da arquitetura, os processos de desenvolvimento e apresentação o protótipo do Sistema de Tutoria Inteligente, denominado PBL-Tutor;
- O capítulo 7 apresenta e discute os resultados das vertentes implementadas no sistema de IA na Educação, especifica as inovações do sistema, mostra o case de projeto, relaciona os benefícios e obstáculos do PBL e ITS, trazendo o resultado do levantamento do estudo de tendências e caminhos da IA na Educação;
- O capítulo 8 apresenta a conclusão e as propostas de trabalhos futuros.

## 2 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS

O Buck Institute for Education (BIE) indica que a Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL – *Project Based Learning*) possui as características para envolver os estudantes em uma aprendizagem profunda (*Deep Learning*), estabelecendo melhor compreensão e retenção de conhecimento do conteúdo. Permite desenvolver habilidades articuladas com conhecimento prévio, para aplicar em novas situações para criação de projetos (BUCK INSTITUTE, 2021).

A aprendizagem profunda caracteriza-se como uma abordagem que implica a aquisição da compreensão não apenas superficial de conteúdos propostos nos desafios dos currículos das disciplinas. A Figura 2 apresenta a pirâmide proposta por Dale (1969), com as características das aprendizagens superficiais e profundas. Aulas com base em contextos exclusivamente expositivos ou leituras de conteúdos são capazes de promover uma aprendizagem superficial, relacionados aos níveis mais baixos de aprendizado, inserindo o estudante em um contexto passivo (DALE, 1969). A adoção apenas de uma abordagem superficial à aprendizagem pode ser considerada inadequada em disciplinas que permitem a abordagem de assuntos práticos (JENKINS, 1998).

Figura 2 - Pirâmide de aprendizagem



Fonte: adaptado Dale (1969)

“Escolas de todo o mundo enfrentam desafios para desenvolver modelos de ensino mais eficazes [...], muitos defensores da educação têm recomendado o PBL como abordagem de ensino eficaz, que resulta em altos níveis de envolvimento e desempenho dos alunos” (BENDER, 2014, p. 9). A metodologia do PBL vem se destacando em um contexto de uma educação mais eficaz, principalmente nos últimos anos. Muitos educadores apontam para transformações significativas no processo de ensino e aprendizagem, motivadas por tecnologias em constante evolução, gerando novas demandas ou mesmo mudanças na educação. Nesse contexto, o PBL parece estar bem posicionado como importante modelo que apresenta abordagens inovadoras de ensino (BENDER, 2014; WALLER, 2011).

## **2.2 Introdução e Definições do PBL**

O PBL consiste em uma abordagem educacional que insere os estudantes no centro do processo de aprendizagem e reconhece a variação entre os distintos estilos de aprendizagem (GRANT, 2002). A natureza do PBL trabalha na exploração de novas áreas, em investigar as questões científicas e integrar conhecimentos com a capacidade de incluir distintas disciplinas e áreas do conhecimento. O professor desempenha o papel de facilitador, de forma a instigar os estudantes a formular questões pertinentes ao projeto, com funções relacionadas em trabalhos como a estruturação de atividades significativas (LARMER; ROSS; MERGENDOLLER, 2009).

No papel de uma aprendizagem ativa, o PBL transfere a responsabilidade da aprendizagem do professor para o estudante (PAPERT, 1972). O enfoque do papel ativo do estudante na exploração de questões, como sujeito na construção da aprendizagem, permite relacionar a Aprendizagem Baseada em Projetos em perspectiva a uma das teorias mais influentes na área da educação, o construtivismo Piagetiano (MOURSUND, 1999). Para compreender essa relação, destaca-se a concepção da fundamentação teórica da Aprendizagem Baseada em Projetos, retomando o pensamento apresentado no início do século XX, quando John Dewey já defendia o “*learning by doing*”. O mesmo pressuposto se reflete, também, no construtivismo (GRANT, 2002).

Em contexto, cada estudante traz um conjunto único de conhecimentos, habilidades e experiências para cada nova situação de aprendizagem. Portanto, o construtivismo se adere a contextos em que os estudantes estejam ativamente engajados em “fazer”, ao invés de passivamente receber conhecimento (BARELL, 2010; MOURSUND, 1999). “O PBL pode ser visto como uma abordagem para criar estes ambientes de aprendizagem, nos quais os estudantes constroem o conhecimento pessoal” (MOURSUND, 1999, p. 35).

Um dos objetivos principais da metodologia do PBL consiste em criar um ambiente propício para que os estudantes aprendam por intermédio da resolução de um desafio, de modo colaborativo, com a determinação de grupos colaborativos para investigação dos desafios propostos em projetos significativos. Os estudantes representam as vozes ativas durante o desenvolvimento dos projetos e professores ou tutores atuam como orientadores no processo, estimulando os estudantes a assumirem responsabilidades em relação à aprendizagem (BENDER, 2014; LARMER; ROSS; MERGENDOLLER, 2009; MOURSUND, 1999).

“O PBL consiste em um formato de ensino empolgante e inovador, no qual os alunos selecionam muitos aspectos de sua tarefa e são motivados por problemas do mundo real que podem, e em muitos casos irão contribuir para a comunidade” (BENDER, 2014, p. 15). “PBL pode ser definido pelo uso de projetos autênticos e realistas, baseados em uma questão, tarefa ou problema altamente motivador e envolvente, para ensinar conteúdos acadêmicos aos alunos em contexto de trabalho cooperativo para solução de problemas” (BARELL, 2010, p. 175).

Autores como Barell (2010) e Moursund (1999) argumentam que o PBL pode aumentar a motivação e promover o engajamento cognitivo. Os autores salientam que estudantes motivados e cognitivamente engajados têm maiores chances de recordar as experiências vivenciadas em um ambiente estruturado no PBL, em comparação ao aprendizado por meio de instruções didáticas ou, mesmo, na realização de projetos que não consideram motivadores e cognitivamente envolventes.

Estruturar ambientes motivadores e cognitivamente envolventes para proporcionar a Aprendizagem Baseada em Projetos não representa uma atribuição fácil. A probabilidade de sucesso deve considerar diversos fatores, dentre os primordiais decorrem: a determinação de projetos com temáticas apropriadamente significativas ao contexto; delimitação de métodos adequados para designar a investigação e avaliação; seleção das lições e atividades que

constituem o processo de desenvolvimento (MOURSUND, 1999). No lugar de um plano de aula rígido, que direciona o aluno para um caminho específico de resultados ou objetivos de aprendizagem, o PBL permite uma investigação aprofundada de temáticas estabelecidas e orientadas sob a forma de desafios (GRANT, 2002; MOURSUND, 1999).

Grande parte das atividades que compõem o PBL demandam estudantes engajados em trabalhos colaborativos. As ações para o desenvolvimento do PBL são planejadas colaborativamente e ponderadas no instante em que avançam com as soluções do desafio para cada um dos passos do projeto. O plano de ações deve produzir descrições ou procedimentos para a criação de produtos ou artefatos<sup>2</sup> e, assim, propor soluções ao desafio (BENDER, 2014; GRANT, 2002). O resultado ou resposta ao desafio do PBL contempla a construção de artefatos significativos por meio de: apresentações de relatórios de pesquisa; abordagens práticas; modelos funcionais; desenvolvimentos de protótipos, sistemas, vídeos, podcasts, peças teatrais, poemas; modelos dissertativos para projeto ou desafio que representam o que os estudantes aprenderam (HAREL; PAPERT, 1991). “O PBL e a construção de artefatos possibilitam que os estudantes expressem suas diversidades como interesses de habilidades e estilos de aprendizagem” (GRANT, 2002, p. 2).

No PBL, os estudantes possuem maior autonomia e responsabilidade sobre a aprendizagem. Para isso, um ambiente propício deve ser desenvolvido por professores ou tutores para manter o interesse e a motivação dos estudantes por sua aprendizagem (BENDER, 2014; GRANT, 2002). Com maior autonomia, os estudantes “moldam seus projetos de acordo com seus próprios interesses e habilidades” (MOURSUND, 1999, p. 4). Nesse contexto, as próximas subseções abordam os papéis dos estudantes e professores em relação ao PBL.

### **2.2.1 PBL do Ponto de Vista dos Estudantes**

“Quando mais voz e escolha dos estudantes nos projetos com PBL, melhor” (LARMER; MERGENDOLLER, 2010, p. 4). Autores convergem no sentido de entender que o ambiente projetado deve ser adequadamente delimitado, para que os estudantes possam selecionar quais

---

<sup>2</sup> Artefatos são itens criados ao longo da execução do projeto e que representam possíveis soluções (BENDER, 2014, p. 16).

contextos gostariam de investigar de acordo com uma proposta de projeto. A partir da apresentação de uma questão geral a ser trabalhada, os estudantes escolhem como projetar, criar e apresentar seus artefatos ou produtos (BARELL, 2010; BENDER, 2014; LARMER; MERGENDOLLER, 2010).

Em contexto de “quanto mais voz ativa melhor”, os estudantes podem decidir quais produtos ou artefatos serão efetivamente desenvolvidos. Possuem, também, poderes para selecionar os recursos elegíveis para condução do projeto, bem como para estruturar cronogramas e tempo de execução de atividades, respeitando a estrutura proposta no ambiente do PBL. Os estudantes podem iniciar discussões acerca do tema do projeto, até trabalhar no desenvolvimento da pergunta orientadora, desde que devidamente previstas e estruturadas no ambiente para essa finalidade (LARMER; MERGENDOLLER, 2010).

A voz e escolha do estudante no processo de desenvolvimento do PBL consiste em um importante componente para se obter a participação ativa e a apropriação do projeto. Dessa forma, quando os estudantes escolhem realizar uma experiência PBL, é muito mais provável que eles participem ativamente de todas as fases do processo de aprendizagem se tiverem poder de escolha considerável sobre quais questões serão abordadas e quais atividades serão realizadas (BENDER, 2014, p. 45).

A visão do PBL segue uma perspectiva centrada ao estudante intrinsecamente motivado. Os estudantes têm consideráveis opções de variáveis disponíveis para trabalhar em relação aos tópicos a serem investigados, bem como à natureza e extensão do conteúdo do projeto. O artefato ou produto que o estudante desenvolve tem um toque pessoal, que o representa (MOURSUND, 1999).

Em essência, apresenta-se um mesmo desafio de projeto a estudantes com formações acadêmicas, níveis de escolaridade e habilidades distintas. No mesmo raciocínio, respeitando a diversidade dos estudantes, adotam-se diferentes tipos de investigações ou pesquisas com múltiplas fontes de informações com variações nos livros, entrevistas até experimentos próprios. Essa ocorrência existe mesmo que os projetos tenham como base o mesmo tópico, considerando que distintos estudantes provavelmente utilizarão fontes de informações consideravelmente diferentes (MOURSUND, 1999).

Os estudantes trabalham em equipes para desenvolver o projeto. Pontos fundamentais da concepção das equipes tratam do ambiente colaborativo, de comunicação e do pensamento crítico. Nesse contexto, possuem papéis e responsabilidade tanto nas atividades coletivas quanto nas individuais. Existe um forte apelo para exercer o senso coletivo de participação, em que cada estudante é designado a experimentar uma variedade de processos do PBL, desde os grupos de discussões até o ensino e orientação entre pares, desempenhando um papel ativo durante os processos para obter conhecimento envolvendo, em muitas situações, o autoaprendizado (BENDER, 2014).

Os estudantes têm papéis na proposição de discussões em grupo ao longo do desenvolvimento de todas as atividades do projeto. Ao final de cada atividade ou passo do processo PBL, devem reservar momentos para refletir. As reflexões representam aspectos pertinentes sobre os artefatos ou mesmo espaços de debates para as lições aprendidas. Avaliações formativas em grupo são realizadas em momentos específicos da execução do projeto (LARMER; MERGENDOLLER, 2010). “Os estudantes são incluídos no desenvolvimento da avaliação e têm plena compreensão da mesma. Eles aprendem a avaliar seu próprio trabalho” (MOURSUND, 1999, p. 12).

De acordo com os passos, como a investigação de situações declaradas no projeto, o estudante constrói o seu conhecimento por meio dos processos de busca, aquisição e sintetização das considerações para responder ao desafio. As características relatadas na presente Seção, representam a grande transformação ocorrida no instante da adoção de uma metodologia ativa, compreendendo o emprego de processos centrados no estudante (BENDER, 2014). Metodologias ativas consistem em situações distintas ao ensino considerado tradicional, onde os estudantes aguardam o professor como a figura detentora do conhecimento. No PBL, os professores assumem papéis distintos aos tradicionais, com funções de orientação e preparação para tornar o estudante um protagonista com responsabilidades sobre o seu aprendizado (BARELL, 2010).

### 2.2.2 PBL do ponto de Vista dos Professores e Tutores

No instante em que os estudantes têm voz e poder de decisão para planejar e desenvolver, cabe aos professores o papel de delimitar o ambiente do projeto. Professores ou tutores definem o cenário de possibilidades para contemplar o projeto, para que os estudantes não fiquem sobrecarregados pelas escolhas (GRANT, 2002).

Os livros, artigos e descrições que evoluem as pesquisas com foco em PBL, recomendam que professores e tutores trabalhem de modo colaborativo com os estudantes (BENDER, 2014). Professores, tutores e estudantes trabalham, por exemplo, cooperativamente no desenvolvimento de uma questão orientadora para o projeto. Contudo, a questão orientadora, também chamada de “questão motriz”, em geral, é elaborada pelo professor. No PBL, a elaboração da questão motriz segue características motivadoras em que os estudantes se identifiquem (BARELL, 2010; GRANT, 2002).

O professor acompanha o projeto apresentado a uma determinada turma, desenvolve breves interações com estudantes e grupos, proporcionando *feedback* e apoio conforme apropriado. O professor trabalha na condição de orientador especialista para guiar os passos do projeto e não como um centralizador do conhecimento. Proporcionam ou preparam condições para que os estudantes possam aprender a ser mais autossuficientes, que aprendam a buscar ajuda uns nos outros ou a descobrir as coisas por si mesmos (MOURSUND, 1999).

É verdadeiro afirmar que o professor ou tutor atua como facilitador e mentor no PBL, proporcionando recursos e conselhos aos estudantes à medida que prosseguem as suas investigações. Contudo, são os estudantes que fazem a coleta e análise das informações, desenvolvem as descobertas e relatam os resultados. O professor não atua como principal articulador da oferta ou entrega de informações (MOURSUND, 1999).

“Um dos objetivos dos professores no projeto consiste em apoiar os estudantes a definir e a desenvolver projetos com recursos limitados” (MOURSUND, 1999, p. 15). Os professores pretendem que seus estudantes obtenham maiores habilidade em gerenciar os recursos disponíveis (incluindo o tempo) e assumam responsabilidades pessoais para conclusão do projeto no prazo estipulado (BENDER, 2014; MOURSUND, 1999).

O professor deve procurar atuar nos “momentos de ensino”, que ocorrem geralmente no instante em que envolve reunir toda a turma para aprender ou discutir uma situação particular (em muitos casos inesperada) apontada por um estudante ou equipe (MOURSUND, 1999, p. 16).

Em contexto, é possível observar de modo bastante claro a posição do professor na condição de orientador. O professor assume o papel de um colaborador e apoiador do projeto de modo a intermediar e a responder às demandas em um processo colaborativo de desenvolvimento do projeto (BENDER, 2014; LARMER; ROSS; MERGENDOLLER, 2009). Autores como Moursund (1999) defendem professores atuando como alunos em determinadas etapas do projeto, aprendendo em conjunto e desenvolvendo métodos de avaliações e de reflexões sobre a aprendizagem.

## **2.3 Desenvolver um Projeto PBL**

O desenvolvimento de um Projeto PBL começa a partir da determinação de um desafio, chamado de “âncora de projeto”. Alguns autores, também, denominam esse desafio como sendo o problema a ser solucionado. A caracterização da metodologia do PBL pode ser determinada a partir da presença de alguns aspectos comuns. Um dos principais aspectos característicos da metodologia remete ao fato em que a âncora do projeto tem como base uma temática significativa (BENDER, 2014).

Um projeto significativo atende a 2 (dois) critérios. O primeiro destaca a percepção que os estudantes têm em relação a um trabalho significativo, julgado como atividade importante a ser cumprida. O segundo critério compreende que um projeto significativo contempla um propósito educacional. Projetos PBL considerados significativos compreendem ambos critérios (LARMER; MERGENDOLLER, 2010).

Além dos aspectos comuns, como a definição de um projeto significativo, outra característica presente no PBL consiste nos passos ou etapas que envolvem a experiência do projeto de ensino. As próximas subseções tratam os aspectos e passos pertinentes ao PBL.

### 2.3.1 Aspectos que Definem um PBL

Em muitos casos, projetos utilizam uma introdução para definição do cenário a ser trabalhado, ou seja, ancorar o projeto. O modelo de desenvolvimento da introdução contribui para motivação junto aos estudantes. No PBL, devem-se explorar os cenários de possibilidade para apresentação da introdução do projeto como forma de preparar ou ancorar o cenário proposto e, assim, clarificar os objetivos de aprendizagem (BARELL, 2010; BENDER, 2014). A Figura 3 apresenta alguns aspectos comuns encontrados em projetos elaborados com a metodologia do PBL (GRANT, 2002).

Figura 3 - Aspectos comuns ao PBL



Fonte: adaptado Grant (2002)

#### 2.3.1.1 Introdução com a Âncora de Projeto

No desenvolvimento e apresentação da introdução do projeto, professores ou tutores lançam um evento de entrada, destacando a âncora, para engajar e iniciar questionamentos entre os estudantes. O PBL compreende um anúncio atrativo para o projeto e não apenas uma

distribuição de um pacote de atividades em que os estudantes não enxergam o sentido ou necessidade de aprender. Justificativas de projeto como: precisarão disso “mais tarde para vida”; para a próxima disciplina ou no curso; ou simplesmente porque “vai cair na prova”; podem ser evitadas (LARMER; MERGENDOLLER, 2010).

Um exemplo de introdução pertinente seria a apresentação de um vídeo de uma praia paradisíaca. Em uma edição de uma bela propaganda, como aquelas apresentadas nas agências de viagens, que mexem com imaginário em contexto de local para passar as férias. Contudo, de repente, é exibida uma placa com os dizeres: “Praia Interditada”. Esse aspecto por si chama a atenção e instiga a curiosidade e a investigação de saber o motivo daquela bela praia estar fechada. Perguntas podem ser sugeridas: “Por que a praia está fechada?”; “Água contaminada?”; “Risco de ataques de tubarões?”; “Risco de afogamentos?” etc. Contudo, chega-se à conclusão que a interdição se deve à poluição e o professor apresenta um projeto para propor ações para combater a contaminação. A partir de uma introdução pertinente e que corresponda a um projeto significativo, os estudantes chegam a conclusão da relevância de modo claro e encontram razões para aceitar o desafio (LARMER; MERGENDOLLER, 2010).

A apresentação da introdução admite desenvolvimento por diversos meios e, atualmente, destaca o uso das novas tecnologias digitais presentes em ambientes de aprendizagem *online*, como o uso de artes gráficas ou designers de páginas da *web*. Outros exemplos de meios digitais atuais para apresentação relacionam-se: videoconferências para gerar discussões animadas; palestras *online* com palestrantes convidados; criação e compartilhamento de vídeos temáticos; podcasts com professores ou tutores. Esses meios são considerados boas fontes para apresentar a âncora de projeto (BENDER, 2014).

### **2.3.1.2 Questão Motriz ou Orientadora**

Na sequência lógica de apresentação do projeto, após a definição da introdução, por meio da âncora do projeto, estabelece-se uma questão motriz ou orientadora. Uma questão elaborada com aspectos significativos e motivadores de modo que os estudantes se identifiquem (BARELL, 2010; BENDER, 2014; GRANT, 2002). “A questão motriz define uma pergunta orientadora geral ou meta para o projeto PBL” (GRANT, 2002, p. 5). A questão contém

aspectos claros do que se espera do projeto e, assim, como a âncora, ser significativa ao ponto de despertar interesse e motivar os estudantes. Além de motivadora e desafiadora, a questão motriz orienta-se ao desafio do projeto ser factível (MOURSUND, 1999). Compreendida, a questão motriz gera gatilhos para os processos de investigação e pesquisa do projeto.

### **2.3.1.3 Investigação e Pesquisa**

Outro aspecto presente na execução de projetos de ensino com o PBL é o processo de investigação que resulte no desenvolvimento de um ou mais artefatos. O processo e a investigação incluem os passos necessários para concluir a atividade ou determinar respostas à questão orientadora (motriz). O processo inclui atividades que correspondam às habilidades associadas ao pensamento crítico, como: analisar situações que envolvem cada passo do projeto; desenvolver sínteses acerca das investigações e avaliar as informações das pesquisas (GRANT, 2002).

No PBL, a relevância das investigações e pesquisas apresentam-se logo nos primeiros componentes, exibidos durante a introdução, como a âncora de projeto e a questão motriz e se estendem ao longo do desenvolvimento de todo projeto. O *brainstorm* é citado como uma atividade para levantar muitas questões para demandar processos posteriores de investigação e pesquisa. Esses processos investigativos admitem distintas abordagens como: estabelecimento de discussões em grupo; a partir de minilições oferecidas pelos professores; laboratórios e demonstrações; registros em diários; etc. (MOURSUND, 1999). “Muitas atividades de ensino surgem naturalmente dentro do próprio projeto” (BENDER, 2014, p. 47).

### **2.3.1.4 Recursos**

A disponibilização de recursos soma mais um aspecto de projeto. Todos os recursos necessários devem ser previamente planejados e disponibilizados de forma a garantir o cumprimento de todos os passos esperados ao longo da execução do projeto. O compartilhamento de recursos apresenta-se sob diversas formas: referência para consultas especialistas no assunto; exploração de artigos científicos, livros, revistas, textos didáticos,

vídeos etc.; testemunhas oculares; materiais relacionados à temática do projeto disponíveis em ambientes virtuais de aprendizagem; compartilhamento de *links* de páginas *web*; disponibilização de computadores e *softwares* específicos, necessários para execução do projeto (exemplo: em uma disciplina de lógica de programação, *softwares* de desenvolvimento como IDEs - *Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado são necessários) (GRANT, 2002; LARMER; MERGENDOLLER, 2010).

### 2.3.1.5 Processos de Orientação

PBL demanda a orientação de professores ou tutores (BARELL, 2010; BENDER, 2014; LARMER; MERGENDOLLER, 2010; MOURSUND, 1999). A incorporação de projetos PBL corresponde a processos de mudança nas metodologias aplicadas em muitas intuições de ensino. Essas mudanças ocorrem naturalmente em decorrência do ensino demandar menos processos instrucionais e maiores habilidades e, também, capacidades de oferecer processos de orientação. No instante em que se apresenta devidamente estruturado, o PBL permite a abertura para enfatizar uma aprendizagem construída pelos estudantes, retirando o foco de um aprendizado predominantemente unilateral (LARMER; ROSS; MERGENDOLLER, 2009).

Na proposta da metodologia do PBL, professores e tutores deixam os papéis dos paradigmas considerados tradicionais, como a responsabilidade de apresentação de todo o conteúdo de um determinado currículo de ensino. No PBL, uma das atribuições dos estudantes é a tarefa de investigar os conhecimentos imprescindíveis para atingir as metas estabelecidas ou responder às questões orientadoras dos projetos. Nesse novo cenário de atribuições e responsabilidades, os estudantes passam a contar com os distintos modos de orientações (BENDER, 2014; HAMIDAH et al., 2020).

No PBL, a referência de orientação passa a ser representada na figura de professores e tutores. Entretanto, é importante destacar, em processos de orientação, que os professores e tutores, responsáveis pelo currículo, são efetivamente e naturalmente evidenciados com um importante e fundamental papel, não configurando, todavia, referências únicas. É pertinente ressaltar que a proposição do PBL admite distintas fontes nos processos de orientação. Com a possibilidade de inclusão de variadas fontes, cria-se um ambiente propício para que se possa

apoiar os processos de atuação de professores e tutores e, conseqüentemente, disponibilizar novas fontes, ou alternativas, aos estudantes com o objetivo de maximizar o método PBL como um todo (LARMER; ROSS; MERGENDOLLER, 2009; MOURSUND, 1999).

A oferta da diversificação de fontes nos processos de orientação com o PBL podem ser concedidas dentro de um grupo de desenvolvimento de projeto; ou na tradicional interação entre professores, tutores e estudantes. Existem ainda a orientação e o aconselhamento entre pares, colegas de projeto; a ancoragem do projeto associada às próprias perguntas orientadoras presentes no PBL são importantes fontes; planilhas práticas, documentos de orientação; conversas e entrevistas com especialistas; participação de discussões em grupo; palestras temáticas ou mesmo participação em podcasts; trabalhos auxiliares; estudo de modelos de projetos; etc. (BENDER, 2014; LARMER; MERGENDOLLER, 2010).

Esses aspectos relacionam-se ao objetivo principal do trabalho, em contexto de diversificar o provimento de apoio, com a proposta de potencializar os processos de orientações interativas no desenvolvimento de projetos PBL, mediadas por Sistemas de Tutoria Inteligentes. Dessa forma, conduzir a criação de tecnologias educacionais estruturadas na Inteligência Artificial para apoiar ambientes *online* de desenvolvimento de projetos nas instituições de ensino técnicas e superiores.

O PBL, como processo de aprendizagem, destaca pontos fundamentais que tratam da interação entre os estudantes, professores e tutores na investigação de respostas para as questões orientadoras do projeto. Nessa metodologia ativa, os estudantes como protagonistas são estimulados a desenvolver questões para planejar, desenvolver ou modificar seus artefatos ou produtos. As experiências dos professores especialistas são usadas como fontes no processo de orientação das questões levantadas (MOURSUND, 1999). Mais uma vez, evidencia-se a relação com o presente trabalho, em contexto de usar a experiência dos professores para construir sistemas inteligentes para apoiar processos de orientação nas questões do projeto.

Durante a realização do projeto, a orientação deve estar presente em todas as situações que envolvem cada passo e, também, partindo dos estudantes, de acordo com a demanda de apoio. A ausência de professores engajados com o método em relação ao processo de orientação pode acarretar a desmotivação de estudantes no desenvolvimento do projeto. Além da presença, o professor ou tutor deve admitir, também, uma posição de observador, de modo a perceber

situações ou dificuldades que demandam intervenções para designar orientações efetivas individuais, no grupo ou na classe (HAMIDAH et al., 2020; LARMER; MERGENDOLLER, 2010; LARMER; ROSS; MERGENDOLLER, 2009).

### **2.3.1.6 Aprendizagem Cooperativa Colaborativa**

Com frequência, estudos descrevem a aprendizagem em colaboração como sendo um aspecto essencial associado ao PBL. Autores como Bender (2014) e Waller (2011) defendem a utilização do trabalho colaborativo em reflexões que se alinham às demandas dos ambientes de trabalho do século XXI. Nesse cenário, as atividades cooperativas ganham destaque dentro do projeto e, portanto, devem ser exploradas por professores, tutores e estudantes com objetivo de maximização dos processos que envolvem o PBL. A definição da aprendizagem cooperativa, estabelecida no PBL, consiste em agrupamentos dentro de uma classe em que os membros das equipes trabalham de modo colaborativo para explorar, aprender e responder ao desafio do projeto (MOURSUND, 1999).

Em muitos casos, as atividades de aprendizagem são divididas em partes, com cada estudante sendo responsável pela exploração e compreensão de um determinado componente. Em seguida, cada estudante apoia os outros membros da equipe, compartilhando o aprendizado sobre o componente explorado. O mesmo processo pode ocorrer entre equipes, quando há a divisão e distribuição de componentes do projeto entre vários grupos. Cada grupo teria a responsabilidade de explorar um determinado componente e, ao mesmo tempo, colaborar cooperativamente no compartilhamento da aprendizagem sobre o componente com as outras equipes. Enquanto ganham experiência, por meio do ensino com o PBL, tornam-se, também, mais experiente nos trabalhos em grupo, no instante em que já se encontram ambientados no planejamento das atividades colaborativamente (BARELL, 2010; BENDER, 2014).

Nessa modalidade, as equipes formadas participam da experiência de Aprendizagem Baseada em Projetos, na perspectiva de trabalhar colaborativamente em várias atividades. Embora o PBL inclua atividades desenvolvidas individualmente ou em pares, grande parte do PBL compreende trabalhar de modo cooperativo, em equipes, para responder ao desafio do projeto. Assim, normalmente, os estudantes possuem suas responsabilidades individuais de

aprendizado e de desenvolvimento de artefatos e produtos assim como têm suas responsabilidades em grupo no cumprimento de metas coletivas (BENDER, 2014; MOURSUND, 1999). Nesse ambiente, “a colaboração por pares, também, consiste em um componente comum e esperado” (MOURSUND, 1999, p. 37).

### **2.3.1.7 Reflexão e Avaliação**

“Desenvolver oportunidades para a reflexão dos estudantes no projeto é um aspecto enfatizado por todos os componentes do PBL” (BENDER, 2014, p. 32). O PBL considera os processos de reflexão em relação ao próprio trabalho, de modo a examinar as atividades que compõem o projeto, constituindo um importante aspecto para proposição de melhorias. Dessa forma, professores e estudantes devem procurar, a todo momento, por oportunidades para desenvolver processos de reflexão durante as experiências percebidas com o PBL (LARMER; ROSS; MERGENDOLLER, 2009; MOURSUND, 1999).

No PBL existe a necessidade constante de que professores e alunos possam desenvolver processos de reflexões para compreender o processo de desenvolvimento dos novos conhecimentos. O PBL estabelece instantes para ocorrências dessas reflexões com o objetivo de que todos (estudantes, grupos, professores e tutores) possam aprender uns com os outros (BENDER, 2014; MOURSUND, 1999).

Por fim, a avaliação também constitui um aspecto importante do PBL. Em contraste às abordagens que seguem os paradigmas considerados tradicionais, no PBL o processo de avaliação tende a apresentar características reflexivas, ocorrendo em quase todas as discussões de projeto. Existem diversidades de alternativas que podem ser aplicadas para esse processo, admitindo compressões mais aprofundadas em contextos: autorreflexão; avaliação de portfólio; avaliação autêntica; avaliação de colegas além das avaliações dos professores ou tutores (BENDER, 2014).

O presente trabalho não se aprofunda em processos avaliativos, considerando a diversidade de possibilidades a que cada professor ou tutor pode recorrer durante a aplicação

do PBL, contudo, sugerem-se instantes em que as avaliações podem ser mais bem exploradas. Alguns desses instantes serão abordados na próxima subseção (2.3.2 Passos ou Etapas do PBL).

### **2.3.2 Passos ou Etapas do PBL**

No instante em que uma instituição de ensino opta por desenvolver o PBL, o professor ou o corpo docente, bem como a(s) área(s) do(s) conhecimento(s) envolvida(s), colaboraram na(s) disciplina(s) para o desenvolvimento do projeto e das atividades. No PBL, as atividades articulam-se em três eixos: (1) compreensão e planejamento; (2) desenvolvimento por meio da coleta e sistematização das informações; (3) apresentação do projeto e resultados. Esses três grandes eixos dão origem aos passos ou etapas mais detalhados. A quantidade de passos sugeridos pode variar de acordo com as proposições de distintos autores. Não há problemas em haver mais ou menos passos, desde que a sua base de origem esteja associada aos três principais eixos (BENDER, 2014; HAMIDAH et al., 2020).

O presente trabalho adota os estudos de Bender (2014), estruturados em seis passos ou etapas distintas e detalhadas para designar as atividades de um projeto PBL. As etapas propostas sugerem: (1) Introdução e planejamento em equipes; (2) Fase de pesquisa inicial, coleta de informações; (3) Criação, desenvolvimento, avaliação inicial da apresentação dos artefatos; (4) Segunda fase de pesquisa; (5) Desenvolvimento da apresentação final; (6) Publicação dos produtos ou dos artefatos. Tais passos constituem o arcabouço para desenvolvimento do protótipo do Sistema de Tutoria Inteligente para projetos PBL. As próximas subseções apresentam os passos.

#### **2.3.2.1 Introdução e Planejamento (Passo 1)**

Em geral, no PBL, as equipes são formadas contando com grupos de 7 (sete) a 12 (doze) estudantes, podendo admitir números aproximados menores ou maiores de acordo com a visão de distintos autores. A formação das equipes de projeto é uma importante característica dentro do PBL, objetivando fazer com que os estudantes trabalhem colaborativamente para responder ao desafio proposto. Os grupos podem estabelecer uma estrutura de organização em que se

incluem a determinação de um líder e outros papéis específicos, como apresentador do projeto, diretor de vídeo etc. Essa estrutura pode ser rotativa e estabelecer que, a cada passo ou atividade, um novo líder pode ser designado. Dessa maneira, os estudantes têm a oportunidade de viver distintas experiências sob a responsabilidade de vários papéis dentro da equipe. A concepção de equipes, com base em uma estrutura organizacional, deve ser estimulada por professores e tutores (BENDER, 2014; HAMIDAH et al., 2020).

A partir da divisão da turma em equipes, o primeiro passo da introdução e planejamento consiste na apresentação da âncora seguida pela questão motriz (orientadora). Destaca-se que a questão motriz deve resumir o desafio ou o problema a ser abordado. Tanto a ancoragem do projeto quanto a questão motriz precisam empregar uma linguagem atrativa em um ambiente intuitivo para instigar o levantamento de questões pertinentes às abordagens do projeto. Além das investigações das questões centrais, é necessário realizar discussões e reflexões em grupo e individuais para analisar os pontos-chaves do projeto (HAMIDAH et al., 2020). A Tabela 1 exibe as atividades previstas para o passo 1 (um) de introdução e planejamento.

Tabela 1 - Atividades de Introdução e Planejamento

Atividades Passo 1	Descrição das Atividades
Examinar e Refletir	Examinar a âncora do projeto (desafio proposto) e refletir sobre a questão motriz ou orientadora.
<i>Brainstorming</i>	Desenvolver um <i>brainstorming</i> para investigar as questões de pesquisa de elaborar um planejamento.
Distribuição de Atividades	Distribuir as atividades aos grupos para a experiência PBL.
Metas	Estabelecer e desenvolver as metas a serem cumpridas e as linhas do tempo.
Divisão do Trabalho	Criar uma divisão das atividades dentro da equipe sobre as questões de pesquisa.
Artefatos e Produtos	Atribuir e revisar os artefatos e produtos necessários para desenvolvimento do projeto.

Fonte: Bender (2014)

Para determinar as questões de pesquisa, o PBL sugere que a turma ou grupos desenvolvam um *brainstorm*. O termo *brainstorm* foi idealizado em 1953 por Alex F. Osborn, para determinação de processos e pensamentos criativos para investigar um problema. Envolve “processos criativos geralmente aplicado nos passos iniciais para planejar e propor soluções para um determinado problema” (OSBORN, 1953, p. 297). Nos termos do PBL, o *brainstorm* é o processo pelo qual os estudantes elaboram um planejamento para atividades de projeto com o objetivo de elencar o máximo possível de soluções ao desafio proposto. Inicialmente, sem

descartar nenhuma das soluções sugeridas (BENDER, 2014; GRANT, 2002). O *brainstorming* corresponde às habilidades do pensamento coletivo para explorar atividades do PBL com o objetivo de formular possíveis soluções para desenvolver o projeto (GRANT, 2002).

*Brainstorming* consiste em um método utilizado para identificar uma lista de ideias em um curto intervalo de tempo. Realizado em um ambiente de equipe e liderada por um facilitador. Formado por duas partes: geração e análise de ideias. Usado para coletar dados, soluções ou ideias de partes interessadas [...] (PMI, 2017, p. 80).

É um momento para impulsionar o planejamento com o objetivo em estabelecer as metas do projeto. As metas podem ser gerais, em casos preestabelecidos por professores ou tutores, ou mesmo contemplar situações específicas ao grupo, como estabelecer linhas do tempo. Os parâmetros gerais estabelecidos pelos professores contemplam, por exemplo, metas para a quantidade de semanas ou meses previstos para desenvolver o projeto. Os parâmetros específicos podem designar a divisão do trabalho sobre as questões de pesquisa, respeitando as metas estabelecidas nos parâmetros gerais. Esta divisão estabelece as responsabilidades coletivas e individuais, e todos têm um papel (HAMIDAH et al., 2020). “As atividades com papéis específicos para cada estudante devem ser articuladas nos projetos PBL” (BENDER, 2014, p. 62).

### **2.3.2.2 Fase de Pesquisa Inicial: Coleta de Informações (Passo 2)**

O passo 2 (dois) consiste na coleta de informações, momento esse que também pode ser denominado de primeira fase de pesquisa ou fase inicial de pesquisa. Nessa etapa, são realizadas as coletas das informações para o projeto PBL por meio das pesquisas e diálogos em diversas fontes. Em contraste com as atividades preestabelecidas, como nos parâmetros gerais da introdução, o passo 2 (dois) do PBL permite autonomia ao estudante para pesquisar informações. As informações tratadas devem ser relevantes e possuir relações com as investigações da ancoragem projeto, questão motriz e as questões específicas derivadas do *brainstorming*. Portanto, nessa fase inicial de coleta de informações, espera-se que a pesquisa retorne materiais que abordem os tópicos de estudo e as metas estabelecidas (BENDER, 2014). A Tabela 2 apresenta algumas sugestões de atividades previstas para o passo de coleta de informações.

Tabela 2 – Atividades de Coleta de Informações

<b>Atividades Passo 2</b>	<b>Descrição das Atividades</b>
<i>WebQuests</i>	Para que os estudantes possam pesquisar informações sobre as temáticas propostas no projeto
Entrevistas	Desenvolver entrevistas com a população local ou especialista nas questões de pesquisa.
Examinar / Identificar	Investigar outras fontes de pesquisa além daquelas tipicamente sugeridas pelos professores.
Minilições	Geralmente disponibilizado por professores com conceitos ou explicação direta de tópicos do projeto
Avaliação das Informações	Acesso e pesquisa às fontes de pesquisa verificadas e validadas

Fonte: Bender (2014)

O *webquest* consiste em um termo tipicamente utilizado no PBL durante a fase de coleta de informações. É sugerido como um método utilizado para desenvolver pesquisas orientadas em que os estudantes façam uso os recursos da internet na educação. “Consistem em uma atividade de pesquisa tipicamente dada aos estudantes ou pequenas equipes para buscar informações sobre uma determinada temática na internet” (SKYLAR; HIGGINS; BOONE, 2007, p. 21). Nessas buscas, os estudantes podem seguir determinados *links* na internet disponibilizados pelos professores ou tutores. Esses *links* devem apoiar os estudantes na compreensão, respostas e no desenvolvimento de novos gatilhos de pesquisa sobre as questões de investigação do projeto PBL (SKYLAR; HIGGINS; BOONE, 2007).

A coleta de informações pode ser realizada nas bibliotecas tradicionais, contudo, mais uma vez, faz-se a relação com o presente projeto, no sentido de elencar atividades que comportem a proposta em Ambientes Virtuais de Aprendizagem. Nesse contexto, as bibliotecas virtuais convergem naturalmente como opção de tecnologias de pesquisa *online* que podem estar disponíveis nos AVA’s institucionais. Os estudantes têm, também, diversas opções sugeridas por distintos autores que podem ser adotadas como fontes de pesquisa para investigação das questões do projeto. Algumas sugestões a serem consideradas: material disponibilizado no AVA da disciplina / curso; jornais; artigos; livros; entrevistas com a população local; conversas com especialistas; experimentos em laboratório; oferta de minilições; podcasts; vídeos no Youtube e outras fontes; etc. (BENDER, 2014; GRANT, 2002; HAMIDAH et al., 2020).

As fontes denominadas de minilições ou lições são geralmente disponibilizadas pelos professores, em contexto do PBL, com o objetivo de resumir uma lição em tópicos (podendo

ser bastante curtas, no caso de minilições). Esses resumos fazem referências a determinados assuntos com algum conceito ou explicação específica e direta com informações para apoiar o desenvolvimento do projeto. Para encerrar o passo 2, existe uma atividade de avaliação das informações. Essa avaliação consiste em verificar e validar as fontes utilizadas no processo de pesquisa (BENDER, 2014).

### **2.3.2.3 Criação e Desenvolvimento (Passo 3)**

Em um aspecto característico do PBL, destaca-se que os passos estão fortemente ligados e apresentam sobreposições entre si. Provavelmente, o estudante que estiver em um processo contínuo de execução e chegou ao passo 3 (Criação e Desenvolvimento), terá essa percepção de sobreposição de passos, em algum grau, com o passo 2 (Coleta de Informações) e o passo 1 (Introdução e Planejamento), assim como nos passos e etapas posteriores no processo de desenvolvimento do Projeto PBL (BENDER, 2014; GRANT, 2002; HAMIDAH et al., 2020). “Frequentemente há uma sobreposição considerável entre os passos de pesquisa e criação de artefatos” (BENDER, 2014, p. 64).

Embora o PBL se apresente a partir de uma lista de passos ou etapas lineares, com o objetivo de apoiar a percepção do método, enfatiza-se a amplitude das diretrizes apresentadas em cada etapa. Um exemplo típico consiste em que os estudantes podem (e devem) começar a criar os produtos e artefatos do projeto desde a introdução e pesquisa inicial (BENDER, 2014; GRANT, 2002; HAMIDAH et al., 2020).

O passo de Criação e Desenvolvimento configura um dos momentos de maior autonomia da equipe. A Tabela 3 apresenta as sugestões de atividades previstas para o passo 3. Uma das atividades consiste no processo de armazenar e organizar os dados coletados no passo 2 (Coleta de Informações). As pesquisas devem ser organizadas em uma sequência lógica e que apresente conexão entre os tópicos. Os estudantes devem desenvolver as sínteses das informações e questões pesquisadas à medida que trabalharam em equipe na criação de um *storyboard* para a apresentação final do projeto. Mais uma vez, citando a sobreposição de passos, um *storyboard* pode ser utilizado em diversos contextos no PBL, desde planejamento

até a publicação do projeto, contudo a concepção de criar uma apresentação para o projeto pode estar mais evidente no passo 3 (BENDER, 2014).

Tabela 3 - Atividades de Criação e Desenvolvimento

<b>Atividades Passo 3</b>	<b>Descrição das Atividades</b>
Armazenar e Organizar	As pesquisas e questões do projeto devem ser armazenadas e organizadas.
<i>Storyboard</i>	Desenvolvimento do <i>storyboard</i> para apresentação final do projeto.
Desenvolver	Autonomia para desenvolver os produtos, artefatos, protótipos e apresentações.
Avaliação Parcial em Grupo	Avaliação em grupo sobre o desenvolvimento, progresso dos passos, atividades de pesquisa e novas informações.
Avaliação Parcial com o Professor	Avaliação parcial formativa das atividades, desenvolvimento do produto, artefatos ou protótipo realizada com o professor ou tutor.

Fonte: Bender (2014)

Nesse contexto, em que as informações e questões de pesquisa encontram-se devidamente selecionadas e estruturadas, o grupo tem a autonomia para estabelecer o desenvolvimento e a apresentação. As atribuições de desenvolvimento dos produtos, artefatos ou protótipos podem ser individuais, por pares ou com a criação de grupos menores dentro da equipe. Mesmo que a elaboração dos produtos e artefatos já tenham se iniciado desde o primeiro dia, o presente passo estabelece maiores responsabilidades de criação e desenvolvimento (GRANT, 2002; HAMIDAH et al., 2020).

As atividades finais do passo de criação e desenvolvimento apontam para os primeiros processos parciais de avaliação. Existe a sugestão de avaliação parcial em grupo. Essa avaliação consiste em: examinar os produtos, artefatos e protótipos desenvolvidos até o momento; examinar o progresso dos passos e das atividades exigidas na apresentação final; determinar quais atividades foram concluídas; checar se as pesquisas e atividades com os tópicos que abordam a questão motriz foram realizadas; quais informações adicionais deveriam ser coletadas e incorporadas no projeto? Nos Projetos PBL, a equipe deve sempre buscar ampliar o conteúdo e, deste modo, aprimorar o projeto como um todo. A última atividade relaciona-se com uma avaliação parcial formativa das atividades, desenvolvimento do produto, artefatos ou protótipo, realizada com o professor ou tutor. A atuação do professor ou tutor consiste em avaliar o material produzido até o momento. O professor poderá oferecer orientações conforme as necessidades e essas informações devem ser devidamente registradas (BENDER, 2014).

### 2.3.2.4 Segunda Fase de Pesquisa (Passo 4)

Após as avaliações parciais que resultarão em um *feedback* realizado na equipe e um *feedback* do professor ou tutor, o passo 4 (Segunda Fase de Pesquisa) é caracterizado como o momento para pesquisar e coletar informações adicionais para complementar ou preencher lacunas no projeto. A Tabela 4 apresenta as atividades previstas para a segunda fase de pesquisa. Torna-se relevante pesquisar informações adicionais para desenvolver os produtos, artefatos, protótipos e apresentações de modo mais completo. Podem ser propostos momentos para revisões do *storyboard*, considerando as novas informações acrescentadas ao projeto. Nessa etapa, o professor ou tutor pode oferecer outras minilições com o objetivo de abranger novos tópicos de estudos (BENDER, 2014; HAMIDAH et al., 2020).

Tabela 4 - Atividades da Segunda Fase de Pesquisa

Atividades Passo 4	Descrição das Atividades
Informações Adicionais	Pesquisar informações adicionais para desenvolver produtos ou protótipos de modo mais completo.
Minilições	Minilições sobre os novos tópicos pesquisados podem ser oferecidos por professores ou tutores.
Revisão	Revisões os produtos, artefatos, protótipos e <i>storyboard</i> com as novas informações.

Fonte: Bender (2014)

### 2.3.2.5 Desenvolvimento da Apresentação (Passo 5)

O passo de Desenvolvimento da Apresentação pode ser considerado como a finalização do Projeto. Os últimos ajustes provindos do passo anterior (Passo 4 - Segunda Fase de Pesquisa) são realizados nesta etapa. A etapa realiza as últimas revisões e acréscimos no *storyboard* do trabalho, finalizando, assim, a produção do projeto. Durante as atividades em equipes, estabelecem-se momentos para avaliar cada artefato (*storyboard*, documentos, relatórios, slides, vídeos a serem apresentados) e o produto ou protótipo desenvolvido. A avaliação de cada artefato, produto ou protótipo desenvolvidos, realiza-se com formatos estruturados de avaliações com toda a equipe. A estruturação da avaliação não faz parte do escopo do presente

trabalho, contudo, podem ser sugeridas avaliações reflexivas de colegas<sup>3</sup> ou avaliações com portfólios<sup>4</sup>. Em finalização, com o tempo escasso, deve-se fazer apenas as mudanças que resultarão em uma melhoria significativa do Projeto (BENDER, 2014; HAMIDAH et al., 2020). A Tabela 5 apresenta as atividades do Desenvolvimento da Apresentação (Passo 5).

Tabela 5 - Atividades do Desenvolvimento da Apresentação

Atividades Passo 5	Descrição das Atividades
Revisão Final	Revisão final do projeto. Adotar apenas as mudanças que representam melhoria significativa do projeto.
Ajustes no Projeto	Ajustes finais nos artefatos, produtos, protótipos e <i>storyboard</i> .

Fonte: Bender (2014)

### 2.3.2.6 Publicação do Projeto (Passo 6)

Nessa etapa, é realizada a Apresentação e Publicação do Projeto. Momento de apresentar os resultados dos artefatos, produtos ou protótipos. Compreende uma etapa fundamental da experiência com a Aprendizagem Baseada em Projetos. Caracteriza uma experiência em que os estudantes apresentam as propostas em resposta aos desafios do mundo real. Um passo para consolidar o trabalho dos estudantes em pesquisar questões significativas e propor soluções para problemas da qual uma determinada comunidade se preocupa (GRANT, 2002).

Nesse cenário, os resultados dos Projetos com PBL pretendem ser exemplos legítimos dos tipos de problemas que os estudantes podem enfrentar no mundo real. Em contextos de problemáticas e desafios reais, a publicação ou a apresentação pública dos resultados do projeto é etapa enfatizada no PBL. A Publicação do Projeto é marcada, também, por uma avaliação final formativa realizada com o professor. Na sequência da avaliação, o professor pode estabelecer momentos para reflexões e *feedbacks* sobre as lições aprendidas em uma mesa redonda *online*. A Tabela 6 apresenta as atividades da Publicação do Projeto (Passo 6).

<sup>3</sup> Avaliações Reflexivas de Colegas pode ser caracterizada por *feedbacks* dentro da equipe, mesmo quando não existem solicitações de avaliações de colegas. A natureza do PBL permite que os estudantes queiram melhorar o projeto de modo cooperar a partir de reflexões em equipe.

<sup>4</sup> Avaliação por portfólio sugere atribuir parâmetros para avaliar artefatos ou produtos de modo individual ou coletivo considerando combinações autoavaliativas e as habilidades associadas à avaliação de colegas.

Tabela 6 - Publicação do Projeto

<b>Atividades Passo 6</b>	<b>Descrição das Atividades</b>
Avaliação Final	Desenvolver processos para avaliação final formativa com professores e tutores.
Publicação do Projeto	Publicação do projeto com apresentação dos resultados dos artefatos, produtos e protótipos.

Fonte: Bender (2014)

### **2.3.2.7 Resumo do Passos ou Etapas do PBL**

Em resumo, os passos ou etapas apresentadas ilustram o desenvolvimento do projeto com PBL. Esses passos podem apresentar diferenças entre distintos autores, desde que sua fonte de origem tenha relações com os eixos fundamentais: (1) compreensão e planejamento; (2) desenvolvimento com coleta e sistematização das informações; (3) apresentação do projeto e resultados. Os passos gerais do PBL não devem ser considerados como modelos de referências “rígidos” para desenvolver projetos PBL (HAMIDAH et al., 2020). “Em praticamente todas as formas de ensino com projetos PBL, a flexibilidade consiste em um ponto chave” (BENDER, 2014, p. 66). Os passos do PBL representam uma perspectiva de orientação para apoiar os processos de ensino e as experiências de aprendizagem (BENDER, 2014; GRANT, 2002). No presente trabalho, os passos são apresentados em uma compreensão das novas tecnologias educacionais.

Assim como descrito na introdução, embora o PBL não seja novo, suas concepções tiveram origem no início do século XX, na aplicação realizada por John Dewey no ensino de medicina. Atualmente, há diferenças em relação aos conceitos iniciais, principalmente, impulsionadas pelas novas tecnologias de ensino. O PBL apresenta caminhos diferenciados demandados pela educação do século XXI (BENDER, 2014; WALLER, 2011). Bender (2014) defende a exploração do PBL em uma abordagem de ensino diferenciada, baseado em discussões e aplicações da tecnologia na educação.

## 2.4 PBL e Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação

Mesmo que distintas práticas pedagógicas de ensino já estejam relacionadas ao PBL, as tecnologias de ensino disponíveis atualmente certamente são evidenciadas na literatura recente. Os novos estudos que envolvem o PBL, em geral, apresentam propostas defendendo a ampla utilização das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) no apoio para determinação das práticas com projetos. Os estudos, também, convergem no sentido de apontar que as tecnologias podem oferecer muitas oportunidades de aplicação associada ao ensino com o PBL. Dentre as publicações e estudos recentes, é possível observar o uso das mais variadas ferramentas educacionais que podem oferecer interatividade, destacando aquelas relacionadas à *web*, *softwares* com tecnologias *online*. Essas distintas ferramentas, atualmente disponíveis, representam desde suas características estáticas como *wikis* ou *blogs* educacionais até as situações que permitem o desenvolvimento de recursos dinâmicos, como *softwares* simuladores, *serious games*<sup>5</sup> e as novas tecnologias da Inteligência Artificial na Educação (BARELL, 2010; BENDER, 2014).

Contextualizado ao presente trabalho, a Inteligência Artificial faz-se presente como principal tecnologia (TDIC) para desenvolver sistemas com objetivos educacionais com o PBL como arcabouço metodológico. Como ramo da Ciência da Computação, a IA na Educação organiza-se em subáreas como: Sistemas de Tutoria Inteligentes; Processamento de Linguagem Natural; Aprendizado de Máquina; dentre outras. Com a revolução da ciência e tecnologia, a Inteligência Artificial posiciona-se como uma importante temática de oportunidades para desenvolvimento de pesquisas e aplicações orientadas à Educação. Os capítulos posteriores tratam, em suma, as tecnologias da IAED (Inteligência Artificial na Educação) utilizadas no trabalho, para desenvolver os objetivos do sistema de tutoria inteligente nos projetos do PBL (QUALLS, 2017; ROLL; WYLIE, 2016; UNESCO, 2019).

Ainda, em relação ao presente trabalho, destaca-se o Moodle como ambiente virtual de aprendizagem amplamente usado nos cursos técnicos e superiores. O Moodle é muito mais amplo que as *wikis* ou *blogs*, podendo, inclusive, comportá-los. De modo macro, o Moodle é um sistema de apoio ao ensino e aprendizagem, executado em um ambiente virtual, projetado

---

<sup>5</sup> *Serious Games* compreende os jogos com as características de educar e entreter (SUSI; JOHANNESSON; BACKLUND, 2007, p. 1).

para desenvolvimento e gerenciamento de cursos. “Assim como as outras tecnologias, o ensino no PBL não depende apenas de uma ferramenta, como o Moodle, embora possa existir uma abordagem de ensino que possa ser baseada nele” (BENDER, 2014, p. 99).

Torna-se importante destacar que os estudantes das novas gerações vivem uma realidade distinta de 10 ou 20 anos atrás. Atualmente, as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) oferecem comunicações digitais instantâneas (WALLER, 2011). Os estudantes das novas gerações, em geral, podem ser considerados como nativos digitais<sup>6</sup>, ou seja, nasceram em um universo digital, com interação com a internet, computadores, *smartphones*, jogos digitais, etc. Geralmente, os nativos digitais podem compreender e associar as constantes mudanças de tecnologias e se adaptar à realidade inconstante na mesma velocidade com que ela se transforma (PRENSKY, 2012).

“No PBL assistido por Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação, o desafio é planejado para apoiar os estudantes a aprender e a compreender os aspectos das TDIC e usá-las de modo efetivo na realização de um projeto” (MOURSUND, 1999, p. 16). “O uso judicioso das modernas tecnologias de ensino irão aprimorar bastante a experiência de aprendizagem do PBL e, assim, o uso da tecnologia no ensino está completamente justificado” (BENDER, 2014, p. 105). A associação entre a metodologia do PBL e a tecnologia pode ampliar consideravelmente as oportunidades de exploração do ensino e aprendizagem com projetos (BARELL, 2010; BATES, 2015; BENDER, 2014; WALLER, 2011).

## 2.5 Trabalhos Correlatos com PBL e Plataformas Interativas

Chikurteva e Chikurtev (2020) apresentam um modelo conceitual de uma plataforma PBL para orientar e auxiliar o professor no planejamento, implementação e apresentação dos resultados do projeto. O modelo propõe a implementação de uma plataforma interativa para o PBL com base na *web* e nas tecnologias das TDIC's. O modelo tem as funcionalidades para criar e gerenciar atividades baseadas em projetos.

---

<sup>6</sup> Existem, também, os imigrantes digitais, que “são aqueles que não nasceram no mundo digital, mas que em alguma época ficaram fascinados e adotaram muitos ou a maioria dos aspectos da nova tecnologia” (PRENSKY, 2012).

Após apresentar a proposta conceitual do modelo, Chikurteva, Spasova e Bogdanov (2021) dão sequência na pesquisa e desenvolvem uma plataforma interativa para o PBL baseada em tecnologias *web*. O sistema se apresenta como *PBL Platform* e foi projetado para disponibilizar recursos interativos para administrar ambientes com atividades de projetos. Com a plataforma, o professor cria novos projetos de forma rápida e fácil em uma interface intuitiva, acompanha o progresso dos estudantes e avalia os resultados alcançados. Os estudantes acessam os materiais didáticos diretamente na plataforma com recursos para contactar os professores.

A pesquisa de Pires e Bettencourt (2017) apresenta uma plataforma multimídia que representa um ambiente de ensino mais interativo e dinâmico para aprendizado de programação de computadores com metodologia PBL. O trabalho destaca a complexidade da programação, principalmente para iniciantes na graduação de ciência da computação e destaca a metodologia para apoiar a compreensão do currículo. Na plataforma interativa PBL, os alunos são desafiados a desenvolver e demonstrar seus projetos com base nas competências da programação de computadores.

## **2.6 Considerações ao PBL**

Um ambiente favorável para condução de um projeto com a metodologia do PBL oferece aos estudantes oportunidades de desenvolver habilidades do século XXI. Essas habilidades incluem a colaboração, comunicação, pensamento crítico e uso de tecnologia. O atendimento a essas habilidades compreende aspectos para desenvolver um trabalho significativo, autêntico a um propósito. Um professor em um ambiente de Aprendizagem Baseado em Projetos ensina e avalia explicitamente essas habilidades e oferece frequentes oportunidades para os estudantes avaliarem a si mesmos (BUCK INSTITUTE, 2021; HAMIDAH et al., 2020; LARMER; MERGENDOLLER, 2010).

As tecnologias educacionais que vêm conquistando destaque, na literatura e nas pesquisas recentes, e podem oferecer a exploração de recursos para o desenvolvimento de práticas pedagógicas com projetos na metodologia do PBL, estão relacionadas à Inteligência Artificial na Educação (BATES, 2015; MALOTKY; MARTENS, 2019; TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020).

### 3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO

“As máquinas podem pensar?”. A questão que parece ser tão contemporânea, na verdade, são palavras de Alan Turing<sup>7</sup>, em seu artigo publicado em 1950, cujo tema era “*Computing Machinery and Intelligence*”. Turing é considerado um dos pais fundadores da Ciência da Computação e da Inteligência Artificial. Turing (1950) propõe considerar questões e definições aos termos “máquina” e “pensar”. Tais conceitos são consideradas as bases da IA. O estudo de Turing relata que os problemas para responder às questões esbarrariam em situações relacionadas à programação de máquinas. Outras características técnicas se relacionavam com a expectativa de que muitos avanços na engenharia ainda teriam que ser realizados para comportar maiores capacidades de armazenamento e aumento da velocidade das operações. Turing (1950) destacava as possibilidades de uma máquina automatizada com a capacidade de simular o raciocínio como pessoas. Chama a atenção no artigo de Turing (1950) a existência do conceito de Aprendizagem de Máquina (*Machine Learning*).

#### 3.2 Tecnologias Educacionais e a IA para o Ensino de Programação

As demandas educacionais estão em constantes transformações. É fundamental compreender que as tecnologias evoluem e que estudantes das novas gerações, habituados com a fluidez contínua de interatividade em variadas aplicações disponíveis nos *smartphones*, *tablets*, videogames etc., podem apresentar desinteresse pelo aprendizado estruturado em modelos tradicionais de ensino (AMARAL; GARBIN, 2008; PRENSKY, 2012).

Nesse contexto de demandas e transformações contemporâneas que regem cada vez mais as novas gerações de estudantes, a IA tem um importante papel na diversificação das tecnologias de ensino. Na área da computação, essa diversificação pode ser observada no ensino de lógica de programação. Antes de entrar nos conceitos de IA na Educação, a presente Seção

---

<sup>7</sup> Alan Mathison Turing foi um matemático, cientista da computação, filósofo e biólogo inglês reconhecido no ano 1975 como o “pai da computação”, dadas as suas pesquisas de notável contribuição na área, destacando a Teoria da Computação.

exibe algumas das abordagens de tecnologias educacionais com IA relacionadas ao contexto do trabalho.

Em termos de tecnologias para ensino de programação, é possível destacar o notável e pioneiro projeto do LOGO<sup>8</sup>, no ensino de linguagem de programação para crianças. Seymour Papert<sup>9</sup> relacionou conceitos da Inteligência Artificial e enxergou na linguagem de programação LOGO um ambiente para explorar as teorias construcionistas<sup>10</sup> nas escolas. Sugeria a programação dos movimentos de um personagem representando por uma “tartaruga”, ainda que no computador fora representado por um pequeno robô virtual ou objeto gráfico, que desenhava (ou riscava) o chão (tela) por onde passava (PAPERT, 1993).

Atualmente, evoluções do LOGO são observadas em *softwares* como Scratch ou App Inventor. Ambas as tecnologias compreendem projetos com bases nas ideias construcionistas de Papert, criadas e liderada por seu discípulo Mitchel Resnick, juntamente com o grupo de pesquisa do Lifelong Kindergarten do MIT no Media Lab (RESNICK et al., 2009). Outras tecnologias no ensino relacionam-se aos problemas aplicados em sistemas.

Os problemas aplicados em sistemas inteligentes compreendem abordagens da IA aplicada na Educação com início na Instrução Auxiliada por Computador (CAI – *Computer Aided Instruction*). As aplicações CAI, normalmente, apresentam materiais com a proposição de problema a ser resolvido. As avaliações das habilidades ou conhecimento dos estudantes ocorrem a partir de testes de solução do problema.

Atualmente, a abordagem de problemas aplicados evoluiu para os Sistemas de Tutoria Inteligentes (ITS - *Intelligent Tutoring Systems*). Os ITS's já admitem as técnicas de Inteligência Artificial na Educação para representação do conhecimento, com desenvolvimento de problemas aplicados em sistemas inteligentes. Os ITS's se destacam, também, por possuir módulos específicos de domínio de conhecimento e de acompanhamento da evolução dos

---

<sup>8</sup> A linguagem de programação LOGO foi criada por Seymour Papert, em 1967, no Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, Massachusetts (Estados Unidos), com o objetivo de propiciar às crianças um modo lúdico de programar e potencializar a aprendizagem.

<sup>9</sup> Papert (1928-2016), cientista da computação, visionário e desenvolvedor, inovador da teoria e tecnologia educacional. Reconhecido por obras como: “*Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*”, de 1980 e “*The Children's Machine: Rethinking School in the Age of the Computer*”, de 1993.

<sup>10</sup> Fundado nas teorias pedagógicas do construtivismo Piagetiano, teoria construcionista “trata das oportunidades oferecidas pela tecnologia para mediar a educação [...] na qual os estudantes trabalham na construção do seu conhecimento [...]” (PAPERT, 1986, p. 8).

estudantes. Os ITS's podem desenvolver análises detalhadas de processo como a modelagem e a personalização do ensino e aprendizagem (SLEEMAN; BROWN., 1982). O Capítulo 6 fundamenta os ITS's.

Um aspecto marcante da Inteligência Artificial na Educação estabelece o uso da inteligência com o objetivo de refletir sobre o ensino e a aprendizagem de modo a representar: “o quê”; “quando” e “como” ensinar uma determinada disciplina. Esses atributos estão relacionados com o desenvolvimento de sistemas inteligentes de ensino e aprendizagem com objetivos como: conhecer o domínio de ensino; saber como ensina e identificar o processo de aprendizagem, ou seja, como os estudantes estão aprendendo um determinado domínio (Nwana, 1990). A próxima seção apresenta uma síntese dos principais conceitos da IA na Educação.

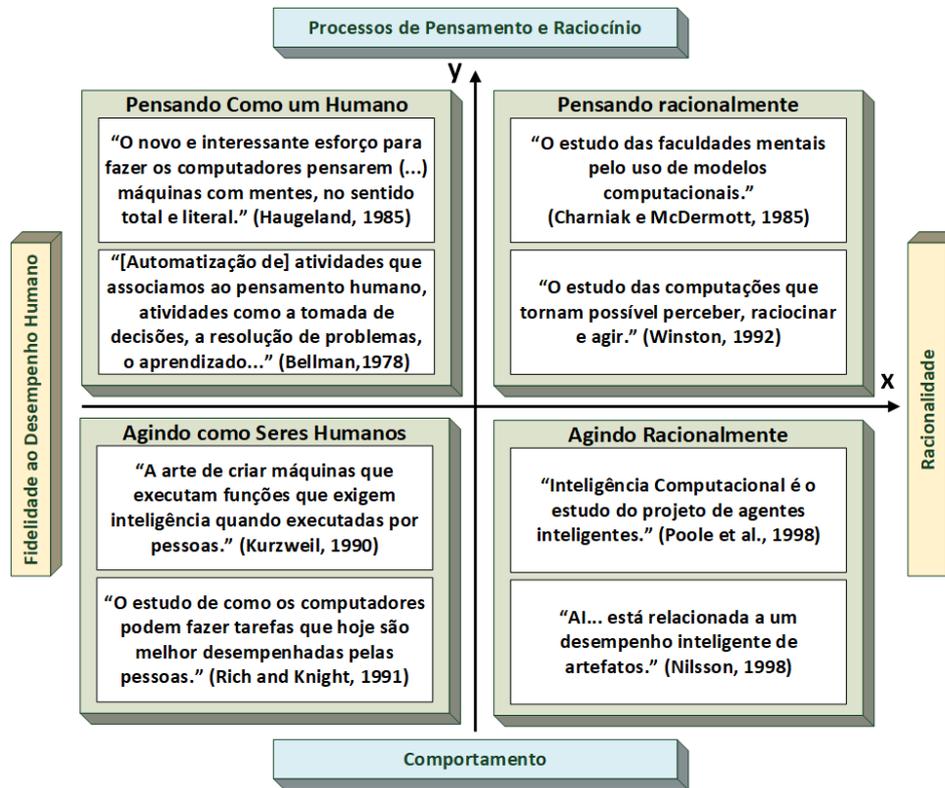
### 3.3 Introdução aos Conceitos de IA na Educação

“A inteligência artificial consiste na representação, em *software* de computador, dos processos mentais usados na aprendizagem de humanos” (BATES, 2015, p. 87). “A IA definida como o ramo da ciência da computação que se ocupa da automação do comportamento inteligente” (LUGER, 2009, p. 1). Russel e Norvig (1995, p. 3) contextualizam a IA nos anseios da “compreensão e construção de entidades inteligentes”. Ainda sob a ótica de Russel e Norvig (1995), a IA possui múltiplas definições, apresentadas na Figura 4. Acima do eixo “x” estão relações com os “processos de pensamento e raciocínio”. Abaixo do eixo “x” faz-se referência ao “comportamento”. À esquerda do eixo “y”, mensura-se o sucesso de acordo com a “fidelidade ao desempenho humano”. À direita do eixo “y”, mede-se o sucesso comparando-o a um conceito de inteligência ideal, chamado de “racionalidade”.

Portando, na visão de Russel e Norvig (1995), Figura 4, as definições da IA estão dispostas em 4 (quatro) categorias: (1) pensando como um humano; (2) pensando racionalmente; (3) agindo como seres humanos; (4) agindo racionalmente. Essas categorias são seguidas historicamente, cada uma delas com suas particularidades em torno dos métodos ora centrados nos seres humanos, ora com abordagem racionalista. “Uma abordagem centrada nos seres humanos deve ser em parte uma ciência empírica, envolvendo hipóteses e confirmação

experimental. Uma abordagem racionalista envolve uma combinação de matemática e engenharia” (RUSSELL; NORVIG, 1995, p. 5).

Figura 4 - Definições da Inteligência Artificial



Fonte: adaptado de Russel e Norvig (1995)

Inteligência Artificial é um domínio tecnológico em expansão com a capacidade de alterar múltiplos aspectos das nossas interações sociais. Na educação, a IA começou a produzir novos ensinamentos e soluções de aprendizagem que atualmente estão sendo testadas e difundidas em distintos contextos (UNESCO, 2019).

Quando se trata da Inteligência Artificial na Educação (IAED - *Artificial Intelligence in Education*), uma parte significativa da pesquisa em IAED compreende o uso de computadores para modelar situações educacionais que envolvem os sistemas. Geralmente, esses modelos relacionam-se aos processos de ensino e aprendizagem, mas têm condições de ir além e abarcar os aspectos sociais (BAKER, 2000). Com base nos conceitos apresentados, a próxima seção faz uma abordagem da Inteligência Artificial e os novos contextos educacionais.

### 3.4 Inteligência Artificial e a Educação 4.0

Para contextualizar a “Nova Educação” ou “Educação 4.0”, faz-se necessário desenvolver uma relação de sinergia a outro conceito relevante: a Revolução Industrial. O período atual é destacado pela “Indústria 4.0”, termo visto em 2011, na Alemanha, na feira de Hannover<sup>11</sup> para descrever as revoluções nas organizações das cadeias globais de valor, permitindo “fábricas inteligentes”. A quarta revolução industrial cria um mundo onde sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperem de forma global e de modo flexível. São estruturadas em automação e sistemas inteligentes de comunicação dentro dos centros industriais (SCHWAB, 2016).

Se no final do século XVII, durante Primeira Revolução Industrial (“Indústria 1.0”), a máquina a vapor e os processos de mecanização foram protagonistas, atualmente, na Quarta Revolução Industrial (“Indústria 4.0”), evidencia-se a fusão ou convergência de tecnologias digitais, com destaque para a Inteligência Artificial, a Internet das Coisas e Sistemas Ciberfísicos (BRAVERMAN, 1974; VERAS; RASQUILHA, 2019). Em se tratando de tempos contemporâneos, pode-se dizer que a humanidade está vivendo um momento dinâmico, transformador (VERAS; RASQUILHA, 2019). “A educação que passou discretamente às três primeiras revoluções industriais, poderá não conseguir se esquivar da quarta revolução. Acredita-se que o papel do professor e da escola poderão ser redefinidos” (VERAS; RASQUILHA, 2019, p. 8).

Atualmente, é de fundamental importância compreender as possibilidades da IA para qualquer tipo de instituição que tem anseios de inovar nos processos de modernização e de desenvolver orientações com as novas tecnologias, alinhando-se à Indústria 4.0, que vai além de sistemas e automação, uma vez que abarca processos cognitivos e estimula a capacidade de aprendizado. Na educação, apesar de reconhecidamente importante, o processo em questão parece ser mais lento. A concepção não difere das outras áreas e a IA se apresenta como uma das principais tecnologias disruptivas da atualidade, fato comprovado nos estudos e aplicações

---

<sup>11</sup> Feira de Hannover (do alemão Hannover *Messe*, do inglês Hanover *Fair*), considerada uma das maiores feiras de negócios do mundo, realizada na cidade de Hannover, na Alemanha, com envolvimento de empresas, universidades, centros de pesquisa e governo. Especificamente, no ano de 2011, o governo alemão apresentou temáticas a partir de alta tecnologia com a proposição de indústrias inteligentes.

de IA em ambientes de aprendizagem *online* e no *blended learning*<sup>12</sup> (BATES, 2015; HORN; STAKER; CHRISTENSEN, 2015).

As inovações disruptivas não são focadas em tentar trazer ou desenvolver as melhores tecnologias ou aplicações para a educação. Em vez disso, procuram estabelecer novas definições do que realmente é “bom”, do que, potencialmente, pode ser visualmente, aos olhos de estudantes ou professores, um sistema mais simples em usabilidade, mais intuitivo e que auxilie o suficiente para atender às necessidades contidas nos processos da escola. Essas quebras de paradigmas já se apresentam como *insights* para conceito da Educação 4.0 (HORN; STAKER; CHRISTENSEN, 2015).

A IA desenvolve papel primordial na Educação 4.0 para oferecer apoio aos professores na identificação de variáveis motivadoras e de desempenho junto aos estudantes. Ao estudante, destaca-se um modelo personalizado, a partir de sistemas com habilidades de analisar parâmetros com base nos níveis de conhecimento, para promover ambientes propícios para desenvolver aprendizagens adaptativas. Usa-se a base da IA para propiciar modelos preditivos ou gerenciar o progresso dos estudantes ao longo do processo de aprendizagem (VICARI, 2017). A Tabela 7 sintetiza alguns conceitos e percepções contemporâneas a respeito das aplicações da IA no ensino e na aprendizagem.

Tabela 7 - Percepções de IA no ensino e na aprendizagem

Percepções	Detalhamento das Percepções
IA consiste em sistemas computacionais com habilidades de simular o comportamento humano	Em referência aos sistemas inteligentes com a capacidade de desenvolver tarefas, que geralmente demandam domínio de um profissional especialista. Amplamente difundida nas empresas, alguns casos: assistente virtual Siri, da Apple; sugestões de compras da Amazon; recomendações de filmes na Netflix e Google Tradutor são alguns dos exemplos de sistemas com inteligência artificial presentes no cotidiano. Em contexto empresarial, as aplicações apontam para concepções sedimentadas e em ampla expansão, portando, questões foram postas na educação: E quanto às Instituições de Ensino? Qual será o futuro IA na Educação? Existe consenso acerca da IA na Educação?
IA como fonte para estabelecer direções para o aprendizado adaptativo e personalizado	Projetar sistemas de aprendizagem para se adaptar às aptidões, necessidades e conhecimentos prévios individuais dos estudantes. Esses sistemas adaptativos podem ter como base os conhecimentos prévios, para definir percursos de aprendizagens e propiciar orientações em relação aos passos durante o processo.

<sup>12</sup> Ambiente de modalidade de ensino híbrido. No *Blended Learning* (ou *B-learning*) não existe a separação entre a educação presencial e à distância, o conceito visa a abranger, flexibilizar os espaços dentro e fora dos considerados formais (BATES, 2015).

IA possibilita desenvolver sistemas de orientação para aprimorar a experiência dos estudantes	Permite o desenvolvimento de orientações com disponibilidade em tempo integral. As orientações podem ser do tipo dialogadas com uso da linguagem natural. De acordo com as orientações, a IA aprende e pode atualizar sua base de conhecimento e conseqüentemente determinar respostas mais precisas.
IA pode determinar recursos para avaliar os estudantes	A IA pode ser desenvolvida com aspectos voltados para as habilidades de compreensão de determinadas atividades desenvolvidas pelos estudantes. Por exemplo: na construção de frases, ao checar a estrutura adequada do vocabulário ou na fluência, ao analisar a pronúncia.
IA apresenta recursos para otimizar a experiência de estudantes com algum tipo de deficiência	As características da IA podem ser implementadas para aprimorar as experiências de aprendizagens aos estudantes que apresentem algum tipo de deficiência. Dentre a possibilidades existentes, é possível elencar algumas: (1) sistemas para descrever o conteúdo de imagens para estudantes com deficiências visuais; (2) legendas automáticas em filmes para aqueles com deficiência auditiva; (3) operações de mouse ou teclado a partir de comando de voz ou movimento dos olhos.

Fonte: TeachOnline (2018)

### 3.5 Algumas Vertentes de Pesquisas da IA na Educação

Na presente subseção, são exibidas algumas das principais subáreas de pesquisa da IA na Educação, frequentemente relacionadas ao desenvolvimento dos ITS's (KUYVEN et al., 2018; TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020; YANG, 2012). Foram selecionadas as seguintes subáreas: Processamento de Linguagem Natural; Aprendizado de Máquina; Sistemas Especialistas; Aprendizagem Adaptativa e, principalmente, os Sistemas de Tutoria Inteligentes. As seleções correspondem à fundamentação teórica utilizada para desenvolver o protótipo.

#### 3.5.1 Processamento de Linguagem Natural

O Processamento de Linguagem Natural (NLP – *Natural Language Processing*) consiste em uma das vertentes de IA com atuação na pesquisa e desenvolvimento de sistemas com a capacidade de compreender e responder a dados de texto ou voz da mesma forma com que os humanos se comunicam. O diálogo em linguagem natural configura componente essencial quando se trata de sistemas inteligentes que oferecem tutoria (LUGER, 2009; RUSSELL; NORVIG, 1995). Definições “incorporam a noção de armazenamento em

computador e manipulação de dados linguísticos; [...] habilidade de um computador em processar a mesma linguagem que os humanos usam no dia a dia” (ROSA, 2011, p. 137).

A compreensão de textos ou voz é expandida no NPL nas pesquisas computacionais em perspectivas de compreender a comunicação dos humanos, de modo a analisar as palavras, frases, sentenças e discursos. Consideram-se distintas composições ou construções de modo a analisar a estrutura com o objetivo de determinar o significado das intenções demandadas em um contexto (BARR; FEIGENBAUM, 1981).

NLP é utilizado para: compreender contextos; extrair contextos; categorizar conteúdos com base em análises linguísticas; extração automática de informações em estruturas textuais; interfaces em língua de natural para base de dados; traduções de uma língua natural para outra; indexações e sumarizações para grandes quantidades de texto; estabelecer significados por intermédio da sintática ou semântica; conversões em texto/voz e voz/texto; interpretações textuais; *fuzzy matching*; analisar de sentimentos etc. (LUGER, 2009; ROSA, 2011).

O NLP para o *fuzzy matching* corresponde a um método acionado no instante em que uma correspondência exata não é encontrada para uma palavra, frase ou sentença. O *fuzzy matching* é um método aprimorado para processar correspondências baseadas em palavras para encontrar outras palavras, frases ou sentenças correspondentes em um banco de dados. Em outras palavras, o *fuzzy matching* consiste em um tipo de pesquisa que irá buscar por correspondências, mesmo que o estudante digite uma palavra incorreta ou apenas parcial (DIALOGFLOW, 2022; RUSSELL; NORVIG, 1995).

A NPL representa uma área extensa de pesquisa dentro da IA e o presente trabalho pretende utilizar apenas os conceitos pertinentes aos sistemas ITS's. Dentre os conceitos derivados do NPL e utilizados no ITS, encontram-se os sistemas: para permitir a interação por meio de texto ou voz; para extrações textuais e descoberta de intenções; NPL para aplicações de domínio específico e o *fuzzy matching*. O NPL consiste uma área complexa e, em muitos casos, faz-se necessário envolver outras instâncias de IA, como o Aprendizado de Máquina.

### 3.5.2 Aprendizado de Máquina

Aprendizado de Máquina (ML - *Machine Learning*) fundamenta-se nos conceitos de que as máquinas possuem as habilidades de aprender a partir de uma ampla base de dados, com a capacidade relacionada entre reconhecer padrões e desenvolver associações entre esses dados. As aplicações<sup>13</sup> do ML consistem em algoritmos para compreender situações conhecidas, prever ou determinar novas classificações de dados em um contexto específico. Existem duas classificações para o ML: (1) supervisionado, em que utiliza-se de eventos conhecidos para prever situações inéditas; (2) não supervisionado, em que a análise dos dados é realizada sem prévio treinamento, de modo a explorar correspondências na própria base (QIN; CHIANG, 2019).

A difusão e aplicabilidade do ML se estabelece em virtude da sua capacidade de prever e classificar dados de diversos tipos de natureza. A técnica de ML vem sendo empregada em várias áreas, como nas concepções do *Deep Learning*, em que se associam o estado da arte do Aprendizado de Máquina aos conceitos das Redes Neurais Artificiais. Existem estudos que relacionam a mineração de dados a um conceito similar ao Aprendizado de Máquina. Sem dúvida, algumas tecnologias de Mineração de Dados podem se utilizar apropriadamente dos algoritmos de Aprendizado de Máquina. Portanto, essas tecnologias podem ser complementares para classificar ou prever contextos na aprendizagem escolar (CIOLACU et al., 2019).

### 3.5.3 Sistemas Especialistas

Os Sistemas Especialistas (ES - *Expert Systems*) traduzem-se em uma subárea da Inteligência Artificial e surgiram no início dos anos 1950, no grupo de pesquisa RAND<sup>14</sup>. Desenvolveram-se como solucionador de problemas gerais para lidar com a prova de teoremas, problemas geométricos e xadrez (SMITH et al., 2006). Os desenvolvedores de ES buscam o

---

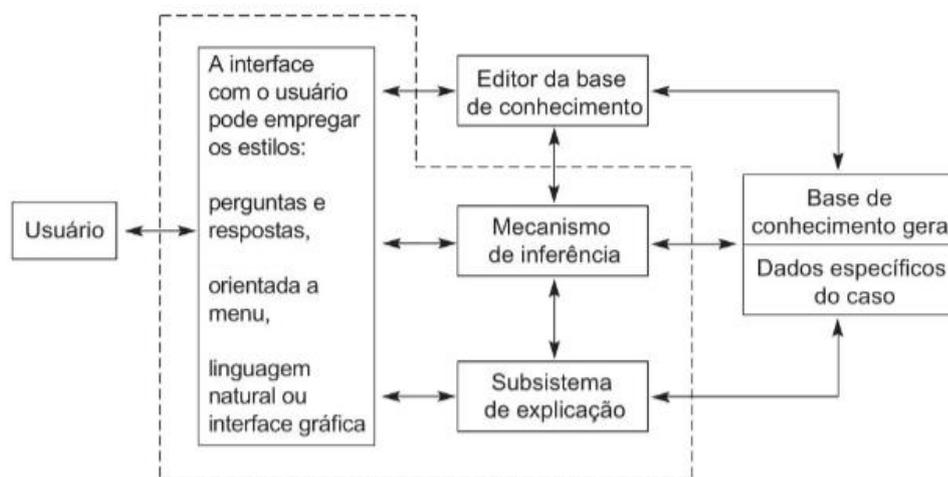
<sup>13</sup> Na história das aplicações com Aprendizado de Máquina, o reconhecido cientista da computação, Arthur Lee Samuel (IBM), teve importante participação com suas pesquisas e demonstrações que os computadores podem ser programados para aprender a jogar damas (SAMUEL, 1959).

<sup>14</sup> Rand Corporation da Universidade de Carnegie Mellon (Pittsburgh), do departamento de Ciência da Computação. Organização formada imediatamente após a Segunda Guerra Mundial (1948) para conectar o planejamento militar com as decisões de pesquisa e desenvolvimento.

conhecimento com o apoio de profissionais peritos no domínio, e o sistema especialista simula a metodologia e a atuação do profissional experiente. Assim como os profissionais experientes, os sistemas tendem a ser especializados e focam em um conjunto reduzido de problemas (LUGER, 2009).

“Os ES são construídos para resolver uma grande variedade de problemas em domínios como medicina, matemática, engenharia, química, computação, defesa e educação” (LUGER, 2009, p. 252). Os ES tratam algumas categorias de problemas como: (1) interpretação - criar conclusões de coleções de dados de um domínio especializado; (2) predição - prospectar prováveis consequências em ações indicadas no sistema; (3) diagnóstico - prováveis causas, em situações complexas, com análises dos sintomas observáveis; (4) projeto - buscar a composição dos componentes para conquistar os objetivos de desempenho esperados; (5) planejamento - sequência de ações para conquistar um conjunto de objetivos; (6) monitoramento - comparativos de comportamento e observações em relação ao seu comportamento esperado; (7) instrução - desenvolvimento de assistências especializadas para adequar domínios técnicos; (8) controle - gerenciamento do controle de um ambiente complexo (LUGER, 2009).

Figura 5 - Arquitetura de um Sistema Especialista



Fonte: traduzido de Luger (2009)

A Figura 5 exibe a arquitetura de um sistema especialista típico para um domínio de problema particular. ES são programas para modelar a experiência humana em uma ou mais áreas de conhecimento específicas. Geralmente, consistem em três componentes básicos: (1) um banco de dados de conhecimento com fatos e regras do conhecimento e a experiência

humana. “Contém o conhecimento de um domínio particular de aplicação, geralmente implementada por regras (*if, else*)” (LUGER, 2009, p. 253). A base de conhecimento possui tanto o conhecimento geral como a informação específica do domínio de atuação; (2) uma consulta de processamento de mecanismo e determinação de como as inferências estão sendo realizadas. “O mecanismo de inferência aplica o conhecimento à solução de problemas reais ou simulados. Ele é essencialmente um interpretador para base de conhecimento” (LUGER, 2009, p. 253). O subsistema de explicação elucida o raciocínio ao usuário; (3) e uma interface de entrada e saída para interações com o usuário, permitindo empregar distintas formas de interação: perguntas e respostas; menus interativos; linguagem natural. (SMITH et al., 2006).

### **3.5.4 Aprendizagem Adaptativa ou Personalizada**

A característica adaptativa consiste na capacidade do sistema de identificar preferências ou predicados dos estudantes e, de acordo com essas informações, customizar suas interações. Considerando o contexto pedagógico, essa aprendizagem explora os aspectos da tecnologia para responder as necessidades individualizadas, de acordo com o perfil de cada estudante (SOFLANO; CONNOLLY; HAINEY, 2015). O processo adaptativo consiste em compreender o comportamento de aprendizagem do estudante. Em geral, o paradigma adaptativo está associado aos estilos de aprendizagens dos estudantes (AMARAL; BARROS, 2007).

O estilo de aprendizagem caracteriza a compreensão de que os estudantes aprendem de distintas formas, respeitando contextos específicos como preferências e métodos de aprendizagem. Por exemplo, alguns estudantes podem apresentar aspectos de percepção mais visuais, outros auditivos (AKKOYUNLU; SOYLU, 2008). Ao compreender o estilo, constatou-se que, em muitos casos, estudantes que apresentavam dificuldades de aprendizagem, ao ter contato com um ambiente propício aos seus estilos, podem ser capazes de aprender de modo mais fácil (ÖZYURT et al., 2013).

“Em geral, estes estilos de aprendizagens estão associados às tendências e preferências individuais de cada estudante, que podem influenciar seu modelo de aprendizado” (AMARAL; BARROS, 2007, p. 3). Autores como Alonso, Gallego e Honey (2007) apud Amaral e Barros (2007) apontam a existência de estilos de aprendizagem definidos, como: (1) ativo - valoriza o

conhecimento prévio; (2) reflexivo - tendências a atualizar o conhecimento, criar significados aos conceitos, análises e reflexões; (3) teórico - desenvolve atributos lógicos, estipula teorias e princípios para criar estruturas de aprendizagens; (4) pragmático - aplicações de ideias, explorações e experimentos. O objetivo não consiste em avaliar ou rotular o estilo de aprendizagem de modo pragmático, mas, sim, detectar tendências no modelo de aprendizado de cada estudante e desenvolver melhores estratégias em relação a essa predominância.

A próxima vertente de IA na Educação consiste nos ITS's. O ITS compreende uma das principais referências teóricas para o desenvolvimento do sistema. Em virtude da sua relevância temática relacionada ao trabalho, os ITS's constituem um capítulo em específico.

## 4 SISTEMAS DE TUTORIA INTELIGENTES E CHATBOTS

A Inteligência Artificial apresenta características fundamentais para uma educação personalizada e esses predicados podem transformar o modo como os estudantes aprendem. A educação personalizada permite que cada estudante estabeleça definições das suas percepções de aprendizado, associando-as a um determinado currículo. A partir das definições, o estudante explora as situações de aprendizagem segundo seu conhecimento prévio, necessidades ou habilidades particulares. A IA compreende uma importante tecnologia de transformação na educação ao relacionar as aprendizagens adaptativas e personalizadas no sentido de apoiar os estudantes em seus caminhos durante a realização dos objetivos educacionais. Nesse contexto, os Sistemas de Tutoria Inteligentes se apresentam como abordagem da IA para apoiar o processo de aprendizagem adaptativo e personalizado (QUALLS, 2017).

Os Sistemas de Tutoria Inteligentes (ITS - *Intelligent Tutoring Systems*) são considerados sistemas computacionais que associam as técnicas da Inteligência Artificial (IA), como a subárea de Sistemas Especialistas (ES), com métodos e processos educacionais. “Essa associação possibilita o desenvolvimento de sistemas de tutoria adaptativos [...] para educação a distância ou educação híbrida” (SHUTE; PSOTKA, 1996, apud ROSA, 2011, p. 169).

As novas gerações dos ITS’s usam o Processamento de Linguagem Natural (NLP – *Natural Language Processing*), resultando nos chamados Sistemas de Tutoria Inteligentes Baseados em Linguagem Natural. “A partir da integração do módulo NLP, espera-se conquistar melhor eficiência no processo de aprendizagem” (ROSA, 2011, p. 169). Esses sistemas usam os recursos textuais encontrados nos chatbots (ROSA, 2011).

O Sistema Especialista do chatbot fundamenta-se nos diálogos orientados por IA, representado por um Sistema de Tutoria Inteligente com bases em NLP. Os chatbots funcionam como agentes inteligentes digitais que exercem interações dialogadas com os estudantes, simulando as orientações de um professor (BEAUMONT; LIN NORTON; TAWFIK, 2011; CHEN; ZHANG, 2019; LUGER, 2009; PATEL et al., 2019a; RUSSELL; NORVIG, 1995).

Antes de abordar as características específicas dos ITS's e chatbot, faz-se necessário apresentar suas definições e contextualizar seus aspectos históricos (precursores e marcos).

## 4.1 Introdução e Definições dos Sistemas de Tutoria Inteligentes

Atualmente, após completar mais de 5 (cinco) décadas de evolução, os esforços na utilização dos Sistemas de Tutoria Inteligente como assistentes curriculares são amplamente aceitos. Com o objetivo de posicionamento dos ITS's, deve-se considerá-los como uma subárea de Sistemas Especialistas (COOPER; NAM; SI, 2012). Em tempos contemporâneos, as pesquisas e ações com envolvimento dos ITS's apresentam um crescimento acelerado. Em explorações, para tornar os tutores virtuais mais humanos, pesquisadores investigam os paradigmas de tutoria, a modelagem dos alunos, a modelagem de instrução, o planejamento curricular adaptativo e as interfaces com o usuário (TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020; YANG, 2012).

Os ITS's tem suas bases “nas relações da IA, Instrução Auxiliada por Computador (CAI - *Computer-Assisted Instruction* ou *Computer-Aided Instruction*) e psicologia cognitiva<sup>15</sup>” (CHEN; ZHANG, 2019, p. 443). Há distinção significativa entre o CAI e os ITS's. Enquanto o CAI geralmente se refere a um sistema baseado em quadros com *links* codificados, ou seja, hipertexto com um propósito instrucional, os ITS's têm a capacidade de resolver problemas interativos e de organizar o currículo (HEFFERNAN, 1998; OTSUKI; SAMEJIMA, 2013).

Nessas relações, surgem diversas definições para o ITS: “consiste de um agente digital tutorial programado que ensina os estudantes [...], ITS simulam um tutor individual humano para fornecer conhecimento interativamente [...]” (OTSUKI; SAMEJIMA, 2013, p. 3471).

ITS consiste uma versão refinada das máquinas de ensino, baseados em segmentar a aprendizagem em uma série de etapas administráveis e analisar as respostas dos alunos para encaminhá-los para o próximo passo mais adequado, a aprendizagem adaptativa é a mais recente extensão de tais desenvolvimentos (BATES, 2015, p. 87)

---

<sup>15</sup> Os conceitos buscam as regras, princípios ou relações no processamento de novas informações. Explora o sentido e consistência em conciliar novas informações com o conhecimento anterior (BATES, 2015).

Sistema Inteligente de Tutoria consiste em um “sistema de computador que fornece instrução personalizada ou *feedback* aos alunos sem muita intervenção de professores humanos” (COOPER; NAM; SI, 2012, p. 138).

Quando se trata da eficácia em relacionar instruções, algumas vantagens são atribuídas aos ITS's: (1) instrução individual. Propicia oportunidades que se moldam às demandas dos alunos, possibilitando, por exemplo, o acesso a um mesmo currículo a partir de distintos pontos de entrada em processos personalizados de aprendizagem; (2) compreender as habilidades para que os alunos possam alcançar níveis de aprendizagens semelhantes de modo mais efetivo; (3) em um contexto adequado de planejamento do *design*, os ITS's apresentam possibilidades para que os professores possam se concentrar em pequenos subgrupos de alunos que eventualmente necessitam de apoio complementar ou tenham demandas específicas e, assim, promover instruções mais efetivas (COOPER; NAM; SI, 2012).

“O ITS refere-se a qualquer programa de computador que possa ser usado na aprendizagem e que contenha inteligência, essa amplitude sem dúvida ajudou a fazer da pesquisa de ITS o campo amplo e variado” (HEFFERNAN, 1998, p. 50). Os ITS's, também, classificam-se por características subjacentes ao seu algoritmo. Algumas dessas subjacências se enquadram em uma categoria denominada de modelo de tutoria inteligente de rastreamento, que monitora o progresso dos estudantes e os mantém dentro de uma tolerância especificada de um caminho de solução aceitável (HEFFERNAN, 1998).

## **4.2 Histórico dos Sistemas de Tutoria Inteligentes**

Em 1950, muito antes do surgimento dos Sistemas de Tutoria Inteligentes, o conceito de Processamento de Linguagem Natural já apresentava suas características marcantes de proposição no artigo publicado por Alan Turing, “*Computing Machinery and Intelligence*”, na revista filosófica “Mind”. Dentre as propostas, a consideração de questões em relação à “máquina” e ao “pensar” expostas no artigo deram início à história do Processamento de Linguagem Natural. Houve a apresentação e a condução do reconhecido e notável conceito do “Teste de Turing”, para testar a habilidade da máquina em expor um comportamento inteligente correspondente ao ser humano (LUGER, 2009; RUSSELL; NORVIG, 1995; TURING, 1950).

## 4.2.1 Precusores dos Sistemas de Tutoria Inteligentes

As pesquisas de Turing fomentaram gatilhos para futuras linhas de estudo, como os esforços para determinar os sistemas com a Instrução Auxiliada por Computador, considerada a primeira iniciativa com sistemas de tutoria da computação. Ao longo da história de IA, os sistemas CAI evoluíram para Sistemas de Tutoria Inteligentes (ITS). Em um primeiro instante, o objetivo da pesquisa do CAI foi criar programas de instrução para incorporar a preparação materiais, considerados pertinentes, para otimizar as aulas de um determinado curso. Os primeiros programas eram chamados de “*page-turners*” (viradores de páginas, tradução literal) eletrônicos que apresentavam textos e preparavam exercícios mais simples. Eles monitoravam a prática, apresentavam os problemas e respondiam às soluções dos alunos usando respostas previamente armazenadas e comentários de correções (BARR; FEIGENBAUM, 1981).

### 4.2.1.1 Instrução Auxiliada por Computador (CAI)

No início de 1960, a Instrução Programada (PI – *Programmed Instruction*) encontrava-se em foco na educação. A PI exigia que o *design* do processo<sup>16</sup> especificasse as entradas e saídas. Essas entradas e saídas, em termos de inserção, eram relacionadas aos comportamentos desejados em determinadas atividades (em geral, representadas por resoluções de problemas) que poderiam ser desenvolvidas ou atribuídas aos estudantes (CARBONELL, 1970).

À medida que os estudantes eram conduzidos no fluxo do processo, de modo a determinar resoluções para problemas de um determinado currículo, respostas abertas eram obtidas em cada etapa. Respostas inconsistentes ou incorretas eram corrigidas e informadas imediatamente aos estudantes, indicando a precisão da solução antes de passar à próxima etapa. Nesse contexto, surgiram muitos pesquisadores da área de tecnologia, que indicavam que o PI aumentaria significativamente o aprendizado, principalmente por adotar abordagens sistemáticas de decomposição de problemas. A intensificação desses estudos fez com que o conceito do PI evoluísse em um sistema para computadores, resultando na Instrução Auxiliada

---

<sup>16</sup> Nessa época, o processo ainda não era especificado em um programa de computador ou *software*.

por Computador. As semelhanças entre PI e CAI são que ambos têm currículos bem definidos, enquanto a principal diferença consiste no fato de que o CAI é gerenciado por um sistema no computador (SHUTE; PSOTKA, 1996).

O CAI também evoluiu da psicologia, dos esquemas de reforçamento de Skinner e influências da “*Teaching Machine* de Skinner<sup>17</sup>”. A resposta do estudante ao CAI determina a eficácia do processo, resultando nas possibilidades em relação às ações que eventualmente possam ser tomadas. Em um exemplo prático, a cada etapa do currículo, o computador avalia se a resposta do estudante está em conformidade e apresenta o caminho correto a se seguir. Os *loops* (repetições dentro do programa) podem ser considerados como os tutores dos estudantes, na tentativa de apoiá-los nas respostas inconsistentes. Em uma contingência, “se” o estudante responder corretamente, “então” ele avança no currículo (SHUTE; PSOTKA, 1996).

Detalhando um pouco mais, o professor desenvolve, com antecedência, todas as seções do programa. Os processos do CAI apresentam conceitos seguido por um problema, que representa um subconjunto do currículo. Em um determinado momento, o CAI avalia o conhecimento ou habilidade do estudante por meio do teste de solução do problema. A resposta do aluno é comparada com a resposta correta e o computador fornece o *feedback* apropriado. Se a resposta estiver correta, um novo problema é selecionado e apresentado, mas se o aluno responder incorretamente, um sistema de intervenção é disparado. A intervenção tem como objetivo revisar o material anterior, apresentar problemas considerados mais simples (ou apropriados) que se elevam à profundidade do material original e assim por diante (SHUTE; PSOTKA, 1996). A Figura 6 exibe o fluxo de eventos do CAI.

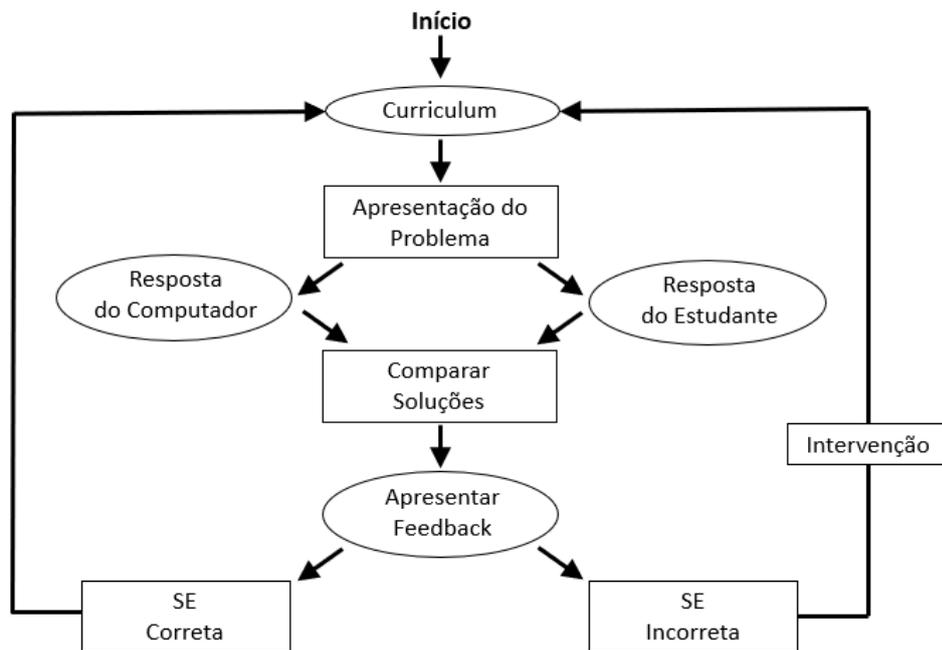
Posteriormente, na década de 1970, os sistemas CAI apresentavam novos conceitos, representando o material do curso independentemente dos procedimentos de ensino, de forma que os problemas e comentários pudessem ser gerados de maneira distinta para cada aluno. Nesse instante, com o objetivo de apoiar a aprendizagem, surgiu uma importante iniciativa de CAI. Mais precisamente no dia 20 de julho de 1970, Carbonell (1970) tinha sua pesquisa recebida no IEEE na seção de “*Man-Machine Systems*” (publicada no Vol.11, n.4, dezembro

---

<sup>17</sup> Em seu artigo “*Teaching Machines*” (1958), Skinner reconhece o pioneirismo de Pressey (1926) na concepção da “*Teaching Machine*” (que patenteou o projeto 30 anos antes), até por conta da imprensa popular da época, que elogiava Skinner como inventor da máquina. Contudo, Skinner deixava claro suas divergências com Pressey, além da abordagem de reforçamento, citando a funcionalidade da “*Teaching Machine* de Pressey”, dependia de opções de múltipla escolha enquanto a “*Teaching Machine* de Skinner” fazia os estudantes comporem respostas.

de 1970). O objetivo principal da pesquisa relatada foi a apresentação de um novo tipo de CAI. O sistema apresentado em questão foi o SCHOLAR, capaz de revisar os conhecimentos dos estudantes em um determinado contexto (geografia da América do Sul, exemplo citado no próprio artigo de Carbonell). Após a inicialização do sistema, chamado pelo estudante por meio dialogado, o SCHOLAR desenvolve as interações conversacionais, com comunicação escrita, em referência aos chatbots (BARR; FEIGENBAUM, 1981; CARBONELL, 1970).

Figura 6 - Fluxo de eventos CAI

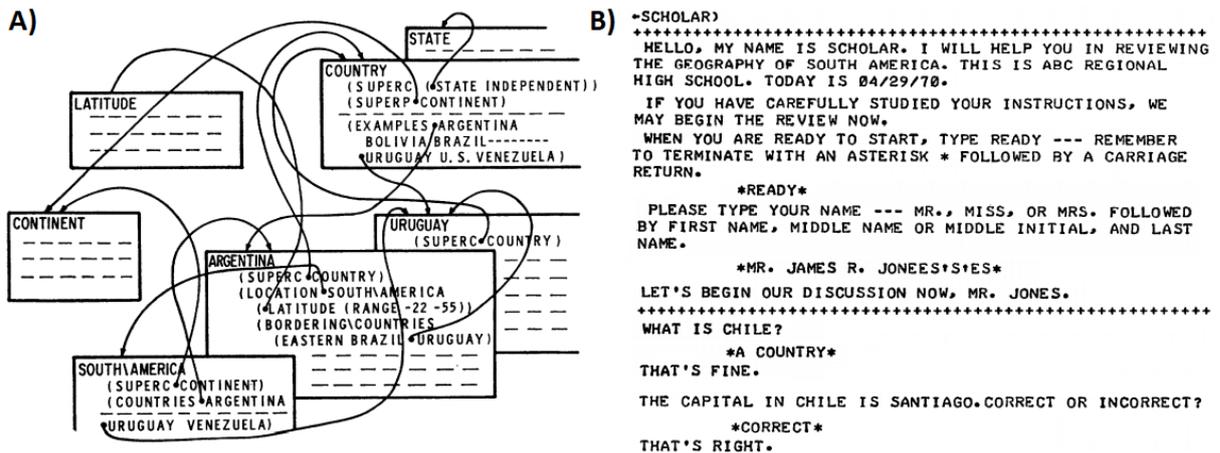


Fonte: traduzido de Shute e Psothka (1996)

Em características intrínsecas, o SCHOLAR já continha sistemas capazes de alertar o aluno no instante da incompreensão da pergunta, podendo, inclusive, detectar erros de ortografia. O sistema gera perguntas e avalia as respostas dos estudantes, decidindo quando estão corretas, erradas ou apenas aproximadamente ou parcialmente corretas para, então, realizar algumas ações condicionais. O SCHOLAR é capaz de aplicar critérios de uma base de conhecimento específica. A base consiste em uma estrutura de informação bem definida, em uma rede de conceitos e procedimentos como um banco de dados. Os elementos dessa rede formam uma unidade de informações para definir palavras em forma de listas, como em uma árvore de níveis. Os elementos dessas listas são outras palavras que, por sua vez, apontam para suas respectivas unidades e assim por diante. A Figura 7 (a) é uma representação simplificada de uma parte da rede, com informações da geografia da América do Sul. Cada plano (em forma

de retângulo) representa uma unidade com um atributo (Uruguai, Argentina, América do Sul, país, latitude etc.) e seu conjunto de propriedades, respectivamente. A Figura 7 (b) exibe a tela de boas-vindas do SCHOLAR e apresenta o processo de interação com o sistema (as linhas com asterisco “\*” indicam as respostas dos estudantes) (CARBONELL, 1970).

Figura 7 - (a) Exibição da rede SCHOLAR; (b) Tela SCHOLAR



Fonte: Carbonell (1970)

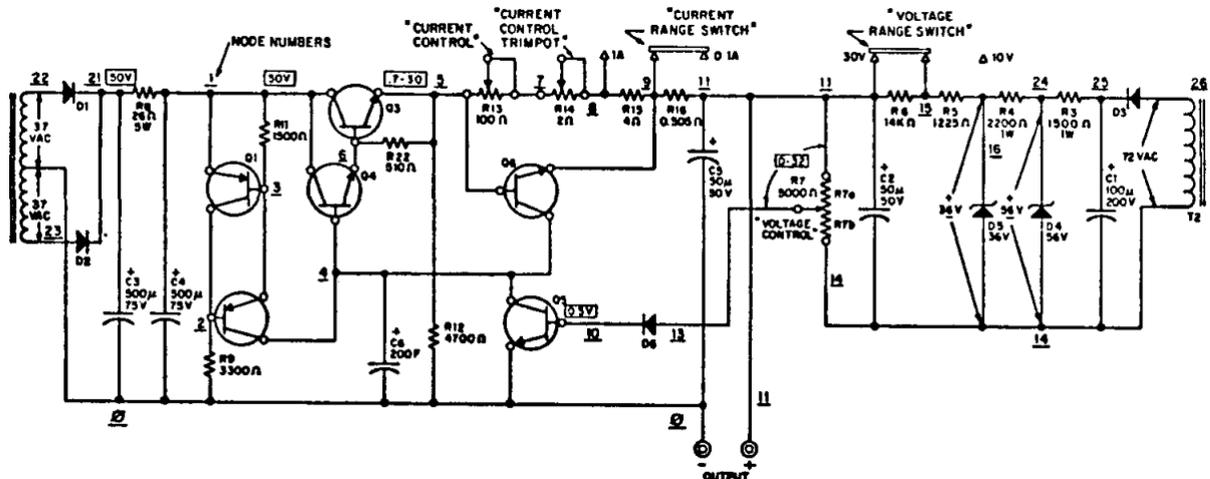
Esse tipo especial de *software* interativo, recém-criado, apresentava as características de domínio para um determinado meio de transmissão de conhecimento de modo bidimensional, adaptativo e incremental. Nesta época, grande parte dos pesquisadores destes sistemas compartilhavam da premissa que o *software* interativo poderia fornecer excelente instrução para um grande número de estudantes em um determinado domínio de conhecimento (FREEDMAN; ALI; MCROY, 2000).

Mais um artigo havia sido publicado nos anais da conferência anual da ACM de 1974 de título: “SOPHIE *SOPHisticated Instructional Environment: a pragmatic use of artificial intelligence in CAI*” dos autores Brown e Burton (1974). O artigo descreve a nomenclatura AI-CAI (*Artificial Intelligence-Computer-Aided Instruction*) para um sistema totalmente operacional que incorporava técnicas de IA para verificar hipóteses e formulações de teorias de domínio para soluções de problemas em um laboratório de eletrônica simulado. O domínio relaciona-se a encontrar as “falhas” em peças com defeito, cujas características são fornecidas por meio de “medições”. O sistema decide a validade da medição, opta por eliminar ou isolar uma falha e informa ao estudante quando uma medição proposta não fornece nenhuma informação nova (BARR; FEIGENBAUM, 1981; BROWN; BURTON, 1974).

Como diferencial, SOPHIE apresenta um analisador estrutural altamente ajustado para comunicar em linguagem natural. Neste momento, os sistemas de tutoria já indicavam indícios na exploração do ensino de habilidade de resolução de problemas, sem serem forçados a apresentar apenas problemas que continham conjuntos de soluções definidas, como era o caso do sistema antecessor, o SCHOLAR (BARR; FEIGENBAUM, 1981; BROWN; BURTON, 1974).

A Figura 8 exibe um modelo de analisador estrutural gerado no SOPHIE. O modelo forma fontes de alimentação e transistores com comportamento de limitação de corrente e tensão. O sistema seleciona aleatoriamente uma temática, para representar um problema a ser resolvido. Nesse sentido, diversos caminhos poderiam ser explorados, levando-se em consideração as respostas e a avaliação das hipóteses possíveis no modelo. Para enfatizar o diálogo (Figura 8), o estudante não está restrito a nenhuma ordem em particular. Isso significa que o sistema é capaz de avaliar as hipóteses do estudante ou gerar uma coleção de hipóteses relativas a qualquer conjunto possível dentro do domínio (BROWN; BURTON, 1974).

Figura 8 - Modelo de aprendizagem AI-CAI SOPHIE



Fonte: Brown e Burton (1974)

Posteriormente, houve várias iniciativas de aplicações educacionais de sistemas de tutoria relacionadas na obra de referência *“The Handbook of Artificial Intelligence”* editadas por Barr e Feigenbaum (1981). Dentre as iniciativas aplicadas à educação, destacam-se: (1) WHY (1977), por Collins e Stevens, para orientar, de forma dialogada, os fenômenos de ocorrências das chuvas; (2) WEST (1979), por Burton e Brown, jogo educacional (*“How the*

*WEST was won*”) com aprendizagem nas descobertas orientadas por um “coach” (componente), na função de “treinador”, observador e apoiador. (3) WUMPUS (1973, *Hunt the Wumpus*), por Gregory Yob, jogo de descobertas com IA e agentes inteligentes. (4) GUIDON (1979), projeto da Universidade de Stanford, sistema tutorial especialista para ensinar diagnósticos de infecções do sangue, desenvolvido nas bases do MYCIN<sup>18</sup>; (5) BUGGY (1978), por Brown, Burton e Larkin, sistema para determinar com precisão os “bugs” (equivocos) de um estudante sobre as habilidades aritméticas básicas (BARR; FEIGENBAUM, 1981; CLANCEY, 1987).

Destaca-se nos processos de ensino e aprendizagem a complexidade das interações individualizadas. No passado, os computadores contribuíram para a instrução prática, programada e tutorial com simulações educacionais com a experimentação e desenvolvimento de situações associadas a determinado domínio. Essas aplicações continham as propriedades para despertar o interesse dos estudantes, muitas vezes entediados com intervenções tradicionais. Contudo, havia demandas de pesquisas para ir além dos tutores CAI, para desenvolver sistemas de instrução independentes de domínio, para adaptação às necessidades individuais de cada estudante. Além das necessidades, já havia indícios de mudança de paradigma dos métodos de ensino em relação à incorporação da cognição e da psicologia nos programas instrucionais. Com o passar do tempo, cada vez mais pesquisadores dedicam-se às investigações de novas tecnologias para tornar o *software* instrucional mais inteligente, eficiente e prático (FREEDMAN; ALI; MCROY, 2000; SLEEMAN; BROWN., 1982).

Nesse contexto e época, observou-se que uso de computadores para educar passou por grandes transformações desde sua concepção. A denominação de *software* de tutoria passou pela CAI (*Computer-Aided Instruction* – Instrução Auxiliada por Computador), CAL (*Computer Assisted Learning* – Aprendizagem Assistida por Computador), CBT (*Computer-Based Training* – Treinamento baseado em computador), ICAI (*Intelligence Computer-Aided Instruction* – Instrução Inteligente Auxiliada por Computador) e finalmente o ITS (*Intelligent Tutoring System* – Sistemas de Tutores Inteligentes) (FREEDMAN et al., 1998; FREEDMAN; ALI; MCROY, 2000).

---

<sup>18</sup> Sistema especialista com inteligência artificial para identificar bactérias que causam graves infecções, como meningite e, para recomendar antibióticos com a dosagem ajustada ao peso corporal do paciente. MYCIN foi inspirado nas características dialogadas do sistema SCHOLAR (CLANCEY, 1987).

#### **4.2.1.2 Instrução Inteligente Auxiliada por Computador (ICAI)**

No ambiente educacional, os sistemas do tipo ICAI apresentavam uma estrutura distinta dos CAI, como a utilização de técnicas de IA associadas à psicologia cognitiva, para orientação do processo de ensino e aprendizagem. Seu processo se distinguiu por conter características que estimulavam a indução dos estudantes a selecionar aquela resposta considerada correta, com base em estímulos antecipadamente planejados. Existia, também, a distinção entre as estratégias de ensino, aprendizagem e o conteúdo a ser apresentado. Os ICAI's procuravam desenvolver extrações das habilidades cognitivas dos estudantes e usavam os resultados reportados ao sistema como fonte de informações a serem analisadas para apoiar as tomadas de decisões (SHUTE; PSOTKA, 1996).

As linhas de pesquisas do ICAI já consideravam a representação do conhecimento com o desenvolvimento de problemas aplicados em sistemas inteligentes. Nesse contexto, os ICAI's já apresentavam vários indícios que permitiam desenvolver processos em relação à modelagem e à personalização do ensino. Em contexto de aplicação, suportaria desenvolver a apresentação de um determinado currículo, de domínio específico, de um modo considerado mais adequado aos conhecimentos prévios individuais de cada estudante (SHUTE; PSOTKA, 1996; SLEEMAN; BROWN., 1982).

Mesmo que muitos pesquisadores não apontem uma clara demarcação de modo explícito entre os limites CAI e ICAI, ainda sim, existem diversos consensos em admitir os aspectos mais complexos do ICAI. Essa complexidade pode ser observada nas características mais autônomas ou independentes, na forma de comportamento do sistema e, principalmente, no claro desenvolvimento das técnicas de programações avançadas providas dos conceitos da IA (FREEDMAN; ALI; MCROY, 2000; SLEEMAN; BROWN., 1982).

Observa-se que os sistemas PI, CAI e ICAI (e demais pertencentes ao histórico de evolução) estavam em um processo de obsolescência conceitual, pois os novos paradigmas de sistemas inteligentes já começaram a adotar abordagens que levavam em consideração o seu comportamento em uma estrutura de conhecimento dos estudantes. Essas características já estavam sendo somadas às novas possibilidades de tornar o comportamento do computador

mais inteligente, ao ponto em que os sistemas começaram a ganhar níveis relativamente significantes em relação à inteligência dos componentes. Esses aspectos consistiram nos primeiros indícios relevantes para se estabelecer os novos conceitos dos Sistemas de Tutoria Inteligentes (BARR; FEIGENBAUM, 1981; FREEDMAN et al., 1998; FREEDMAN; ALI; MCROY, 2000; SLEEMAN; BROWN., 1982).

### 4.3 Concepção dos Sistemas de Tutoria Inteligentes

Em resposta à necessidade de uma visão geral da pesquisa do ICAI, D. Sleeman, que pertencia à Univesidade de Leeds (*University of Leeds*) e atualmente atua na Universidade de Stanford (*Stanford University*), e J.S. Brown, do Centro de Pesquisas da Xerox, Palo Alto, compilaram uma série de 6 (seis) artigos que detalham o trabalho nesse campo da evolução dos sistemas de tutoria. Esses artigos foram publicados pela primeira vez em uma edição especial do “*International Journal of Man-Machine Studies*”, janeiro de 1979. Sleeman e Brown revisaram o estado da arte dos sistemas antecessores, CAI e ICAI, e criaram o novo conceito, Sistemas de Tutoria Inteligentes, a partir dos esforços de revisão, edição e publicação da obra de referência, o livro “*Intelligent Tutoring Systems*”, no ano de 1982. Sleeman e Brown podem ser considerados os pesquisadores pioneiros nas publicações que relatavam os novos paradigmas dos ITS’s (FREEDMAN et al., 1998; FREEDMAN; ALI; MCROY, 2000; SLEEMAN; BROWN., 1982).

No prefácio do livro “*Intelligent Tutoring Systems*”, Sleeman e Brown (1982) indicam como público-alvo da obra: educadores, técnicos educacionais, bem como trabalhadores das áreas de IA e ciência cognitiva. Na introdução, os autores fazem um breve relato dos predecessores, ICAI, elencando várias conclusões gerais. Essas conclusões apontavam que os sistemas de instrução deveriam ser adaptativos, com módulos para acompanhar a evolução dos estudantes e que os ITS’s pudessem contar com um domínio específico de conhecimento. Os autores definem categorias para trabalhos relacionados a ITS’s, como: (1) realizar análises detalhadas dos processos de aprendizagem; (2) desenvolver construções teóricas para uso em ITS que, também, podem ser psicologicamente inteligentes; (3) desenvolver técnicas de inteligência artificial que utilizam tais construções teóricas para melhorar a funcionalidade,

robustez e capacidade de resposta dos ITS's. Os documentos reunidos no livro descrevem pesquisas nessas áreas, bem como trabalhos voltados para o aperfeiçoamento dos sistemas de ensino (SLEEMAN; BROWN., 1982).

Importante reforçar que os ITS's foram concebidos como sistemas de IA, mais especificamente do tipo ES (Sistemas Especialistas). Os ITS's são tidos como agentes especialistas programados para simular de modo interativo as características de um tutor humano. Em um esboço inicial, Sleeman e Brown argumentaram que um ITS deveria possuir: (1) conhecimento do domínio (modelo especialista); (2) conhecimento do estudante (modelo do estudante); (3) conhecimento das estratégias de ensino (modelo do tutor) (OTSUKI; SAMEJIMA, 2013; SLEEMAN; BROWN., 1982). Essa definição de ITS está presente nos primeiros esforços de Sleeman e Brown (1982), na clássica obra que cunhou o termo, o livro *"Intelligent Tutoring Systems"*. Posterior ao ano de 1982, a terminologia apresentou obras que tratavam do termo "Inteligência Artificial e Sistemas de Tutoria" (*"Artificial Intelligence and Tutoring Systems"*) até o ano de 1987, em que o termo definitivo se estabeleceu, o que determinaria um tipo de arquitetura clássica (ou tradicional) do ITS: (1) domínio; (2) aluno; (3) tutor; (4) interface com usuário; acrescentando um modelo à antiga arquitetura de Sleeman e Brown (NKAMBOU; MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2010; SLEEMAN; BROWN., 1982). Os principais tipos de arquiteturas dos ITS's são amplamente abordados na Seção 4.4. (Arquitetura de um Sistema de Tutoria Inteligente).

Além da proposição da arquitetura, para considerar um ITS "inteligente", deve ser posto à prova na análise de 3 (três) testes: (1) o domínio da especialização desenvolvido de maneira que o sistema possa fazer acesso às informações específicas de conteúdo, determinar inferências ou trabalhar com solução de problemas; (2) o sistema possuir a habilidade de desenvolver avaliações sobre o domínio, aquisição ou interação sobre o conhecimento, em um modelo específico orientado ao estudante; (3) as estratégias modeladas ao tutor concebidas para reduzir o "gap" entre o conhecimento do especialista e do estudante (SHUTE; PSOTKA, 1996).

Mais recentemente, obras como o livro de Woolf (2009) *"Building Intelligent Interactive Tutors: Student centered strategies for revolutionizing e-learning"* disponibilizou uma enciclopédia oficial para iniciar a construção de um ITS. Outras obras merecem destaque, como o livro de Nkambou et al. (2010) que, além de disponibilizar uma compreensão básica do

campo, destaca a evolução e avanços mais recentes de trabalhos na área. De acordo com os autores, o livro foi escrito e direcionado para especialistas em ITS's e futuros especialistas, principalmente, de modo a relacionar aspectos dos ITS's à Inteligência Artificial na Educação (IAED). Nkambou et al. (2010) destaca que o campo dos ITS's não é tão rico em livros quanto periódicos e anais de conferências.

À medida que os sistemas começaram a ganhar níveis relativamente significantes relativos à inteligência dos componentes, as arquiteturas, também, apresentaram processos de evoluções para atender as iniciativas dos ITS's.

#### 4.4 Arquitetura de um Sistemas de Tutoria Inteligente

Os ITS's compartilham de objetivos comuns em relação a prover um ambiente especializado que apoie o ensino e aprendizagem. Ao longo do histórico observou-se algumas maneiras de conceituar, projetar e desenvolver esses ITS's. Os primeiros esforços nessa direção começaram entre as décadas de 1960 e 1970, com o desenvolvimento do CAI proposto por Carbonell (1970). Posteriormente o termo “*Intelligent Tutoring Systems*” foi estabelecido por Sleeman e Brown em seu volume de mesmo título (SLEEMAN; BROWN., 1982).

A primeira conferência de ITS ocorreu em junho 1988 (ITS'88: *The International Conference on Intelligent Tutoring Systems*) em Montreal. Posteriormente evoluiu para conferências<sup>19</sup> recorrentes ao redor do mundo. O Brasil sediou a 7ª conferência internacional (2004), na cidade de Maceió. As conferências, ressaltando a 1ª ITS'88, proporcionaram os primeiros gatilhos de oportunidades para compartilhar e consolidar ideias em relação aos ITS's. Entre essas oportunidades, encontravam-se a divulgação dos vários projetos de pesquisa que já centravam seus esforços nos trabalhos de ITS's, levantando fundos e implantando sistemas.

---

<sup>19</sup> 18ª ITS 2022: Bucarest, Romênia; 17ª ITS 2021: Evento Virtual; 16ª ITS 2020: Atenas, Grécia; 15ª ITS 2019: Kingston, Jamaica; 14ª ITS 2018: Montreal, Canadá; 13ª ITS 2016: Zagreb, Croácia; 12ª ITS 2014: Honolulu, EUA; 11ª ITS 2012: Chania, Grécia; 10ª ITS 2010: Pittsburgh, EUA; 9ª ITS 2008: Montreal, Canadá; 8ª ITS 2006: Jhongli, TIAwan; 7ª ITS 2004: Maceió, Brasil; 6ª ITS 2002: San Sebastián, Espanha; 5ª ITS 2000: Montreal, Canadá; 4ª ITS 1998: San Antonio, EUA; 3ª ITS 1996: Montreal, Canadá; 2ª ITS 1992: Montreal, Canadá; 1ª ITS 1988: Montreal, Canadá. Disponível em: <https://link.springer.com/conference/its>

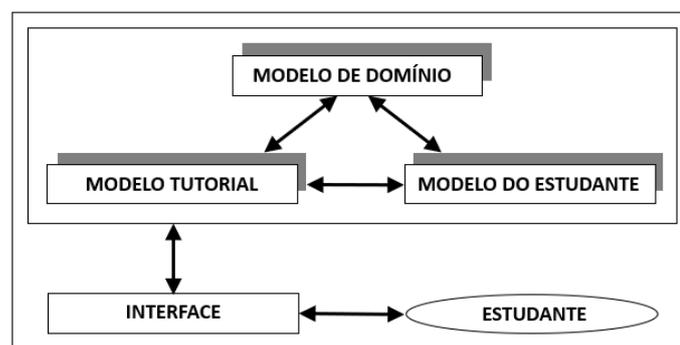
Contudo, o destaque da ITS'88 consistiu na apresentação de uma arquitetura clássica de um ITS (NKAMBOU; MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2010; SLEEMAN; BROWN., 1982).

Com o objetivo de privilegiar a leitura, a palavra “modelo” utilizada para designar a arquitetura de um ITS refere-se a um termo computacional, da engenharia de *software*, correspondente a um “módulo” ou “componente” da arquitetura de um sistema. Portanto, para a arquitetura do ITS, o “modelo de domínio” corresponde a um sinônimo de um “módulo de domínio” ou “componente de domínio”. Tanto “modelo” quanto “módulo” são nomenclaturas amplamente utilizadas nos trabalhos para referenciar as arquiteturas de um ITS.

#### 4.4.1 Arquitetura Clássica dos Sistemas de Tutoria Inteligente

A arquitetura clássica (ou tradicional) teve seu esboço inicial apresentado por Carbonell em meados da década de 1970, posteriormente consolidada nos esforços de Sleeman e Brown na década de 1980 (SLEEMAN; BROWN., 1982). Na arquitetura clássica, o sistema divide-se em 4 (quatro) componentes, considerando o conhecimento e o raciocínio necessários, deixando o plano de integração em aberto. A Figura 9 exhibe os 4 (quatro) componentes da arquitetura: (1) modelo de domínio; (2) modelo do estudante; (3) modelo do tutor; (4) modelo de interface (NKAMBOU; MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2010).

Figura 9 - Arquitetura clássica ITS

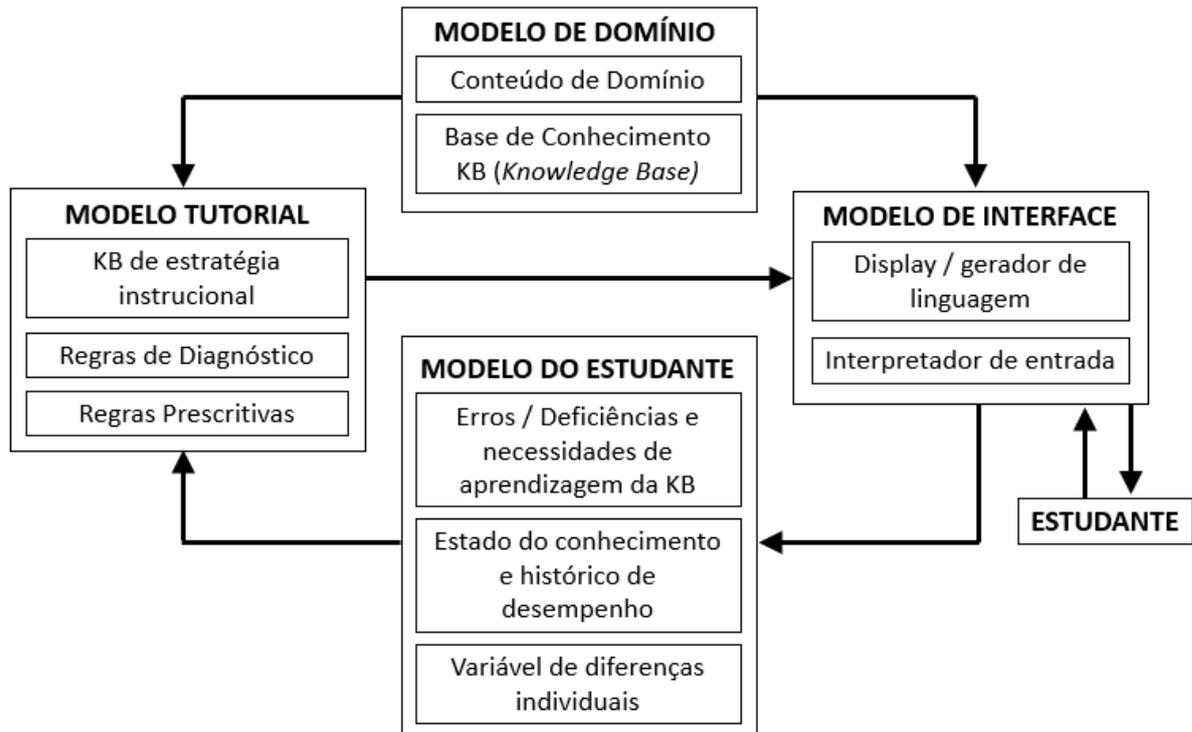


Fonte: adaptado de Nkambou et al. (2010)

Os 4 (quatro) componentes principais e funcionais de um ITS formam o primeiro modelo de arquitetura que descreve os componentes e seus relacionamentos estruturais. As funções operacionais dos ITS's são determinadas por componentes ou modelos principais

(Figura 10) que admitem subcomponentes em suas estruturas (PARK, 1988). As subseções posteriores apresentam cada modelo com seus subcomponentes.

Figura 10 - Relações e componentes da arquitetura clássica ITS



Fonte: adaptado de Park (1988)

#### 4.4.1.1 Modelo de Domínio

O modelo de domínio, também chamado de modelo especialista ou especializado, “contém os conceitos, regras e estratégias de resolução de problemas do domínio a ser ensinado” (NKAMBOU; MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2010, p. 4) e é responsável por gerar e armazenar conhecimento sobre um determinado assunto (HASAN et al., 2020; PARK, 1988). O modelo de domínio é formado por dois subcomponentes: (1) a “base de conhecimento” e (2) “solução de problemas e modelo de critério desempenho”; portanto pode-se dizer que o modelo de domínio cumpre uma dupla função (PARK, 1988; WENGER, 1987).

A primeira função do modelo de domínio, do componente “base de conhecimento”, consiste em “atuar como a fonte para que o conhecimento esteja presente” (WENGER, 1987, p. 14). Isso inclui a geração de explicações e respostas para o aluno, bem como determinar as

questões, tarefas a serem apresentadas. A base de conhecimento consiste na fonte de domínio a ser ensinado aos estudantes (WENGER, 1987). A base de conhecimento do domínio contém elementos de conteúdo necessários para que o estudante aprenda o domínio especializado e os procedimentos para usar o conhecimento na resolução de problemas (NKAMBOU; MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2010; PARK, 1988).

A segunda função do modelo de domínio, do componente “solução de problemas e modelo de critério de desempenho”, “serve como padrão para avaliar o desempenho dos alunos” (WENGER, 1987, p. 14). O modelo considera um sistema especialista para resolver um problema apresentado ao estudante para que, posteriormente, o sistema avalie seu desempenho (PARK, 1988). O modelo gera soluções aos problemas, no mesmo contexto do estudante e compara as respectivas respostas. Se o ITS orienta o aluno na resolução do problema, o modelo de domínio gera caminhos de soluções viáveis para comparar situações e avançar às etapas estabelecidas em um determinado domínio. Em destaque, a geração dos caminhos de soluções possíveis, em vez de apenas único caminho, são determinantes nas experiências construídas para avaliação de desempenho (WENGER, 1987).

Um modelo de domínio organiza-se em um currículo específico. Esse currículo forma uma estrutura que inclui relações de elementos de um domínio especializado com sequências pedagógicas. Cada unidade de domínio especializado se apresenta mais ou menos detalhada e a organização do currículo determina a prática em um modelo, como as estruturas hierárquicas. A chave para responder aos problemas relaciona-se à capacidade de raciocinar do modelo e adaptar-se gradualmente à explicação do raciocínio ao aluno (NKAMBOU; MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2010; PARK, 1988). Ainda que modelo de domínio não disponha das habilidades necessárias para solucionar todos os problemas aos estudantes, deve possuir, pelo menos, a capacidade para reconhecer respostas incorretas (WOOLF, 2009).

#### **4.4.1.2 Modelo do Estudante**

O modelo do estudante consolida os dados fundamentais dos discentes em relação ao seu progresso de aprendizagem. Ele é responsável por armazenar e processar as informações provindas das interações com os estudantes (HASAN et al., 2020; SELF, 1999). Em princípio

fundamental para ensino e aprendizagem personalizados, consolida-se nos conhecimentos e na compreensão que um sistema detém sobre o estudante. Outro aspecto, considerado significativo, encontra-se na habilidade de modelar os conhecimentos do estudante (SELF, 1999; SHUTE; PSOTKA, 1996).

O modelo do estudante constitui três subcomponentes: (1) base de conhecimento do estudante e histórico de desempenho; (2) necessidades de aprendizagem e catálogo de deficiências de aprendizagem; (3) base de dados de variáveis de diferenças individuais. A base de conhecimento do estudante e o histórico representam o nível de desempenho e as estratégias de raciocínio mais recentes, ou seja, aquelas que o estudante utilizou no processo de aprendizagem. As necessidades de aprendizagem e o catálogo de deficiências de aprendizagem representam, respectivamente, o desempenho abaixo do padrão e os equívocos do estudante em relação às suas possibilidades de estratégias para resolver os problemas na área de domínio. A base de dados, contendo as variáveis de diferenças individuais, permite comparar os distintos perfis dos estudantes ao longo do processo de aprendizagem (PARK, 1988).

O modelo do estudante é um componente central de um ITS. Em seus princípios, contém o máximo de informação (conhecimento) possível sobre os estados cognitivos e afetivos do estudante, bem como acompanha sua evolução na medida em que o processo de aprendizagem avança. Geralmente, o modelo do estudante é tido como um modelo dinâmico que implementa várias funções (NKAMBOU; MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2010). Dentre as funções, Wenger (1987) considera 3 (três) principais: (1) reunir os dados implícitos e explícitos de cada estudante; (2) utilizar esses dados para criar representações do conhecimento e do processo de aprendizagem; (3) considerar os dados de acordo com algum tipo de diagnóstico, que pode ser analisar o estado do conhecimento em relação à seleção das estratégias pedagógicas para apresentar as informações de um determinado domínio. Wenger (1987) trata o modelo do estudante no ITS como o destinatário da comunicação. “Nenhuma comunicação inteligente pode ocorrer sem um certo entendimento do destinatário” (WENGER, 1987, p. 16).

Na mesma linha de Wenger (1987), Self (1999) identificou 6 (seis) papéis para caracterizar funções no modelo do estudante: (1) corrigir, apoiar a erradicar possíveis falhas no conhecimento do estudante; (2) diagnosticar eventuais falhas no conhecimento do estudante; (3) elaborar, auxiliar na complementação o conhecimento “incompleto” do estudante; (4) criar

estratégias de suporte para permitir mudanças significativas no comportamento do ITS; (5) prever as prováveis respostas do estudante às ações do ITS; (6) avaliar o estudante ou o ITS. Muitas dessas funções foram amplamente estudadas, atualizadas, expandidas e diversificadas ao longo dos anos até os dias atuais (SELF, 1999).

Em suas características inatas, o modelo do estudante apresenta dados considerados estáticos e dinâmicos com o objetivo de prover informações para que o ITS possa elaborar possíveis comprovações de hipótese em relação ao estudante. O modelo comporta representações em relação ao status do conhecimento do estudante no instante das interações com o ITS. Com as informações relacionadas ao modelo e, também, ao conteúdo do domínio de ensino e aprendizagem, o ITS deverá possuir as habilidades necessárias para selecionar as melhores estratégias de tutoria (DILLENBOURG; SELF, 1992; SELF, 1999).

A Tabela 8 apresenta os modelos clássicos de aprendizagem, suportadas pelo ITS no modelo do estudante. Os primeiros modelos foram chamados de sistema de representação de discrepâncias (*learner discrepancies*) entre conhecimento do ITS e o conhecimento representado do estudante. A compreensão das discrepâncias é essencial para o processo de modelagem do estudante, principalmente no aspecto individualizado, de personalização. Ela caracteriza o conhecimento do estudante por suas diferenças em relação ao conhecimento do ITS. Atualmente, essa representação é denominada de “técnicas e métodos de modelagem do aluno” e trabalham com abordagens como *Machine Learning Techniques* e *Cognitive Theories* (DILLENBOURG; SELF, 1992; LI et al., 2012). Essas novas técnicas e métodos são apresentadas na subseção posterior, 4.4.4 (Novas Arquiteturas dos ITS's).

Tabela 8 - Modelagem clássica do estudante

Áreas de Pesquisa IA	Conceito e Descrição
<i>Stereotype Model</i> Modelo estereótipo	Introduzidos na modelagem do estudante por Rich (1979) no sistema denominado GRUNDY. A ideia principal da estereotipagem consiste no agrupamento dos estudantes em um sistema adaptativo com vários grupos de acordo com certas características que normalmente são compartilhadas (exemplo: iniciante; intermediário ou avançado). Esses grupos são chamados de estereótipos. Normalmente, um estereótipo, contém o conhecimento comum sobre um determinado grupo de usuários.
<i>Overlay Models</i> Modelo de <i>Overlay</i> Modelo de Superposição	Conhecido pelos dois termos, <i>Overlay</i> e Superposição, desenvolvido por Stansfield, Carr e Goldstein (1976) foi muito utilizado por muitos ITS. Sua popularização se deve ao fato de poder representar de forma independente o conhecimento do estudante para cada conceito. A principal suposição subjacente ao Modelo de <i>Overlay</i> é que um estudante pode ter um conhecimento incompleto, mas correto do domínio.

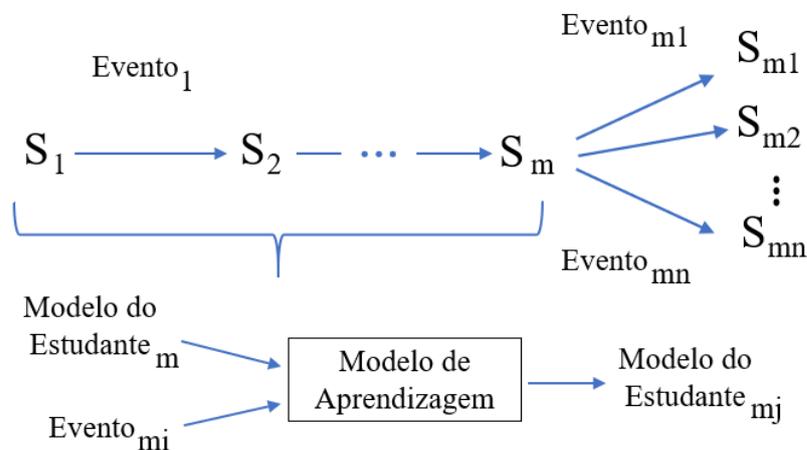
<i>Perturbation Model</i> Modelo de Perturbação Buggy Model	Terminologia concebida como “BUGGY Model” proposto por Brown e Burton (1974). O modelo de perturbação possui uma coleção de erros, neste ponto, a sua referência geralmente é chamada de biblioteca de “bug”. O modelo admite que os erros dos estudantes são resultantes de compreensões falhas de conceitos ou mesmo a sua inexistência.
<i>Constraint-Based Model</i> Modelo Baseados em Restrições	O Modelo Baseados em Restrições (CBM - <i>Constraint-Based Model</i> ) foi proposto por Ohlsson (1994). Com base na teoria de aprender com os erros (Ohlsson, 1996), propõe que um estudante, muitas vezes, comete erros ao realizar uma tarefa, mesmo quando foi ensinada a maneira correta. O domínio do conhecimento é representado como um conjunto de restrições e o modelo do estudante, por sua vez, consiste no conjunto de restrições que foram violadas. Uma restrição possui uma cláusula de satisfação e uma condição de relevância. Se a cláusula de satisfação se torna falsa para a condição de relevância, então o estudante cometeu um erro.

Fonte: Dillenbourg e Self (1992), Li et al. (2012)

Para modelagem individual dos estudantes, Self (1999) considerava como benefício a utilização da aprendizagem por meio da análise, conforme apresentada na Figura 11. Ao utilizar um ITS, observa-se que o estudante passa por uma série de situações  $S_1, S_2, \dots, S_m$  em uma sequência de eventos. Na situação  $S_m$  existe um conjunto de eventos subsequentes possíveis. O autor questiona: como uma escolha entre esses eventos pode ser feita?

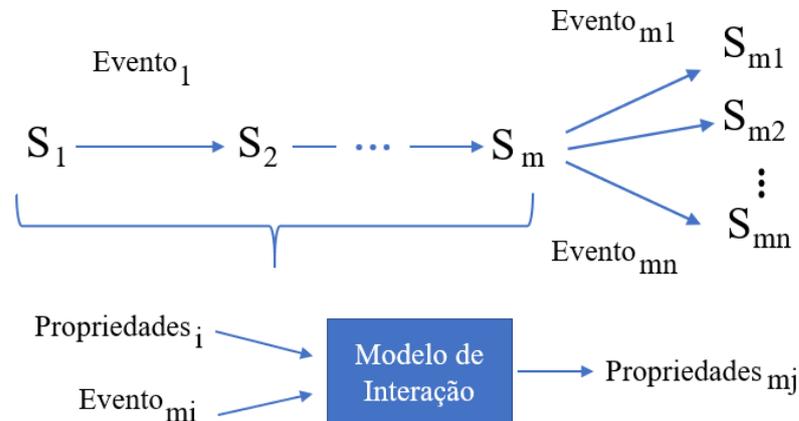
O princípio para responder a essa questão consta da análise da sequência de situações de eventos ocorridos para determinar um modelo de estudante  $S_m$  para mesma situação  $S_m$ . A cada evento possível  $E_{mj}$ , o modelo de aprendizagem determina ao modelo do estudante  $S_{mj}$  quais são as situações existentes no caso de ocorrência. Considera-se cada um dos supostos modelos dos estudantes  $S_{mj}$  e determina, com base em análises de ocorrências de eventos, o que for provavelmente o mais adequado (SELF, 1999).

Figura 11 - Arquitetura clássica de modelagem de estudantes



Fonte: sintetizado de Self (1999)

Figura 12 - Arquiteturas atuais de modelagem de interações



Fonte: sintetizado de Self (1999)

A proposta de Self (1999) foi adotada em modelos de ITS's contemporâneos (observado na Figura 12). Visualmente, a Figura 11 e a Figura 12 apresentam semelhanças, contudo suas modelagens são distintas. Na Figura 12 não existe a representação do conhecimento dos estudantes (modelo de aprendizagem). Em vez disso, existe um modelo de interação dos eventos que já ocorreram (SELF, 1999). “É possível dizer que se um ‘bom’ processo de interação ocorre, então o estudante tem mais probabilidades de aprender, sem a tentativa de representar precisamente o que está sendo aprendido” (SELF, 1999, p. 361). Observa-se proximidades aos conceitos do construtivismo. O conteúdo da aprendizagem relaciona-se a atividade da aprendizagem e o que é realmente aprendido consiste em uma construção a partir das interações. O conhecimento não é o alvo, mas sim as interações do estudante durante o processo de aprendizagem (SELF, 1999).

A partir do comparativo, surge outra questão: o que aconteceu com a arquitetura clássica do modelo do estudante? As arquiteturas contemporâneas não são fundamentalmente opostas ao padrão clássico, mas seguem enfoques distintos para tratar questões de acordo com diferentes filosofias. As primeiras iniciativas com ITS's para apoiar a aprendizagem não são consideradas inerentemente contraditórias à visão construtivista (SELF, 1999). Para esclarecer essa visão, consideram-se os três componentes tradicionais que deram origem aos conceitos dos ITS's: (1) conhecimento do domínio (modelo especialista); (2) conhecimento do aluno (modelo do aluno); (3) conhecimento das estratégias de ensino (modelo do tutor) (CARBONELL, 1970).

#### 4.4.1.3 Modelo Tutorial

O modelo tutorial, denominado como modelo de conhecimento pedagógico (modelo pedagógico) ou modelo de estratégias de ensino. As variadas nomenclaturas resumem a função do modelo: responsabilidade por guardar os conhecimentos pedagógicos que determinam as estratégias de ensino e tutoria (HASAN et al., 2020; WENGER, 1987). Wenger (1987) aponta as habilidades de comunicação como uma das características essenciais encontradas em um modelo tutorial. O modelo é formado por coleções de estratégias que concedem ao ITS a criação de processos de decisão em relação a qual conteúdo apresentar e ao momento oportuno dessa apresentação. O desenvolvimento das coleções de estratégias é tido como um processo complexo, ou seja, as tomadas de decisões devem admitir aspectos dinâmicos, versáteis, de acordo com as interações e necessidades do estudante. O modelo admite um planejamento pedagógico de acordo com o conhecimento necessário do ITS para tomada de decisões. Os processos decisórios são tomados em relação à escolha adequada da estratégia de ensino, conforme aquelas disponibilizadas no sistema (WENGER, 1987).

Dentre as funções associadas ao modelo tutorial, existe a criação de interações contínuas com os modelos de domínio e do estudante. O modelo tutorial desenvolve planejamentos para personalizar o ensino de acordo com as informações disponibilizadas no modelo do estudante (WENGER, 1987). Portanto, o modelo tutorial recebe informações dos modelos de domínio e estudante e toma decisões sobre estratégias e ações de tutoria. O modelo tutorial toma as decisões como intervir ou não no processo de aprendizagem. O planejamento de conteúdo bem como sua entrega fazem, também, parte das funções do modelo tutorial (NKAMBOU; MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2010).

O módulo tutorial consiste em 3 (três) subcomponentes: (1) base de conhecimento instrucional - contém estratégias, como as relações de um domínio; (2) base de regra de diagnóstico - para realizar inferências acerca de equívocos e necessidades de aprendizagem do estudante; (3) base de regras prescritivas - para selecionar os melhores tratamentos instrucionais de acordo com as necessidades de aprendizagem dos estudantes (PARK, 1988).

As coleções de estratégias do modelo tutorial norteiam-se para desenvolver as questões: (1) em que momento o ITS deverá interromper o estudante? Se houve a interrupção, qual a motivação que desencadeou cessar o processo de aprendizagem do estudante? (2) Com a

interrupção, como será a interação do ITS? O processo de interação ainda admite 2 (dois) aspectos: (a) determinar os tópicos a serem apresentados e (b) sua ordenação (WENGER, 1987).

As estratégias, também, são estabelecidas de acordo com critérios de controle e as iniciativas de gerenciamento da aprendizagem: (1) monitoradas nas tarefas desenvolvidas pelo estudante, que consiste em apenas responder questões ao ITS; (2) balanceadas, ITS e estudante formulam questões (perguntas e respostas); (3) gerenciamento completo, permite ao estudante controle do processo de aprendizagem (WENGER, 1987).

As decisões de tutoria são idealmente refletidas em diferentes formas de interações com o aluno como: diálogos, dicas, *feedback* do ITS dentre outras. Contudo, destaca-se que as interações entre o aluno e ITS ocorrem na interface de aprendizagem, também conhecida como o componente de comunicação ou como será tratada no presente trabalho, modelo de interface.

#### 4.4.1.4 Modelo de Interface

Em geral, os usuários enxergam a interface como o próprio sistema, sem ter a compreensão dos conceitos e a própria concepção da complexidade que envolve um projeto de Arquitetura e Engenharia de *Software*<sup>20</sup> (PRESSMAN, 2011). O planejamento da interface com o usuário são abordagens essenciais para determinar o êxito de um sistema. O projeto da interface com o usuário segue um processo de planejamento e especificações para determinar a abordagem de funcionamento do sistema (SOMMERVILLE, 2018).

Esse modelo de interface fornece uma interação produtiva entre o sistema e os estudantes por meio de vários dispositivos de entrada e/ou saída (HASAN et al., 2020; WENGER, 1987). O modelo de interface consiste na forma de comunicação entre o sistema e o estudante. Enquanto o módulo tutorial decide o momento de apresentação dos conteúdos e das ações didáticas, o modelo de interface processa o fluxo de entrada e saída da comunicação. “Em ambas as direções, o modelo de interface se traduz entre a representação interna do sistema

---

<sup>20</sup> “Consiste em uma disciplina de engenharia que se preocupa com todos os aspectos de produção de *software*. Principais atividades: especificação de *software*; desenvolvimento de *software*; validação de *software* e evolução de *software*.” (SOMMERVILLE, 2018, p. 4).

e uma linguagem de interface indissociável para o aluno” (WENGER, 1987, p. 21). Embora o modelo de interface opere em estreita cooperação com os modelos de domínio e tutorial, suas decisões são de natureza diferenciada e requerem um tipo específico de conhecimento. Portanto, o modelo de interface deve ser identificado como um componente distinto (WENGER, 1987).

Em um primeiro instante, a função do modelo de interface consiste no auxílio, apoio ao longo do processo de comunicação, entretanto seria um erro considerar o modelo de interface com um componente secundário. Ele possui uma importância fundamental no sucesso da comunicação do conhecimento bem como sua compreensão. Essas importâncias refletem a forma final em quem um ITS se apresenta, caracterizando sua qualidade, facilidade de interação e aspectos atrativos de uso, determinantes para aceitação do sistema por parte do estudante. O processo de impacto das tecnologias de mídias, principalmente nos dias atuais, permite, a cada instante, novas e sofisticadas ferramentas, cujo poder de comunicação pode projetar todo o sistema (WENGER, 1987). Destaca-se a importância dos processos de interação em um ITS, pois o modelo de interface tem a responsabilidade de funções pertinentes, como a exposição do conteúdo de domínio e monitoramento do progresso das questões apresentadas pelos estudantes (NKAMBOU; MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2010).

Outro aspecto do modelo de interface que tradicionalmente se conecta com a pesquisa de IA é o Processamento de Linguagem Natural (NLP). O NLP permite a interação entre o ITS e o estudante por meio da voz (reconhecimento e geração da voz) ou texto (compreensão e gerações textuais). “A compreensão de texto é uma tarefa notavelmente difícil, repleta de problemas de incompletude, referências anafóricas e inferências contextuais” (WENGER, 1987, p. 22). Embora a geração de texto pareça fácil, traduzir um conhecimento em uma explicação não representa uma tarefa simples. Mesmo em perspectiva puramente sintática, torna-se um desafio para o ITS gerar textos que não pareçam redundantes ou artificiais aos estudantes. Nos primórdios dos antigos CAI, havia poucas oportunidades tecnológicas com a flexibilidade de tratamento de linguagem, ainda considerada pseudonatural. Contudo, importante destacar que sistemas modernos podem apresentar grandes capacidades de lidar com enunciados verbais, bem como com o tratamento bastante livre no processamento da linguagem natural (NKAMBOU; MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2010; WENGER, 1987).

#### 4.4.2 Comunicação do Conhecimento na Visão da Arquitetura de Wenger

Em se tratando de arquitetura clássica de um ITS, Wenger (1987) indica que a definição dos limites entre os componentes nem sempre são considerados muito nítidos. Por exemplo, as decisões no nível do modelo de interface podem assumir um significado do modelo tutorial (pedagógico) e as avaliações das respostas do modelo do estudante podem ser compartilhadas entre o modelo de domínio (especialista) e o modelo tutorial. Além disso, essas várias tarefas não precisam corresponder a módulos distintos em um sistema real. No entanto, tais distinções refletem um nível útil de abstração e esses quatro componentes dos sistemas de comunicação do conhecimento constituem uma divisão clássica de trabalho na área (WENGER, 1987).

Figura 13 - Questões de comunicação do conhecimento



Fonte: traduzido de Wenger (1987)

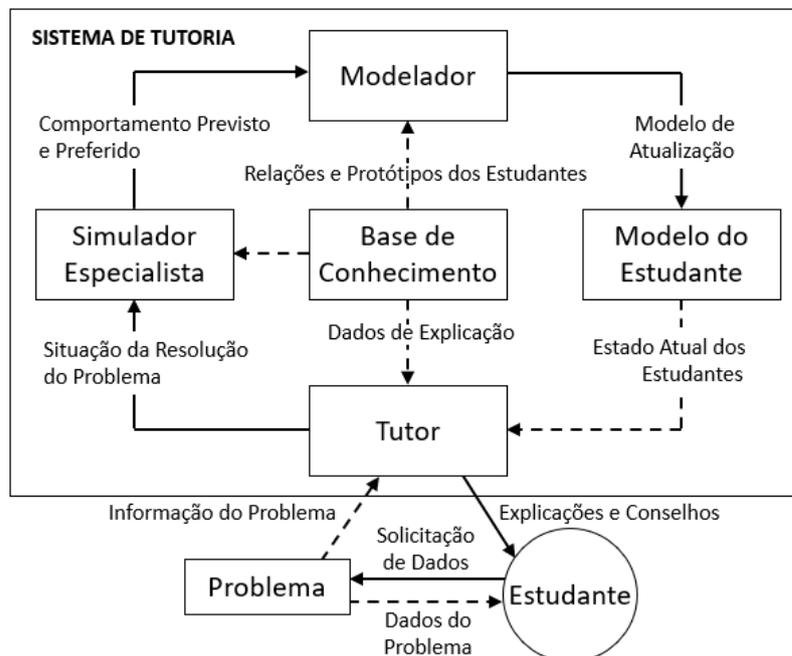
A Figura 13 resume algumas das questões de limites para conexão com cada componente. O centro da figura contrasta as decisões de *design* com o conhecimento. De acordo com arquitetura clássica, cada componente envolve compensações entre as decisões tomadas pelos *designers* e as decisões de sistemas. Por exemplo, um currículo pronto pode ser incluído na representação do conhecimento do domínio. Em contraste, um sistema pode ser configurado

para planejar seu próprio currículo, aproveitando a representação explícita dos objetivos de ensino, do modelo do estudante e das relações de pré-requisitos proporcionadas por um modelo adequado de domínio (especialização) (WENGER, 1987).

#### 4.4.3 Arquitetura de Clancey com Modelo de Base de Conhecimento

Clancey (1987) foi um dos primeiros a propor significativas alterações no comportamento entre os modelos, tomando como base a arquitetura clássica. Uma das principais diferenças da arquitetura de Clancey para a arquitetura clássica corresponde à criação de um quinto modelo denominado de base do conhecimento, apresentado na Figura 14. Na arquitetura clássica, a base de conhecimento é um subcomponente do modelo de domínio. Na arquitetura de Clancey, se tornou um quinto componente. Como um modelo formal, a ideia da base de conhecimento consiste em conter as características para resolução de problemas.

Figura 14 - Arquitetura Clancey com Base de Conhecimento



Fonte: traduzido de Clancey (1987)

De acordo com a arquitetura de Clancey, existe a desassociação das funções dos modelos, do mesmo modo como ocorreu com a base de conhecimento. Na Figura 14, observa-se que o modelo do estudante obtém atualizações a partir de um novo modelo implementado,

denominado de modelador. E o modelo do tutor (equivalente ao modelo de domínio, arquitetura clássica) armazena as informações do estudante e provê interações para desenvolver estratégias de tomadas de decisões (CLANCEY, 1987; GOULART; GIRAFFA, 2001).

Em simulação do programa, o ITS examina cada situação em sua base de conhecimento, podendo incluir e reorganizar os procedimentos, de modo que o sistema possa gerar comportamentos preferenciais a serem adotados. O componente base de conhecimento armazena as informações e determina soluções aos problemas propostos. A base de conhecimento de um sistema pode ser constituída por fatos e heurísticas. Os fatos remetem às informações concedidas ao sistema que possam ser disponibilizadas por um determinado especialista de domínio. As heurísticas consistem em regras de representação do processo do sistema para tomar decisão representando um especialista do domínio (CLANCEY, 1987).

Como fato histórico e motivação para novos estudos, uma das primeiras literaturas de referências em ITS, o sistema GUIDON de Clancey (1987) já apresentava uma arquitetura com o modelo de base de conhecimento. Continha um sistema especialista, do tipo ensino tutorial, para diagnósticos de doenças infecciosas do sangue. O GUIDON foi desenvolvido com base de conhecimento consolidada, a MYCIN (criada por Shortliffe em 1973 na Universidade de Stanford), como sistema especialista em terapia antimicrobiana. Consistiu em um dos trabalhos pioneiros entre os sistemas especialistas elaborados com base de conhecimento. Apresentava a capacidade de diagnosticar e prescrever tratamentos para meningite e outras infecções causadas por bactérias. A base de conhecimento usa regras de probabilísticas, com fatos e heurísticas de domínio, em um sistema que apresentava explicações com boa adesão de interface (BAKER, 2000; CHRYSAFIADI; VIRVOU, 2015; CLANCEY, 1987; SELF, 1999).

Posteriormente, os ITS's foram desenvolvidos com base em algumas arquiteturas distintas à clássica. Essas atualizações arquiteturais devem-se ao fato que nos primórdios dos ITS's, nas primeiras ideias de Carbonell, os paradigmas eram procedurais e tinham limitações dos *softwares* e *hardwares* disponíveis na época. Os *hardwares* e *softwares* não teriam a disponibilidade de interpretar de modo adequado interações com imagens ou o processamento de linguagem natural. Havia a inviabilidade de caracterizar os domínios contemporâneos, muito mais complexos. Atualmente, além dos *hardwares* e *softwares*, os módulos responsáveis pelas estratégias pedagógicas, relacionados aos estudantes e tutores, admitem a adoção de

modelagens e seleções de múltiplas estratégias em IA, que permitem implementar novos níveis de abstração (GOULART; GIRAFFA, 2001). As próximas subseções apresentam outras arquiteturas frequentemente referenciadas em estudos no campo dos ITS's.

#### 4.4.4 Novas Arquiteturas dos Sistemas de Tutoria Inteligentes

O ITS compreende um *software* complexo. Seu projeto trabalha com os conceitos da engenharia de *software*, da área da engenharia da computação. O ITS utiliza estes conceitos para especificar a tecnologia e desenvolver o sistema com gerenciamento de projeto. Essa engenharia abrange um amplo campo de estudos, que envolvem práticas específicas de desenvolvimento, como as linguagens de programação, passando por áreas como os bancos de dados até as compreensões com o planejamento, gerenciamento e qualidade que atenda às necessidades dos requisitos do *software* (PRESSMAN, 2011; SOMMERVILLE, 2018).

Contudo, criar arquiteturas para os ITS's vai além dos aspectos computacionais e estende-se a outras áreas como a educação e a psicologia. Nesse contexto, as pesquisas para as novas arquiteturas buscam simultaneamente grandes avanços em distintas áreas: modelos de aprendizagem, processamento de informações humanas e sistemas computacionais para o ensino. Nas arquiteturas dos ITS's, as pesquisas caminham ano após ano em busca de aprimorar as existentes e implementar novas funcionalidades, admitir novas tecnologias, dentre variadas outras situações suportadas (MALOTKY; MARTENS, 2019; WOOLF, 2009).

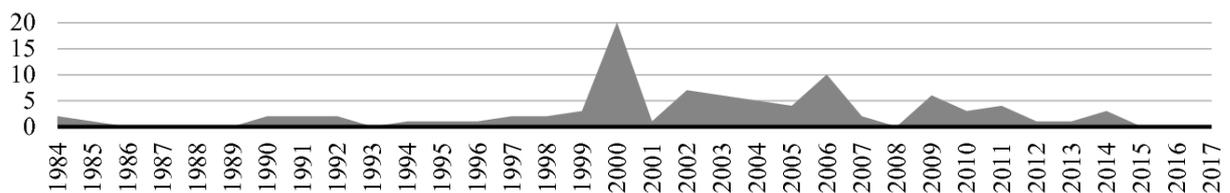
As arquiteturas dos ITS's devem seguir alguns requisitos fundamentais, encontrados na clássica e evidenciar os objetivos: (1) objetivo tecnológico, construir tutores mais inteligentes com base em um modelo computacional; (2) objetivo cognitivo, relacionado ao modelo de processamento de informação (WOOLF, 2009, p. 42).

Os estudos de Malotky e Martens (2019) determinam uma linha do tempo para os avanços das arquiteturas dos ITS's. A Figura 15 exibe um gráfico em relação ao número de arquiteturas ITS's por ano de incidências, desde a primeira reportada (clássica de 1984) até as arquiteturas mais recentes (publicadas até 2017). Observa-se (Figura 15) que o período do ano de 2000 (e proximidades) representa uma época de maior pico em relação ao número de novas arquiteturas para designar os ITS's. Além da incidência de novas arquiteturas ao longo dos

anos, o estudo constatou que a arquitetura clássica corresponde, estatisticamente, a mais utilizada e sem muitas modificações (MALOTKY; MARTENS, 2019).

Em relação direta ao trabalho, os estudos de Malotky e Martens (2019) apontam caminhos para estabelecer a arquitetura de desenvolvimento do ITS, com base na metodologia do PBL, para atender o objetivo proposto. Estes caminhos são fundamentados nas informações: não houve grandes números de novas propostas de arquiteturas ao longo dos anos; a arquitetura clássica foi amplamente utilizada em seu conceito original.

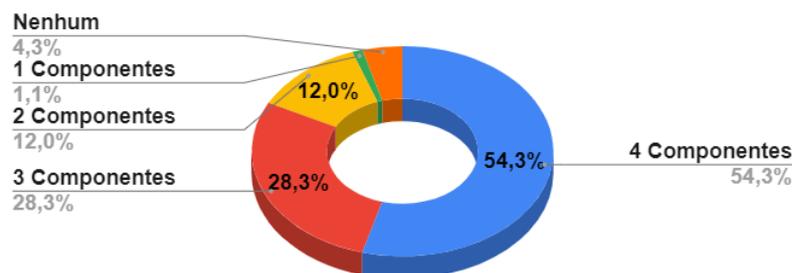
Figura 15 - Número de arquiteturas de ITS encontradas por ano



Fonte: Malotky e Martens (2019)

O estudo, ainda, analisou a incidência dos 4 componentes clássicos nas arquiteturas encontradas (Figura 16). A maioria, 54,3% cobriram todos os componentes clássicos e 82,6% cobriram 3 (três) ou mais componentes. O modelo de domínio surge como o componente mais antigo e, também, mais frequentemente implementado, uma vez que foi instituído na primeira arquitetura ITS, com inclusão de um Sistema Especialista (MALOTKY; MARTENS, 2019).

Figura 16 - Componentes clássicos encontrados nas arquiteturas de ITS



Fonte: editado de Malotky e Martens (2019)

A pesquisa de Malotky e Martens (2019) listou alguns problemas detectados nas arquiteturas mais recentes: (1) renomear os componentes, com mínimas diferenças, gera interpretações inconsistentes; (2) alterar a definição dos componentes; (3) criar componentes que já estão bem definidos; (4) recriar uma arquitetura já existente; (5) não implementar

totalmente<sup>21</sup> uma arquitetura; (6) ausência de justificativas ao selecionar ou criar componentes; (7) incluir componentes em situação muito específica de implementação poderá tornar muito difícil o princípio da sua reutilização<sup>22</sup>; (8) definições informais, o ITS é um sistema complexo, torna-se fundamental apresentar explicações precisas; (9) negligenciar as conexões entre os componentes, acarretando inconsistências funcionais; (10) ausência de desenvolvimento (MALOTKY; MARTENS, 2019).

Antes de apresentar as novas arquiteturas, faz-se necessário posicionar os novos métodos de modelagem do estudante destacados atualmente. Os primeiros modelos da história surgiram em função da arquitetura clássica e consideraram a tecnologia disponível na época. A próxima subseção apresenta alguns dos principais novos métodos de modelagem do estudante, levando em consideração o avanço das tecnologias, destacando IA.

#### 4.4.4.1 Novos Métodos de Modelagem do Estudante

No modelo do estudante (subseção 4.4.1.2.), foram apresentados alguns dos modelos clássicos de aprendizagens como: *Stereotype Model*; *Overlay Models*; *Perturbation Model* e *Constraint-Based Models*. A presente subseção apresenta as modelagens atuais ou de maior destaque nos últimos anos (Tabela 9). De acordo com Tavares et al. (2020), as técnicas de Aprendizagem de Máquina, associadas aos ITS's, fazem parte de uma lista de vertentes de destaque, em crescimento nas pesquisas científicas publicadas e recorrentemente referenciadas em diversos estudos na área específica de Inteligência Artificial na Educação (IAED).

Tabela 9 - Métodos de modelagem do estudante

Áreas de Pesquisa IA	Conceito e Descrição
<i>Machine Learning Techniques</i> Técnicas de Aprendizagem de Máquina	Subárea da IA com <i>software</i> capaz de reconhecer padrões, fazer previsões e aplicar padrões recém-descobertos a situações que não foram incluídas ou cobertas por seu projeto inicial. Estabelecer <i>frameworks</i> inteligentes para lidar com problemas em cenários reais (HASAN et al., 2020). O modelo do estudante identifica o nível de conhecimento, necessidades e preferências do estudante. Essa informação é obtida com a observação do comportamento do estudante na interação com um ITS adaptativo e personalizado. O processo de observação do comportamento do estudante é automatizado pelo sistema. Esse processo é feito com técnicas de

<sup>21</sup> Possivelmente a origem dos problemas 3 e 4.

<sup>22</sup> “A arquitetura do sistema geralmente é a mesma para sistemas com requisitos semelhantes e, por isso, pode apoiar o reuso de *software* em grande escala” (SOMMERVILLE, 2018, p. 104).

	<p>aprendizagem de máquina. A aprendizagem de máquina diz respeito à formação e ao estudo de modelos que permitem ao sistema aprender a partir dos dados de observação e fazer inferências automaticamente. As técnicas de aprendizagem de máquina são usadas para prever ações futuras e tornar o sistema capaz de adaptar os processos de aprendizagem às necessidades do estudante.</p>
<p><i>Data Mining</i> Mineração de Dados</p>	<p>A mineração de dados define o caminho para encontrar informações de um enorme conjunto de dados homogêneo, com técnicas contidas em algoritmos avançados. Hoje em dia, a mineração de dados educacionais se aproxima como uma nova disciplina, responsável por estabelecer um <i>framework</i> adequado para determinar a exploração de dados considerando uma quantidade gigantesca de fontes educacionais. O objetivo dessa exploração extensiva consiste em facilitar ao estudante um melhor entendimento do seu currículo e, ao mesmo tempo, criar um ambiente adequado de ensino e aprendizagem. Algumas pesquisas trabalham em modelos baseados em mineração de dados educacionais, agrupando o histórico anterior de registros dos estudantes com a finalidade de prever as ações de novos estudantes para melhorar o <i>feedback</i> da tutoria do ITS (HASAN et al., 2020).</p>
<p><i>Neural Networks (NN)</i> Redes Neurais</p>	<p>As redes neurais são ramos dos algoritmos de aprendizado profundo (<i>Deep Learning</i>) que modelam a forma de funcionamento do cérebro humano. Rede Neural Artificial (ANN - <i>Artificial Neural Network</i>), Rede Neural de Convolução (CNN - <i>Convolution Neural Network</i>), Rede Adversária Generativa (GNN - <i>Generative Adversarial Network</i>), Rede Neural Recorrente (RNN - <i>Recurrent Neural Network</i>) consistem em alguns dos algoritmos de aprendizagem profunda utilizados frequentemente. O estudo da RNA originou, principalmente, o conceito de aprendizado profundo. Em contraste com os algoritmos de Aprendizagem de Máquina (<i>Machine Learning</i>), os algoritmos de aprendizado profundo tendem a produzir melhores resultados em aplicações específicas, por exemplo, visão computacional, reconhecimento de voz, processamento de linguagem natural. Na Inteligência Artificial na Educação, existem pesquisas para modelagem do estudante em uma arquitetura de sistema de aprendizagem adaptativa para rastrear o desempenho do estudante (HASAN et al., 2020).</p>
<p><i>Cognitive Theories</i> Teorias Cognitivas</p>	<p>Solomon et al. (2020) aponta que a tecnologia pode ser mais eficaz quando os desenvolvedores consideram o mérito e as limitações da aplicação no instante em que empregam práticas pedagógicas para atingir um objetivo específico. As práticas pedagógicas podem ser integradas, em um modelo de estudante, com as teorias cognitivas, que tentam explicar o comportamento humano durante o processo de aprendizagem. As teorias cognitivas podem modelar as características cognitivas do estudante, como conhecimento, atenção, capacidade de aprender, compreender memória ou os estados emocionais e motivação do estudante. Portanto, as teorias cognitivas contribuem significativamente para o raciocínio do estudante, tentando entender os processos de pensamento e compreensão.</p>
<p><i>Fuzzy Student Modeling</i> Modelagem Fuzzy de Estudantes</p>	<p>Determinar o conhecimento de um estudante consiste em uma tarefa complexa, que muitas vezes depende e se reflete por meio de situações que não podem ser diretamente observadas e medidas. Esse fato se reflete em um ITS, em que não há interação direta entre o professor e o aluno e as dificuldades técnicas podem causar problemas na coleta de informações sobre o estado mental e comportamento dos alunos, apresentando a presença da incerteza no diagnóstico do estudante. Uma abordagem possível para encontrar essa incerteza é a lógica <i>fuzzy</i>, que foi introduzida por Zaheh (1965), como uma metodologia de computação com palavras. Os métodos com base na lógica <i>fuzzy</i> podem ser mais consistentes em um processo de tomada de decisão. A lógica <i>fuzzy</i> é capaz de lidar com a incerteza em problemas cotidianos causados por dados imprecisos e incompletos. A lógica <i>fuzzy</i> pode ajudar a melhorar a adaptação de um ITS apoiando em decisões como selecionar o modelo de aprendizagem apropriado.</p>
<p><i>Bayesian Networks</i> Redes Bayesianas</p>	<p>Uma rede Bayesiana (BN - <i>Bayesian Networks</i>) consiste em um grafo acíclico direcionado em que os nós representam variáveis e os arcos representam a dependência probabilística ou relações causais entre as variáveis. A informação causal codificada em uma BN facilita a análise de sequências de ações, observações</p>

	e consequências esperadas. Na modelagem do estudante, os nós de um BN representam os diferentes componentes e dimensões de um estudante, como conhecimento, conceitos errôneos, emoções, estilos de aprendizagem, motivação, objetivos etc. As redes bayesianas têm atraído a atenção de desenvolvedores de ITS's, devido aos sólidos fundamentos matemáticos e por representar de forma natural a incerteza a partir de probabilidades. As BN permitem representação gráfica intuitiva a partir de evidências.
<i>Ontology-Based Student Modeling</i> <i>Modelagem de Estudante Baseada em Ontologia</i>	São usadas na IAED para fins de representação do conhecimento do estudante. Tratam de pesquisas recentes, realizadas no cruzamento entre a modelagem de usuário e ontologias da <i>web</i> <sup>23</sup> , uma vez que ambas as disciplinas tentam modelar fenômenos do mundo real de modo qualitativo. Devido ao fato de os sistemas de tutoria adaptativos e/ou personalizados tentarem modelar os processos de ensino e aprendizagem no mundo real e grande parte dessas aplicações estão baseadas na <i>web</i> , podem ser combinados com ontologias <i>web</i> . Essas características das ontologias podem ajudar na modelagem do estudante.

Fonte: Chrysafiadi e Virvou (2013, 2015)

As próximas subseções apresentam algumas arquiteturas atuais ou em destaque derivadas do conceito original proposto por Carbonell (1970) e posteriormente estabelecidas por Sleeman e Brown (SLEEMAN; BROWN., 1982). Portanto, os conceitos apresentados, admitem todas ou grande parte das características fundamentais da arquitetura clássica. O texto posterior se abstém de repetir os conceitos essenciais, embasados nas subseções anteriores e se concentra em dissertar diretamente sobre pontos-chave, distintos ou atualizações dos ITS's.

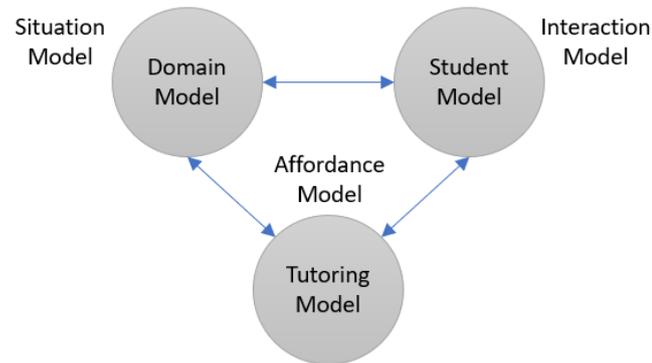
#### 4.4.4.2 Arquitetura Estendida de Self

Ao perceber algumas limitações da arquitetura clássica como as restrições de interações no modelo de interface, Self (1999) propôs uma extensão da arquitetura. Nessa extensão, Self percebeu que os projetistas consideravam que seus sistemas deveriam determinar as estratégias de instrução, interpretando o modelo dos estudantes em relação a uma estrutura curricular com base no modelo de conhecimento de domínio. Os construtivistas argumentaram que o processo de aprendizagem é muito imprevisível para ser passível de análises por estruturas previamente especificadas. Declararam, ainda, que as sequências de aprendizagem emergem das interações entre o estudante e o ambiente, influenciadas pelas oportunidades que se tornam disponíveis.

<sup>23</sup> As ontologias podem especificar conceitos acerca de uma área de conhecimento bem como suas relações, do ramo da filosofia refere-se a sistemas que podem categorizar objetos do mundo real. Atualmente, a ontologia vem se destacando em áreas como a *Web Semântica* e comércio eletrônico. Na IA, a título de representação dos significados dos termos, como bases de conhecimento (CHRYSAFIADI; VIRVOU, 2013, 2015).

Nesse aspecto, o papel pedagógico do ITS não é determinar eventos instrucionais, mas proporcionar espaços de fomento relacionados às interações, com base em algum modelo de possibilidades de situações em potencial, de acordo com o domínio específico (SELF, 1999).

Figura 17 - Arquitetura clássica estendida por Self



Fonte: Self (1999)

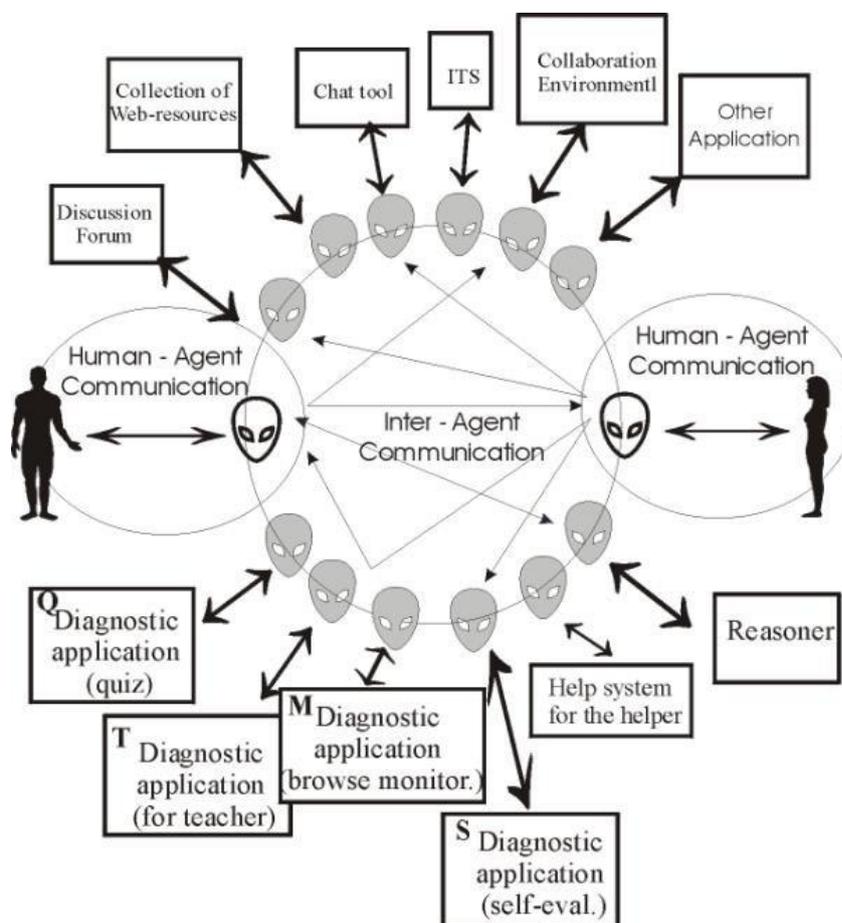
A Figura 17 exhibe a arquitetura clássica estendida por Self. Observa-se que o modelo do estudante perde as suas relações de informações nas análises interativas para ganhar um novo papel. O novo modelo do estudante tem a função de relacionar os contextos das interações com as ações dos estudantes, em função das estruturas cognitivas no instante da interação. O modelo de tutoria, por sua vez, também perde a função de tomada de decisão em relação à seleção de estratégias e conteúdo de domínio. Em contrapartida, recebe a nova função de direcionar o processo conforme os objetivos educacionais que o sistema propicia ao estudante.

#### 4.4.4.3 Arquiteturas de Sistemas Multiagentes

Existem estudos nas propostas dos sistemas multiagentes para designar os modelos das arquiteturas dos ITS's. As propostas consistem em utilizar agentes para modelar os componentes da arquitetura clássica ou similares. A designação dos multiagentes compreende que: (1) um modelo equivale a um agente, como exemplo, o modelo de interface faz menção a um agente de interface; (2) há a decomposição de cada modelo em vários agentes. No caso da decomposição, o aperfeiçoamento chega ao nível de mapeamento mental de um agente, ou em uma analogia, o modelo de inteligência de um determinado assistente virtual (chatbot) (BOLZAN; GIRAFFA, 2002).

O estudo de Vassileva et. al. (2001), denominado de I-Help<sup>24</sup>, exhibe a decomposição dos componentes (Figura 18), apresentando a arquitetura em que o ITS está designado como um agente. O ambiente do sistema multiagente inteligente possui, além do agente ITS, recursos de aprendizagens como fóruns, chats, dentre outros comumente associados aos AVA's. Os estudantes resolvem problemas em que um sistema inteligente apoia o processo com a designação de um determinado agente. O agente corresponde tanto a um componente de domínio especializado, como ITS, quanto a um agente humano, professor, tutor ou colega estudante. A arquitetura do I-Help tem sua base multiagente constituída por agentes pessoais (humanos, professores e estudantes) e agentes de aplicação (sistemas distribuídos nos componentes, como ITS).

Figura 18 - Arquitetura multiagente I-Help



Fonte: Vassileva et al. (2001)

<sup>24</sup> O I-Help fornece aos estudantes acesso contínuo a uma variedade de recursos de ajuda distribuídos: (1) recursos humanos, como ajuda de colegas e conselhos de especialistas; (2) bem como recursos eletrônicos, como ITS, fóruns de discussão, perguntas frequentes e recursos da *web*. Como funcionalidade, em uma tarefa de programação de computadores, o sistema tenta encontrar um agente que detenha recursos da atividade.

Os sistemas multiagentes constituem-se numa área de pesquisa da Inteligência Artificial Distribuída (DIA - *Distributed Artificial Intelligence*). [...] Se preocupa em estudar o comportamento de uma sociedade constituída por agentes que possuem autonomia e têm como objetivo realizar tarefas que não são possíveis de serem realizadas individualmente ou coletivamente (BOLZAN; GIRAFFA, 2002).

Um agente “percebe seu ambiente por meio de sensores e age sobre esse ambiente por intermédio de atuadores” (RUSSELL; NORVIG, 1995, p. 5). O agente detém as capacidades que mapeiam sequências de percepções do seu ambiente e determina as ações. A construção de sistemas multiagentes inteligentes pode ser determinada para apoio na resolução de problemas complexos de forma distribuída (RUSSELL; NORVIG, 1995).

As arquiteturas de sistemas multiagentes trazem vantagens em relação às clássicas, por apresentar flexibilidade para atuar nos componentes, como o fator de decomposição em vários agentes. Outro fator que difere os sistemas multiagentes dos clássicos está na consideração dos professores como agentes (observado na Figura 18). Em um exemplo prático, no processo de ensino e aprendizagem, ocorre a combinação dos distintos comportamentos da arquitetura dos agentes, considerando o papel fundamental tanto do sistema inteligente, como dos professores (tutores presenciais ou à distância) e estudantes (BOLZAN; GIRAFFA, 2002).

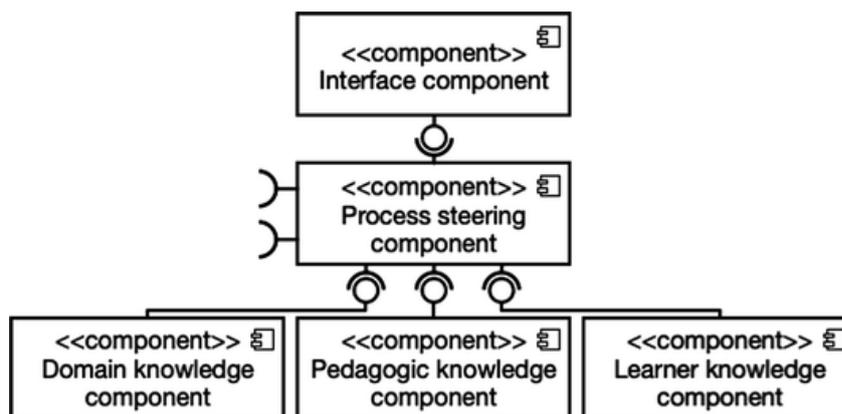
O presente trabalho compreende a existência de várias nomenclaturas para funções equivalentes ou similares, caso do agente designar a função do módulo ou a sua decomposição. O que pode diferenciar o uso da nomenclatura relaciona-se ao tipo de tecnologia empregada, como o uso da IA Distribuída (DIA). Além do tipo de tecnologia, a compreensão na correlação dos nomes preocupa-se com o objetivo do componente em si. Para fins de organização, a nomenclatura permanecerá de acordo com a clássica, ressaltando que pode haver estudos similares com a presença da modelagem dos componentes na condição de agentes.

#### **4.4.4.4 Arquitetura UML com Componente de Direção do Processo**

Essa arquitetura usa um modelo de *software* ITS derivada da clássica, com melhorias em sua definição, como a implementação de componentes da Linguagem de Modelagem

Unificada<sup>25</sup> (UML – *Unified Modeling Language*). Um quinto componente foi adicionado para direcionar o processo. Nesta configuração, foram realizadas 3 (três) atualizações, apresentadas na Figura 19. A primeira utiliza um diagrama de componentes<sup>26</sup> UML para criar uma versão aprimorada da arquitetura clássica (MALOTKY; MARTENS, 2019).

Figura 19 - ITS com diagrama de componentes UML e direção de processo



Fonte: Malotky e Martens (2019)

A segunda atualização define, de modo claro, os componentes clássicos, ou seja, a precisão da nomenclatura específica para uma arquitetura de *software*. A nomenclatura dos “modelos” de domínio, tutorial, estudante e interface foram estabelecidas com os nomes do diagrama de componentes da UML: (1) componente de domínio; (2) componente tutorial; (3) componente do estudante e (4) componente de interface (MALOTKY; MARTENS, 2019).

A terceira atualização adiciona um componente de “direção do processo” para gerenciar a comunicação entre os componentes e as decisões de seleção dos melhores caminhos no ITS. O componente de “direção do processo” (centro da Figura 19, denominado “modelo de processo de tutoria”) atua como mediador entre o componente de interface (modelo de interface) e os componentes de conhecimentos (modelos: domínio, tutorial e estudante). As habilidades de domínio e tutorial ficam limitadas e as responsabilidades de tomadas de decisões são atribuídas ao componente de “direção do processo” (MALOTKY; MARTENS, 2019).

<sup>25</sup> “Linguagem padrão para descrever/documentar projeto de *software*. A UML pode ser usada para visualizar, especificar, construir e documentar os artefatos de um sistema de *software*” (PRESSMAN, 2011, p. 727).

<sup>26</sup> Diagrama essencial para desenvolver um *software*, auxilia na compressão das estruturas existentes e no desenvolvimento de novas. A terminologia “componente” relaciona-se a um determinado módulo de classes, que representa sistemas ou subsistemas independentes com capacidade de interagir com o restante do sistema.

Esse novo estilo de arquitetura “divide adições de funcionalidade complexas dos componentes existentes e permite pontos de extensão explícitos para adicionar novos recursos por meio de novos componentes. Essa é uma abordagem mais modular, o que ocasiona flexibilidade para aumentar o ITS” (MALOTKY; MARTENS, 2019, p. 45). De acordo com os estudos históricos de Malotky e Martens (2019), 34,8% das arquiteturas com adição do componente de direção do processo foram consideradas nas conclusões dos respectivos estudos, como um bom complemento para arquitetura clássica.

Encerrada a apresentação de algumas arquiteturas contemporâneas, a próxima seção trata de um aspecto chave da tese: o chatbot. Além da contextualização, são apresentados dados de pesquisas e o enfoque educacional do chatbot como sistema de tutoria inteligente.

## 4.5 Sistema Chatbot de Tutoria Inteligente

Os estudos recentes destacam os chatbots de tutoria inteligentes como tendências aplicadas na educação (TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020). Antes de especificar os “chatbots inteligentes”, faz-se necessário contextualizar o termo “chatbot”. Seu conceito é abrangente e apresenta termos semelhantes como “agentes virtuais”, “agentes de conversação”, “chatterbots”, “chatter-bots”, “bots” ou simplesmente “bot”. A palavra foi concebida na junção dos termos “chat<sup>27</sup>” (“bate-papo”) e “bot” (em abreviação da palavra “*robot*”, robô). Os chatbots são denominados “agentes inteligentes” quando carregam aspectos da IA. Nas plataformas inteligentes, os chatbots se misturam com os assistentes inteligentes virtuais (como o Google *Assistant* ou Assistente do Google). Um chatbot é “*software* usado para simular interações com humanos por meio de texto ou voz” (IBM, 2021).

Para estabelecer a comunicação entre sistemas e estudantes são determinadas interações dialogadas (voz ou textual) ou outros movimentos simulados. A interação, com voz ou texto, consiste na linguagem natural. Os sistemas capazes de conduzir interações com seres humanos, em linguagem natural, são denominados chatbots (PATEL et al., 2019a). Fundamentalmente, a

---

<sup>27</sup> CHAT - *Conversational Hypertext Access Technology* - Hipertexto de Conversação de Acesso à Tecnologia

tecnologia de um sistema especialista com características de interações em linguagem natural, orientado por inteligência artificial, classifica-se como *software* chatbot (PATEL et al., 2019b).

De modo geral, os ITS's contemporâneos detêm as características para Processamento de Linguagem Natural (NPL), tratados como Sistemas de Tutoria Inteligentes Baseados em Linguagem Natural. Frequentemente, as características desses sistemas inteligentes com referência no NLP são encontradas nos chatbots. As evoluções das compreensões do NLP se refletem nos sistemas, a cada instante, mais apurados em relação às interações. Essa acurácia, associada aos paradigmas como sistemas especialistas ou máquinas de aprendizagem (conceitos da IA), permite o desenvolvimento de chatbots inteligentes para orientar e apoiar a resolução de diversos problemas reais do cotidiano (ROSA, 2011).

#### **4.5.1 Chatbots Inteligentes para Orientação na Resolução de Problemas**

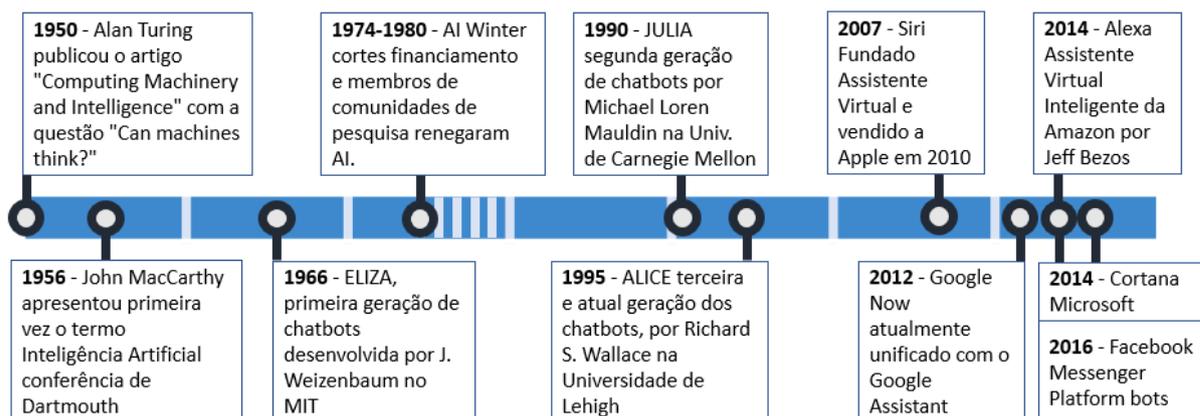
Pensar em sistemas capazes de estabelecer diálogos em linguagem natural reporta aos trabalhos pioneiros com o “Teste de Turing” e “chatbot ELIZA” (Figura 20). Em 1950, a proposta do “Teste de Turing” apresenta a primeira literatura a relacionar um chatbot com definições nos comportamentos da IA. Posteriormente, surgiu a IA do *software* ELIZA, como o primeiro chatbot com a capacidade interagir entre paciente e psicólogo (WEIZENBAUM, 1966). ELIZA tornou-se base para as estruturas de chatbots. Em relatos da época, os pacientes que usaram o chatbot foram enganados repetidamente, não sabendo da possibilidade de estarem conversando com um computador (RUSSELL; NORVIG, 1995).

Um chatbot inteligente usa a tecnologia da IA para apoiar usuários na conclusão de tarefas específicas, detectando suas necessidades a partir de conversas por voz ou texto. O chatbot é usado para orientar o usuário na resolução de problemas. A partir de um dado problema, o instrutor inteligente desenvolve interações para orientar as possíveis soluções (RUSSELL; NORVIG, 1995; VICARI, 2017).

Com o passar das décadas, os chatbots aperfeiçoaram suas capacidades, com técnicas cada vez mais sofisticadas, presentes nas evoluções de abordagens como o Processamento de Linguagem Natural, Redes Neurais Artificiais e o Aprendizado de Máquina (VICARI, 2017).

Nesse contexto, a Figura 20 apresenta a linha do tempo com as três gerações distintas de chatbots, representadas por marcos tecnológicos específicos: (1) ELIZA, primeira geração; (2) JULIA, segunda geração e (3) ALICE, terceira e atual geração (ABUSHAWAR; ATWELL, 2015; RUSSELL; NORVIG, 1995; VICARI, 2017).

Figura 20 - Histórico Chatbots



Fonte: elaborado pelo autor

ELIZA foi criada em 1966 por Weizenbaum no MIT e corresponde à primeira geração de chatbots. Representa um sistema para simular um psicólogo na identificação de termos relevantes e desenvolver respostas com o objetivo de aprofundar o diálogo com o paciente. O arranjo usa tabelas de padrões e modelos de regras gramaticais para detectar possíveis parâmetros entre a frase do paciente e as estruturas de diálogos da base do sistema. Sua abordagem de comportamento inteligente permitia que o paciente apresentasse seus sentimentos, com perguntas respondidas com outras perguntas para estimular o paciente a falar, a interagir. ELIZA apresentava algumas limitações, como a ausência de memória, ou seja, não existia a possibilidade de guardar os históricos das conversas com o paciente. Isso remetia ao fato em que o paciente poderia repetir uma mesma fala e o sistema analisaria como se fosse a primeira interação (ABUSHAWAR; ATWELL, 2015; CARBONELL, 1970; PATEL et al., 2019b; VAIRA et al., 2018; WEIZENBAUM, 1966).

JULIA foi criada em 1994 por Mauldin na Universidade de Carnegie Mellon e corresponde à segunda geração de chatbots. Foi concebida para apoiar o jogo TinyMUD<sup>28</sup> com

<sup>28</sup> TinyMUD (MUD - *Multi-User Dungeon*) é um jogo de aventura de mundo real multiusuário, criado por Richard Skrenta descrito inteiramente em texto.

simulações textuais e interações. Os jogadores estabeleciam diálogos com chatbot sem saber que se tratava de um sistema inteligente. O sistema introduzia as novas técnicas de IA, como as Redes Neurais Artificiais (ANN) e tirava proveito da ascensão do Processamento de Linguagem Natural e da Engenharia de *Software*. A ANN do sistema propiciava informações relevantes na exploração do ambiente para evolução do jogo. A ANN tinha, também, a capacidade de avaliar a utilidade das informações. A segunda geração foi marcada pela admissão de uma base de conhecimento de domínio específico e, diferentemente da primeira geração, as informações poderiam ser armazenadas (COOPER; NAM; SI, 2012; PATEL et al., 2019b).

ALICE<sup>29</sup> foi criada em 1995 por Wallace na Universidade de Lehigh e corresponde à terceira e atual geração dos chatbots. O sistema possui código fonte aberto e recebeu a colaboração de desenvolvedores ao redor do mundo. ALICE ou “Alicebot” é chatbot de processamento de linguagem natural capaz de estabelecer diálogos aplicando regras e padrões heurísticos. Seu desenvolvimento representou um divisor de águas frente as gerações anteriores por utilizar a Linguagem de Marcação da Inteligência Artificial (AIML<sup>30</sup> - *Artificial Intelligence Markup Language*), derivado do padrão de Linguagem de marcação (XML<sup>31</sup>) (ABUSHAWAR; ATWELL, 2015; COOPER; NAM; SI, 2012; HUDDAR et al., 2020; PATEL et al., 2019b; SRIVASTAVA; SINGH, 2020).

Como diferencial, AIML tem a capacidade de representação e relacionamento de expressões em linguagem natural. Essas capacidades permitem criar “Sistemas Especialistas” para dialogar em língua natural. A AIML interpreta a mensagem e confere a resposta com funções estabelecidas em *tags* (rótulos, marcações) específicas e determinadas por categorias. As categorias são consideradas os elementos básicos do conhecimento. Cada categoria pode ser constituída por uma regra, utilizada para interpretar as possíveis informações nas entradas e gerar respostas como saídas (ABUSHAWAR; ATWELL, 2015; COOPER; NAM; SI, 2012; HUDDAR et al., 2020; PATEL et al., 2019b; SRIVASTAVA; SINGH, 2020).

---

<sup>29</sup> ALICE (Artificial Linguistic Internet ComputerEntity), envolve a criação de diversos tipos de bots.

<sup>30</sup> A AIML pode ser decomposta em Interpretador e Base de Conhecimento. O Interpretador pode ser desenvolvido em distintas linguagens de programação: Python; JAVA; PHP etc. O Interpretador tem a função de ler a informação na AIML, analisar as entradas e retornar uma resposta ao usuário. Já a Base de Conhecimento, compilada em informações AIML, armazena as regras de padrões do chatbot.

<sup>31</sup> O XML (eXtensible Markup Language) consiste em um modelo para a criação de documentos com dados organizados hierarquicamente, derivando-se dos subtipos da Linguagem Padronizada de Marcação Genérica (SGML – *Standard Generalized Markup Language*) com a capacidade de descrição de variados tipos de dados.

Observa-se, na Figura 21, a composição básica de uma estrutura AIML, constituída por: (1) tag `<pattern>`, considerada padrão para associar a entrada da informação; (2) tag `<template>`, para exibição de um modelo de resposta. As tags como `<that>` ou `<topic>` são classificadas como não obrigatórias, com a função de representar contextos, agrupar categorias e determinar assuntos correlatos em uma determinada conversa.

Figura 21 - Estrutura básica da AIML

```

<aiml>
  <category>
    <pattern> O que faz a Inteligência Artificial? </pattern>
    <template> A inteligência artificial sistematiza e automatiza tarefas
                intelectuais e, portanto, é potencialmente relevante para
                qualquer esfera da atividade intelectual humana.
    </template>
  </category>
</aiml>

```

Fonte: elaborado pelo autor

ALICE figura dentre os projetos de chatbots inteligentes mais populares em referências e citações. Em 2001 foi criada a fundação ALICE IA<sup>32</sup> para desenvolvimento e promoção do padrão AIML. Esse contexto rendeu o título de estado da arte no desenvolvimento de chatbots. Até 2015, existiam cerca de 50.000 categorias de domínio público cadastradas na base de conhecimento de ALICE. Considera-se um dos projetos responsáveis por difundir a linguagem AIML, amplamente utilizada no desenvolvimento dos chatbots atuais (ABUSHAWAR; ATWELL, 2015; COOPER; NAM; SI, 2012; HUDDAR et al., 2020; PATEL et al., 2019b; SRIVASTAVA; SINGH, 2020).

E a quarta geração de chatbots? A questão divide as opiniões de pesquisadores, considerando que a terceira geração teve início em 1995. As pesquisas discutem as abordagens atuais de desenvolvimento com adoção de regras e padrões heurísticos (como ALICE) e/ou aprendizado de máquina. As abordagens dependem da aplicação. O aprendizado de máquina torna-se interessante quando há o envolvimento de grandes bases de dados e sua análise exige algoritmos complexos. Por outro lado, existem contextos para tratar dúvidas específicas de domínio, em que uma abordagem baseada em regras pode ser mais pertinente. Contudo, quando

<sup>32</sup> <https://alicebot.org>

se deseja prospectar o futuro das gerações de chatbots, a Computação Cognitiva<sup>33</sup> se apresenta como uma promissora tecnologia. Nela, as tecnologias (1) Processamento de Linguagens Naturais; (2) Recuperação de Informações; (3) Aprendizado de Máquina; (4) Representações do Conhecimento e Raciocínio podem ser combinadas em um sistema. Um exemplo de sistema com essas características tecnológicas implícitas é o “IBM Watson”. Mais detalhes destes sistemas são descritos ao longo da seção (MCTEAR; CALLEJAS; GRIOL, 2016).

Os chatbots têm sido amplamente adotados para orientar e apoiar as solicitações em diversos setores. Embora o desenvolvimento dos chatbots tenham se tornado mais acessíveis, em virtude do avanço das tecnologias e com os princípios como a reutilização de componentes, ainda pertencem ao grupo de sistemas considerados complexos perante a engenharia de *software*. Atualmente, as novas tecnologias de desenvolvimento com IA e a engenharia de *software* corroboram na implementação dos chatbots para as mais diversas finalidades, desde domínios gerais até os domínios mais específicos (PRESSMAN, 2011; SOMMERVILLE, 2018; TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020).

Os chatbots em um domínio geral são desenvolvidos para apoiar conversas em tópicos abertos aplicados a qualquer disciplina. São exemplos de domínios gerais: (1) o SOGO (2018), que consiste em um sistema de conversação inteligente de negociação social que envolve a proposição de estratégias com diálogos para envolver usuários em uma negociação. O sistema utiliza os recursos do AIML e técnicas de aprendizado de máquina (ZHAO; ROMERO; RUDNICKY, 2018); (2) o OntBot (2011) utiliza técnicas de mapeamento para transformar ontologias e bases de conhecimentos em banco de dados relacional e então usar esse conhecimento para conduzir seus chats com NLP. Diferentemente dos tradicionais, o OnBot não utiliza AIML, substituída por linguagem de programação de uso geral (VB.Net) e um banco de dados relacional para armazenar conhecimento (AL-ZUBAIDE; ISSA, 2011);

No domínio geral em contexto mais abrangente, existem os chamados assistentes virtuais compreendidos nas chamadas plataformas de Inteligência Artificial. O IBM “Watson

---

<sup>33</sup> Uso da inteligência computacional para apoiar as tomadas de decisões, com aspectos não supervisionados de interações e aprendizagens em tempo real. Caracterizadas na IA em tecnologias como: Processamento de Linguagens Naturais; Recuperação de Informações; Aprendizado de Máquina; Representações do Conhecimento e Raciocínio (CIEB, 2019; MENEZES et al., 2017).

*Assistant*<sup>34</sup> é uma plataforma que se destaca por prover assistentes com IA em base de busca de conhecimento e o aprendizado de máquina. A presença do aprendizado de máquina permite desenvolver treinamentos para compreensão de diferentes contextos, incluindo a educação. A empresa IBM tem seu reconhecimento por promover debates sobre a Inteligência Artificial, destacando as novas possibilidades tecnológicas, como os chatbots inteligentes, para favorecer o progresso e a qualidade da educação (IBM, 2021; MENEZES et al., 2017).

A Tabela 10 exhibe os assistentes virtuais de destaque com suas respectivas plataformas inteligentes de desenvolvimento. Esses assistentes inteligentes são amplamente difundidos e notavelmente reconhecidos por suas capacidades de manipulação do NLP, aprendizado de máquina e a criação de sistemas especialistas. A fundamentação enquadra a elaboração dos chatbots como sistemas complexos, em um ecossistema diverso com inúmeras variáveis e recursos para distintas aplicações. As plataformas inteligentes apoiam a criação dos chatbots disponibilizando os recursos<sup>35</sup> necessários (MCTEAR; CALLEJAS; GRIOL, 2016).

Tabela 10 - Principais assistentes virtuais e plataformas inteligentes

<b>Empresa/Instituição</b>	<b>Assistente Virtual/Plataforma</b>
IBM	IBM Watson <i>Assitant</i> – IBM Watson Studio
Google	Google <i>Assistant</i> – Dialogflow (antigo API.AI)
Microsoft	Microsoft Cortana - Microsoft Bot Framework
Amazon	Amazon Alexa - AWS - Amazon Lex
USC - ICT <sup>36</sup>	ICT Virtual Human Toolkit

Fonte: Menezes et al. (2017), TeachOnline (2018)

Para os chatbots de domínios específicos, existem amplos estudos e aplicações em distintas áreas como saúde, negócios e educação. São exemplos de domínios específicos na área da saúde: (1) o MediaBot (2018), com NLP e AIML, realiza uma consulta médica dialogada e apresenta diagnósticos individualizados de acordo com as manifestações (SRIVASTAVA; SINGH, 2020); (2) o MamaBot (2018), com NLP e aprendizagem de máquina, apoia mulheres grávidas e famílias com orientações e situações relevantes (VAIRA et al., 2018); (3) o Mandy (2017) combina NLP com base de conhecimentos da área médica em um sistema de

<sup>34</sup> O *Watson Assistant* é “uma plataforma completa que possui a Inteligência Artificial e o *Machine Learning* associados à função do assistente virtual com base de conhecimento” (IBM, 2021).

<sup>35</sup> Além do NLP e aprendizado de máquina, as plataformas inteligentes provêm recursos computacionais, desde as interfaces de projetos conversacionais, para designar intenções dos chatbots até a disponibilização de banco de dados para incorporar a base de conhecimento. As plataformas têm a capacidade de integrar todos esses recursos.

<sup>36</sup> USC - University of Southern California; ICT - Institute for Creative Technologies

atendimento primário, desenvolvido para auxiliar equipes de saúde automatizando o processo de admissão de pacientes (NI et al., 2017).

Na área de negócios existem altos investimentos, principalmente em relação aos chatbots de suporte e atendimento ao cliente. Dentre as milhares de iniciativas nesse campo, é possível citar o SuperAgent (2017), um chatbot de suporte ao atendimento para *e-commerce*. Consiste um sistema com busca em bases de conhecimento das descrições de produtos e conteúdos gerados pelos clientes ou usuários do comércio eletrônico que utiliza técnicas de NLP e Aprendizado de Máquina (CUI et al., 2017). Os chatbots também estão amplamente difundidos nas instituições públicas, citando como exemplo o “Typology” (2021). Esse sistema permite identificar os chatbots com base em propriedades e capacidades técnicas para apoiar as organizações públicas de acordo com o tipo de serviço prestado, ou seja, determinar um assistente virtual adequado para um tipo específico de serviço (MAKASI et al., 2021).

#### **4.5.2 Chatbots em Contexto Específico de IA na Educação**

Os Chatbots, em contextos da Inteligência Artificial na Educação (IAED), são classificados como assistentes inteligentes de interação (em linguagem natural) com estudante, podendo simular orientações de professores (BEAUMONT; LIN NORTON; TAWFIK, 2011; CHEN; ZHANG, 2019; LUGER, 2009; PATEL et al., 2019a; RUSSELL; NORVIG, 1995). Portanto, o sistema designado para IAED como ITS e assistentes inteligentes pode ser classificado como um sistema chatbot de tutoria inteligente (PATEL et al., 2019a).

Os resultados de estudos de Kuyven et al. (2018) e Tavares et al. (2020) apontaram que, dentre as vertentes de IA na Educação, o ITS destacou-se nas maiores ocorrências de pesquisas. Contudo, surge a questão: e com relação aos chatbots? Como se posicionam em relação ao uso na educação? Os estudos indicam que frequentemente (2014 a 2020) os chatbots têm sido desenvolvidos em âmbito educacional com os seguintes objetivos: (1) implementar a tutoria inteligente; (2) desenvolver a aprendizagem adaptativa; (3) avaliar a aprendizagem; (4) autoaprendizagem; (5) desenvolver a aprendizagem de modo colaborativa; (6) mediar a aprendizagem. Os sistemas chatbots de tutoria inteligentes são classificados como tendências de estudos de IA na Educação (KUYVEN et al., 2018; TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020).

A subseção anterior apresentou alguns chatbots específicos de áreas como saúde ou negócios. No entanto, após os estudos de Kuyven et al. (2018) e Tavares et al. (2020) reconhecerem os chatbots da área de IA na Educação como tendências de pesquisas, torna-se pertinente a apresentação de exemplos de chatbots educacionais inteligentes.

O presente trabalho foi escrito em época da pandemia do Covid-19. Dessa forma, pareceu pertinente apresentar o próximo exemplo, que trata de assunto de importância específica ao relacionar orientações educacionais para prevenção da saúde. A iniciativa do CovidBot<sup>37</sup> foi desenvolvida no Laboratório de Inovação Tecnológica Aplicada na Educação (LANTEC-UNICAMP). Utiliza técnicas de aprendizado de máquina e sistemas especialistas para informar e educar a população, principalmente os estudantes e servidores da UNICAMP. A base do conhecimento foi fundamentada nas informações: da Organização Mundial da Saúde; do Ministério da Saúde do Brasil; protocolos específicos da UNICAMP. A pesquisa usou o advento da paralisação das aulas presenciais para justificar e potencializar o uso da tecnologia do chatbot de domínio específico na saúde e educação. Como resultado, disponibiliza apoio na orientação e compreensão de causa e efeito do Covid-19 associados às práticas de prevenção (MARQUES; AMARAL, 2020).

Outro trabalho recente é o “Dexter the College FAQ Chatbot”, um chatbot inteligente de apoio às perguntas frequentes de faculdades. Seu design foi inspirado no ALICE, com a utilização de NLP, AIML e TensorFlow<sup>38</sup> para expandir a rede neural do chatbot. Como diferencial, usa o aprendizado de máquina com algoritmo KNN de vizinho mais próximo. Essa tecnologia cria respostas para perguntas não disponíveis no banco de dados (HUDDAR et al., 2020). A próxima subseção estabelece um filtro, ainda mais específico, para tratar os esforços dos percursos de aprendizagens e interações com sistemas chatbots de tutoria inteligente.

---

<sup>37</sup> <https://www.unicamp.br/unicamp/cartilha-covid-19>

<sup>38</sup> TensorFlow consiste em bibliotecas de código fonte aberto voltadas para o Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*) que podem ser aplicadas a amplas tarefas, oferecendo suporte para linguagens de programação como Python e JavaScript. Fonte: <https://www.tensorflow.org/learn>

#### 4.5.2.1 Chatbots e interações com percursos de aprendizagens

Ota et al. (2019) apresenta “Aprendizagem Adaptativa Online” com percursos para desenvolver competências da língua portuguesa e matemática no ensino superior. O sistema usa a arquitetura clássica do ITS associada à metodologia de Pesquisa Baseada em Design (*Design-Based Research*). O DBR desenvolve a melhoria contínua (com ciclos de interações) da prática educacional para gerar o conhecimento a ser utilizado. Possui um sistema adaptativo integrado ao chatbot para ampliar as possibilidades de personalização do ensino. Por meio da seleção de trilhas de aprendizagens, desenvolveram-se as competências necessárias para atingir os objetivos do currículo. O estudo considera as trilhas de aprendizagens como estratégias adaptativas para determinar níveis de personalização do sistema (OTA et al., 2019).

Na computação, Auccahuasi et al. (2018) apresenta um chatbot inteligente para apoiar a compreensão das estruturas básicas de linguagem de programação a partir da identificação dos conhecimentos prévios em matemática. O público é formado por estudantes das disciplinas de matemática e programação de computadores do ensino médio. O chatbot intervém no instante da execução (compilação) do código de um determinado *script*, com o objetivo de analisar as estruturas que compõem o programa e auxiliar nos possíveis erros de execução. O sistema simula a presença do professor e orienta o estudante na realização das práticas. Na identificação das prováveis intenções do estudante, o modelo da base de conhecimento é consultado para comparar, avaliar e estabelecer possíveis tutorias de acordo com o conjunto de regras correspondentes àquela determinada prática (AUCCAHUASI et al., 2018).

## 4.6 Trabalhos Correlatos com ITS's e PBL

O trabalho de Krishnamoorthy et al. (2013) apresenta chatbots inteligentes para ensinar interfaces de programação de aplicativos (API - *Application Programming Interface*) em um curso da engenharia de *software*. O sistema se apresenta como um tutor inteligente de API's desenvolvido em aulas com atividades em PBL. Destaca-se por utilizar sistemas especialistas e o aprendizado de máquina para aprimorar as abordagens do tema com a análise de informações a partir de perguntas frequentes. Salienta-se que o ITS de API não possui relações com a aplicação ou percurso do método PBL, seu domínio específico restringe-se às API's.

A pesquisa de Beaumont e Lin Norton (2011) exhibe o desenvolvimento e a avaliação de protótipo de ITS para orientação de atividades em um ambiente de Aprendizagem Baseada em Problemas (não projetos). O sistema se apresenta como PBL Coach e tem como base a arquitetura clássica dos ITS's. Sua tecnologia se destaca na acurácia do NLP dos chatbots inteligentes para guiar os estudantes no desenvolvimento de objetos de aprendizagem. Possui uma interface conversacional própria, com base nos sistemas *web*, para disponibilizar um ambiente para as interações em língua natural. O sistema propicia orientações adaptativas que fornece dicas e acompanhamentos de percursos.

Para concluir o capítulo de ITS, a Tabela 11 identifica, de forma abstrata, algumas das possíveis correlações entre as habilidades humanas, a Inteligência Artificial e a Inteligência Artificial na Educação (CIEB, 2019). Algumas correlações destacam-se por apresentar vínculos ao presente trabalho nas possibilidades de desenvolver a arquitetura e sistema ITS: (1) aprendizagem, aprendizagem de máquina e análise da aprendizagem; (2) modelos mentais, ontologia e formalização do conhecimento pedagógico; (3) escrever, processamento de linguagem natural e chatbot de tutoria inteligente; (4) interação, agentes inteligentes e agentes pedagógicos inteligentes.

Tabela 11 - Habilidades humanas e correlações entre IA e IAED

<b>Habilidades Humanas</b>	<b>Contexto IA</b>	<b>Contexto IAED</b>
Aprendizagem	Aprendizado de Máquina Técnicas de Mineração de Dados	Análises da Aprendizagem Mineração de Dados Educacionais
Modelos Mentais	Ontologia	Formalizar o Conhecimento Pedagógico
Visão	Visão Computacional	Monitorar a Aprendizagem
Falar / Ouvir / Escrever	Processamento de Linguagem Natural (NPL)	Sistemas Chatbots de Tutoria Inteligente
Sentimentos	Computação Afetiva	Afetividade na Aprendizagem
Interação	Agentes Inteligentes	Agentes Pedagógicos Inteligentes

Fonte: adaptado de CIEB (2019)

## 5 METODOLOGIA

O método de pesquisa do presente trabalho indica um estudo exploratório qualitativo de natureza aplicada para investigar as possibilidades do desenvolvimento de um Sistema de Tutoria Inteligente para propor orientações de apoio na criação de projetos, fundamentando-se no ensino com base na metodologia do PBL, para currículos de lógica de programação na EAD de cursos técnicos e superiores, na área da computação. A natureza da pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicações práticas e soluções para problemas (GIL, 2008). Os objetivos exploratórios têm por finalidade “estabelecer familiaridade com o problema a fim de torná-lo mais explícito ou na construção de hipóteses” (GIL, 2002, p. 41). A pesquisa exploratória pretende, ainda, estabelecer bases para estudos futuros (ANDERSON; ARSENAULT, 1998).

“Os resultados de um estudo exploratório são sempre hipotéticos” (STEBBINS, 2011, p. 41). “A validade é mais forte quando generalizações hipotéticas emergem do estudo empírico direto de um conjunto de instâncias representativas” (STEBBINS, 2011, p. 29). Para caracterizar a representatividade nas instâncias, o protótipo desenvolvido usa modelos de plataformas de aprendizagem *online* das instituições como o Instituto Federal São Paulo (IFSP) e Universidade Virtual do Estado de São Paulo (UNIVESP). O protótipo caracteriza o arcabouço para comportar o desenvolvimento do Sistema de Tutoria Inteligente Interativo e chatbots, como prova de conceito para hipótese. O trabalho foi dividido nos seguintes estágios:

1. Seleção da modalidade de aprendizagem *online* para comportar o sistema;
2. Pesquisa de demandas e determinação de um Case para orientação em Ambientes Virtuais de Aprendizagem, modalidade *online*, disciplina de lógica de programação;
3. Levantamento das tendências da Inteligência Artificial na Educação;
4. Levantamento bibliográfico dos Sistemas de Tutoria Inteligentes;
5. Desenvolvimento de um modelo e protótipo de Sistema de Tutoria Inteligente e Chatbots para elucidação da hipótese da pesquisa;

6. Pesquisa e uso dos recursos dos ITS's e Chatbots para diversificar a proposição de ferramentas de apoio educacionais na disciplina de lógica de programação;
7. Modelagem ITS Interativo integrado ao AVA, para apoiar nas orientações de projetos PBL e disciplina como prova de conceitos para as proposições.

## 5.1 Modalidade de Aprendizagem *Online*

A concepção do sistema foi projetada para a Educação a Distância (EAD), na modalidade de ensino e aprendizagem *online* (KALELIOGLU; GULBAHAR, 2014). Os cursos *online* determinam a intenção do aprendizado a partir do uso de sistemas de computadores para facilitar o processo de aprendizagem. A aprendizagem *online* utiliza as Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) e computadores equipados com sistemas de telecomunicações e multimídias como principal meio de entrega e interação entre professores e estudantes (IKHSAN et al., 2019).

Bates (2015) aponta que desenvolver cursos com a aprendizagem *online* apresenta significativas vantagens: (1) aumentar o nível de interatividade e aprendizagem; (2) facilitar a interação com flexibilidade de tempo e lugar; (3) possibilidades de abrangência global, atingir grande número de estudantes; (4) facilidades para atualização instantânea de conteúdo e disponibilização de recursos; (5) estudantes aprendem a desenvolver um estilo próprio e ritmo de aprendizagem, disponibilizando mais tempo para compreensão de um novo conceito e menos esforços para conceitos já assimilados; (6) diversificação no formato dos conteúdos de acordo com as vantagens que a tecnologia pode oferecer nas multimídias *online*, que vão desde interações assíncronas, como fóruns *online*, até as relações síncronas com videoconferências.

Para acomodar isso, é importante construir ou estabelecer um *design* de ensino adequado, por parte dos professores e de todos os responsáveis pela estruturação, de forma a compreender os anseios de estilos de aprendizagens dos estudantes no ambiente de aprendizagem *online* (AMARAL; BARROS, 2007; GÜRSUL; KESER, 2009).

## 5.2 Pesquisa de Demandas na Aprendizagem *Online*

O primeiro passo foi levantar a oferta de cursos a distância na área de tecnologia para justificar a demanda de novas pesquisas. Constatou-se o crescimento dos cursos de tecnologia com a computação e, conseqüentemente, demandas e oportunidades para propor pesquisas que explorem e apresentem novas possibilidades de ensino e aprendizagem em disciplinas técnicas, como a lógica de programação (ABED, 2019; INEP, 2019).

Constatado o crescimento dos cursos, realizou-se outro levantamento para analisar as implementações dos AVA's. Com observação direta, os dados foram levantados no próprio local onde os fenômenos ocorrem: nos AVA's dos cursos técnicos e superiores a distância, na área da computação, em disciplinas de lógica de programação e programação de computadores.

A observação participante foi desenvolvida nas instituições: Instituto Federal de São Paulo (EAD IFSP) em parceria com Rede e-Tec Brasil; e Universidade Virtual do Estado de São Paulo (UNIVESP). No IFSP, de 2011 a 2018, a observação caracterizou dados empíricos de experiência e vivência de atuação nos cursos técnicos e superiores na computação. Na UNIVESP, de 2019 a 2020, em observação direta como facilitador no curso de Engenharia da Computação.

Os objetivos específicos da observação: (1) analisar como as plataformas foram implementadas para ofertar a disciplina; (2) propor hipóteses para auxiliar a orientação do ensino. O resultado da observação constatou: (1) plataformas implementadas, em geral, de modo estático, apresentando o mesmo conteúdo para cada estudante; (2) poucos recursos que propiciem orientações interativas ou personalizações no ensino e nenhum em relação às tecnologias encontradas na Inteligência Artificial na Educação; (3) em alguns momentos da disciplina, em geral, é proposto o desenvolvimento de projetos para trabalhar as práticas.

Com a identificação dos dados, surgiram as demandas para estudar os recursos da IA na Educação, permitindo explorar orientações com interações e personalizar o ensino. Em apoio à tecnologia de IA, consideraram-se as potencialidades da Aprendizagem Baseada em Projetos, principalmente, para atender o ensino de competência técnica com desenvolvimento de projetos. O PBL ressalta o posicionamento do estudante em papel ativo na sua aprendizagem.

Ao reconhecer a relação entre as qualidades da IA e do PBL, para criar recursos e estratégias nas orientações dinâmicas e interativas no AVA, a última etapa do levantamento objetivou estruturar a plataforma da disciplina: (1) selecionar conteúdos e recursos pedagógicos de lógica de programação para comportar projetos PBL; (2) usar modelos de disciplinas de lógica de programação para propor uma plataforma base de desenvolvimento do protótipo ITS; (3) Implementar um modelo de AVA para representar a disciplina de lógica de programação.

### 5.3 Método de Levantamento de Tendências de IA na Educação

Realizou-se um levantamento dos estudos e caminhos da IA na Educação para subsidiar a pesquisa e justificar a seleção dos Sistemas de Tutoria Inteligentes para criar o protótipo. A metodologia empregada foi a bibliometria, para levantar as publicações científicas de acordo com as citações e análises temáticas. A bibliometria é adequada para examinar resultados científicos para determinar métricas, como o número de citações das publicações, e relações com avaliações, como impacto ou influências destes artigos (KURTZ; BOLLEN, 2010).

Para compreender os caminhos que a IA vem tomando na Educação, determinaram-se parâmetros bibliométricos em buscas na base do *Web of Science*, de natureza interdisciplinar, que abrange cerca de 12 mil jornais de alto impacto. A bibliometria tem sido amplamente usada para avaliar tendências de estudos nas mais variadas áreas (MARTIN et al., 2011).

O levantamento no *Web of Science* analisou os 60 artigos mais citados (Apêndice I, [link](#)) e publicados em periódicos. A exploração contemplou cerca de 6 anos, de “janeiro de 2014” a “julho de 2020”. A Figura 22 sintetiza os passos realizados, desde as buscas por termos no *Web of Science*, passando pelos métodos bibliométricos até desencadear as análises temáticas.

Para não haver restrição a um determinado assunto na área de IAED, termos abrangentes foram caracterizados: (1) “Inteligência”, “Artificial”, “Educação” ou; (2) “Inteligência”, “Artificial”, “Ensino”. Termos como “Aprendizagem” foram evitados, uma vez que existe “conotação técnica forte para este termo dentro da área da computação e, portanto, um filtro como esse poderia resultar em artigos puramente computacionais” (TAVARES; MEIRA;

AMARAL, 2020, p. 48707). As explorações ocorreram nas análises das publicações referentes às revisões, editoriais e, principalmente, nos artigos científicos.

Figura 22 - Metodologia da pesquisa exploratória



Fonte: Tavares, Meira e Amaral (2020)

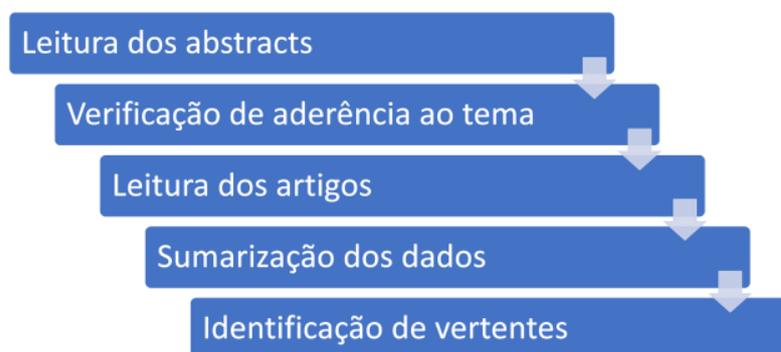
Para identificar as tendências, foram desenvolvidas leituras com análises temáticas. “A análise temática é um método para identificar, analisar e reportar padrões (temas) nos dados” (BRAUN; CLARKE, 2006, p. 79) e representa uma técnica flexível para analisar e organizar esses conjuntos de dados qualitativos associados às demandas do contexto de pesquisa. Caracteriza um método sem vínculos aos detalhes teóricos e que reconhece a necessidade de julgamento do pesquisador (BRAUN; CLARKE, 2006).

A Figura 23 apresenta as etapas da análise temática adotada para desenvolver o levantamento. As linhas gerais das etapas foram orientadas de acordo com os estudos de Nowell et al. (2017). A análise foi dividida em 5 etapas: (1) leituras dos *abstracts* dos artigos selecionados para familiarização dos textos e criação de uma planilha de controle; (2) remoções de artigos não aderentes à temática e novas inclusões para completar a lista de artigos analisados; (3) leituras completas dos artigos; (4) sumarizações de apontamentos na planilha de controle; (5) identificações das vertentes apontadas pelos artigos. Para organizar o levantamento, vertentes foram estruturadas ao longo das análises temáticas. As vertentes foram detectadas nos termos recorrentes, identificando a proposta principal (ou as principais) de cada publicação, para caracterizar as mais significativas.

Para determinar o resultado, houve a priorização das publicações quantitativamente mais citadas ao longo do período determinado. As publicações selecionadas consistem em “obras cientificamente consolidadas para futuras referências de estudos” (TAVARES; MEIRA;

AMARAL, 2020, p. 48708). A análise temática em cada uma das publicações teve como finalidade contabilizar a incidência e identificar as tendências de estudos de IAED.

Figura 23 - Etapas da análise temática sobre IA na Educação



Fonte: desenvolvido em colaboração para as teses de Matheus C. Meira e Luis A. Tavares.

“A identificação de tendências não se trata de um critério exclusivo, mas de um importante critério para identificar relevância de temas de pesquisa” (TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020, p. 48708). Além das tendências, foram observados outros aspectos pertinentes como: os conceitos dos sistemas especialistas; aprendizado de máquina e aprendizagem adaptativa, que foram considerados e incorporados nas discussões e nos resultados do levantamento de tendências e, conseqüentemente, aplicadas no presente trabalho.

## 5.4 Estudo Exploratório dos Sistemas de Tutoria Inteligentes

Para levantamento de teorias e trabalhos prévios sobre os Sistemas de Tutoria Inteligentes, foram desenvolvidas pesquisas nas bases do Google Acadêmico e *Web of Science*. As análises associaram os seguintes tópicos aos ITS's: (1) “Histórico e Conceitos”; “Projetos de Pesquisa”; “Arquiteturas” e “Chatbots”. O levantamento bibliográfico objetivou a exploração de trabalhos acadêmicos e científicos para detectar as principais abordagens históricas, conceituais e contemporâneas relevantes ao trabalho, para servir de arcabouço para a criação do protótipo do ITS. “As pesquisas exploratórias habitualmente envolvem levantamento bibliográfico” (GIL, 2008, p. 27). “O levantamento bibliográfico [...] é entendido como um estudo exploratório, posto que tem a finalidade de proporcionar a familiaridade com a área de estudo no qual está interessado, bem como sua delimitação” (GIL, 2002, p. 61).

A metodologia do levantamento bibliográfico dos ITS's é apresentada na Figura 24. Os seguintes filtros foram estabelecidos: (1) detectar os predecessores aos ITS's (CAI e ICAI), com suas abordagens educacionais concebidos anteriormente a 1979; (2) detectar o histórico, conceitos, projetos de pesquisa e arquiteturas desde a concepção dos ITS (1979 até o presente); (3) filtro de 2000 até 2021, para uma abordagem geral dos Sistemas Chatbots de Tutoria Inteligentes, destacando os assistentes educacionais em contextos específicos.

Figura 24 - Metodologia do levantamento bibliográfico dos ITS



Fonte: elaborado pelo autor

Após relacionar os artigos, anteriores e posteriores aos ITS's, foram realizadas análises textuais. Dentre as principais obras relacionadas à temática, foi destacado Sleeman e Brown (1982), que apresenta a revisão do estado da arte dos sistemas antecessores (CAI e ICAI) e criação do novo conceito de ITS, a partir dos esforços de revisão e edição, publicada na obra de referência “*Intelligent Tutoring Systems*”.

O levantamento bibliográfico utilizou-se de obras mais recentes, como a de Woolf (2009) “*Building Intelligent Interactive Tutors: Student centered strategies for revolutionizing e-learning*”, que desenvolveu uma enciclopédia para desenvolvimento dos ITS's. Obras como o livro de Nkambou et al. (2010) mereceram destaque por disponibilizar uma compreensão básica do campo, destacando sua evolução e avanços mais recentes de trabalhos na área.

Os trabalhos selecionados para contemplar as abordagens contemporâneas gerais são associados aos chatbots, em contexto específico de Inteligência Artificial na Educação. Muitos artigos selecionados foram publicados nas conferências mundiais recorrentes dos ITS's (*The*

*International Conference on Intelligent Tutoring Systems*), desde a primeira edição, em Montreal (1ª ITS 1988 – Canadá), até Bucareste (18ª ITS 2022 – Romênia).

Para os trabalhos correlatos foi desenvolvida uma pesquisa na base do *Web of Science*, com filtro até agosto de 2020 e com descritores para: (1) as plataformas interativas com PBL e; (2) a IA dos sistemas de tutoria inteligentes com PBL. O Capítulo 4 apresentou o histórico, conceitos fundamentais, arquiteturas e aplicações dos ITS's e chatbots inteligentes, com foco na educação, de acordo com as informações exploradas no levantamento bibliográfico.

## **5.5 Metodologia de Desenvolvimento do Sistema**

Para o protótipo do ITS, denominado PBL-Tutor, o método de desenvolvimento utilizou o levantamento bibliográfico como base para determinar as tecnologias da arquitetura. A base do sistema é formada por (1) arquitetura clássica de Carbonell (1970), por Sleeman e Brown (1982); (2) arquitetura atualizada em UML de Malotky e Martens (2019); (3) inovações dos chatbots, de “Typology” de Makasi et al. (2021). O protótipo base da arquitetura é apresentado no diagrama de componentes da UML (Figura 25).

O PBL-Tutor apresenta o componente especialista (abaixo na Figura 25) com as regras e estratégias para criação dos projetos com PBL na disciplina. Esse componente contém a base do conhecimento do especialista (regras determinadas pelo professor especialista), disponibiliza os conceitos da disciplina (O que são as Estruturas Condicionais?) ou de projetos com PBL (O que é um projeto?) e é responsável por gerar as explicações e respostas ao estudante. Os demais componentes: estudante; tutorial e de interface também estão presentes no protótipo.

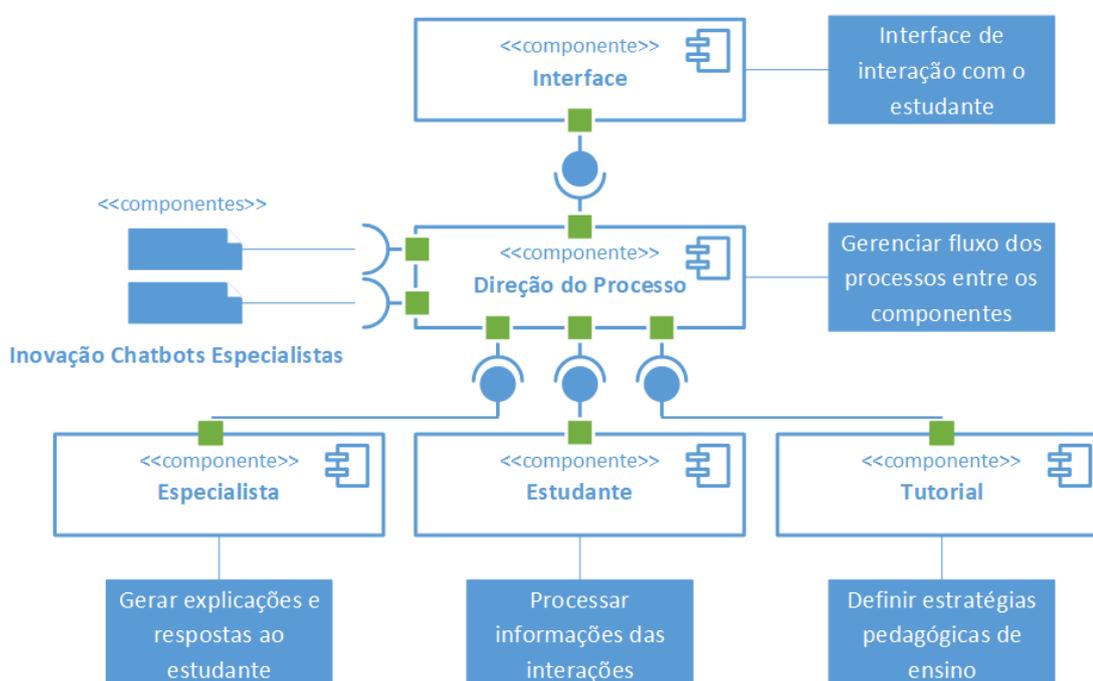
No componente do estudante, constam as funções para processar as informações das interações com cada aluno. O componente determina as características em relação ao progresso de aprendizagem, por exemplo, a etapa do projeto PBL em que as interações estão ocorrendo.

O componente tutorial é módulo pedagógico e tem como objetivo comportar as estratégias de ensino que serão exibidas de acordo com as interações com os estudantes. Com

as interações, o componente tutorial do protótipo definirá as estratégias que podem ser trabalhadas, por exemplo, de acordo com o progresso de cada passo do projeto PBL.

O último componente consiste na interface de interação com o estudante. No instante do acesso ao ITS, a interface é apresentada sob a forma de um chatbot interativo (assistente inteligente). O método do componente permite interagir com os estudantes em uma interface conversacional, com processamento de língua natural. As interações são especializadas ao domínio do projeto PBL e disciplina de lógica de programação.

Figura 25 – Diagrama de componentes do protótipo base da arquitetura ITS/Chatbots



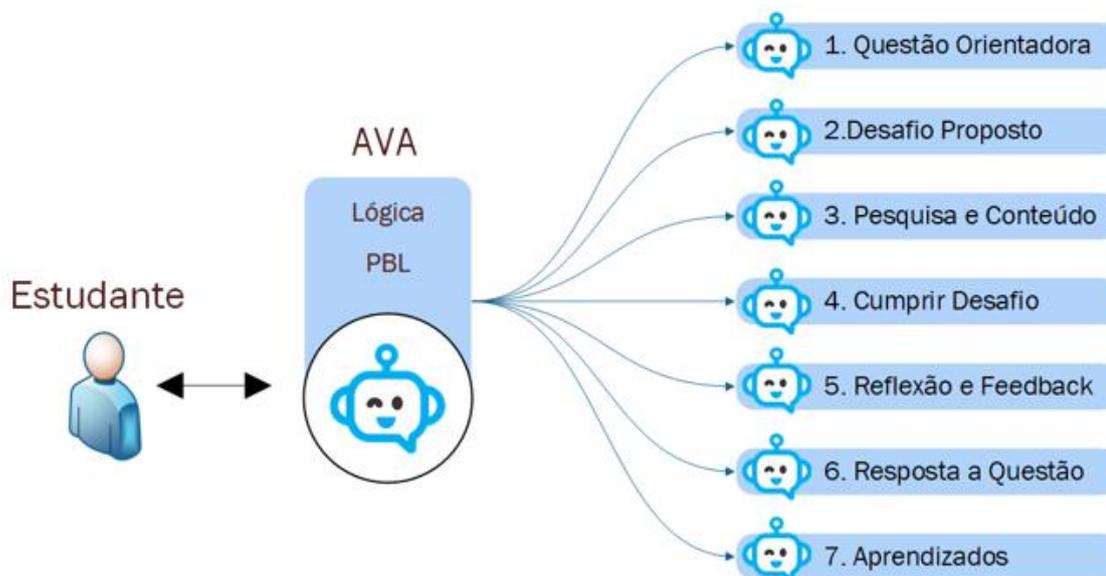
Fonte: elaborado pelo autor a partir da atualização Malotky e Martens (2019)

A Figura 26 exibe o primeiro protótipo de interação entre o estudante e uma arquitetura composta por múltiplos chatbots. Essa arquitetura destaca a seleção de assistentes inteligentes especialistas de acordo com a capacidade técnica em cada passo do PBL.

O primeiro protótipo constituiu um passo fundamental para homologação e definição da arquitetura base do sistema. Posteriormente, as novas versões destacam mudanças na estrutura de etapas do PBL, contudo mantêm o fundamento de seleção por capacidade técnica. Esse fundamento contempla a detecção de um assistente especialista mais aderente à etapa do PBL para atender a demanda. As novas versões do sistema foram criadas usando como base o

diagrama de componentes UML e protótipo chatbots especialistas (Figura 25 e Figura 26) e são apresentadas no capítulo 6 (Desenvolvimento e Apresentação do ITS).

Figura 26 - Protótipo Chatbots especialistas para cada Passo do PBL



Fonte: elaborado pelo autor

### 5.5.1 Métodos de Interações entre Sistemas e Estudantes

Existem distintos métodos de interações: (1) entre sistemas; (2) entre estudantes e protótipo. A interação entre sistemas consiste em integrar o ITS, plataforma interativa e o AVA para formar o protótipo (PBL-Tutor). De modo técnico, a interação ocorre a partir do resultado da programação das API's<sup>39</sup> de integrações de sistemas. De modo educacional, os sistemas integrados compartilham informações dos estudantes.

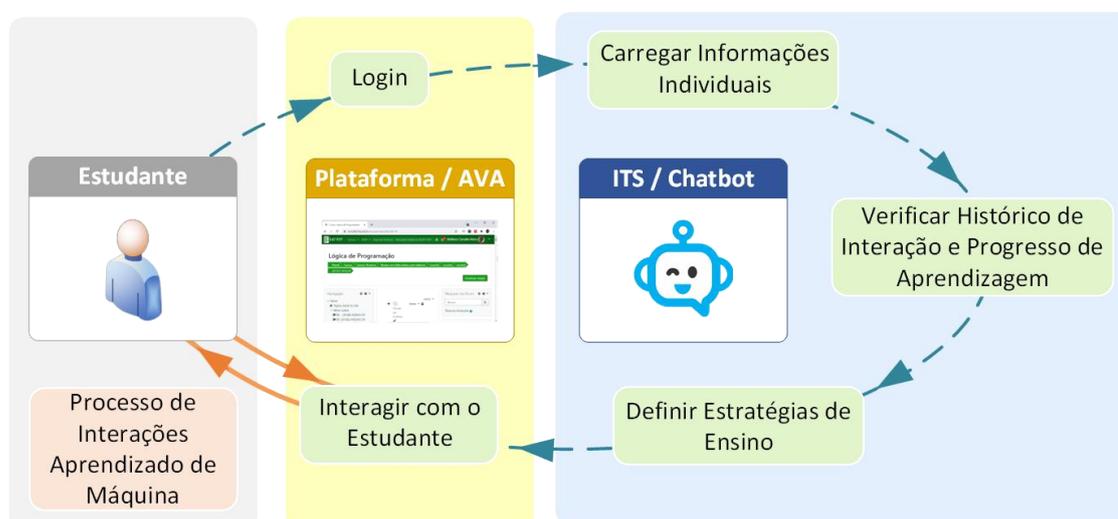
O método de interação entre sistemas usa as potencialidades dos dados e informações presentes na plataforma/AVA. A interação provê informações individuais de cada estudante que se conecta à plataforma, como a identificação. Essas informações são usadas para criar

<sup>39</sup> API (*Application Programming Interface*) conjuntos de comandos ou bibliotecas (que incluem as funções, protocolos e objetos) programados para desenvolver as interfaces ou gerar interações externas ao sistema.

bases individuais para cada estudante. Essas bases representam os históricos, o desempenho, ou permitem compreender as necessidades de aprendizagens individuais.

As interações entre os estudantes e o protótipo estabelecem as situações para apoiar o projeto e o ensino da disciplina. Essas interações usam as estratégias pedagógicas e o conhecimento especialista no desenvolvimento dos diálogos (com NLP), para compreender as demandas. Por meio das interações, o sistema especialista desenvolve as estratégias para personalização do ensino. Os resultados das análises das interações são utilizados para admitir um ambiente dinâmico no apoio ao desenvolvimento do projeto.

Figura 27 – Métodos de interações entre estudante, AVA e ITS



Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 27 apresenta o método de interação no instante em que o estudante efetua *login* no sistema. Antes de iniciar os diálogos, há um ciclo de interação entre o estudante e a plataforma interativa/AVA (*login*) e, na sequência, com o Sistema de Tutoria Inteligente. No ITS, a interação passa por cada um dos componentes da arquitetura para: (1) carregar as informações individuais dos estudantes; (2) verificar as informações de interação em relação aos objetivos de aprendizagem e percursos pedagógicos (no componente do estudante); (3) definir os conhecimentos pedagógicos e as estratégias do componente tutorial; (4) definir o domínio, com a base de conhecimento especialista necessário para orientar o projeto e o ensino da disciplina. Posteriormente, o ITS devolve a interação à plataforma/AVA (em um caminho inverso) por meio do componente de interface do estudante e inicia os diálogos.

Estabelecidos os diálogos, o protótipo passa a processar as informações das interações para identificação de demandas. Esse método corresponde ao processo de interações com aprendizado de máquina. O processo relaciona-se com a capacidade de reconhecer padrões e desenvolver associações entre os dados para gerar respostas aos estudantes. Essa tecnologia de IA possibilita que o sistema aprenda a partir dos dados das interações. O sistema poderá identificar, por exemplo, os tipos de dúvidas mais frequentes: O que é um projeto? Como criar um projeto? O que são condicionais? Etc.

O método de interação se apresenta ao estudante de modo transparente (em *Back End*, roda por trás da aplicação, em nível de programação). A complexidade do método é abstraída pelo sistema e o estudante tem a visão do *design* de conteúdo do projeto na plataforma, por meio da interface apresentação com o assistente inteligente, descritas nas próximas subseções.

### **5.5.2 Case para o *Design* de Conteúdo do Projeto**

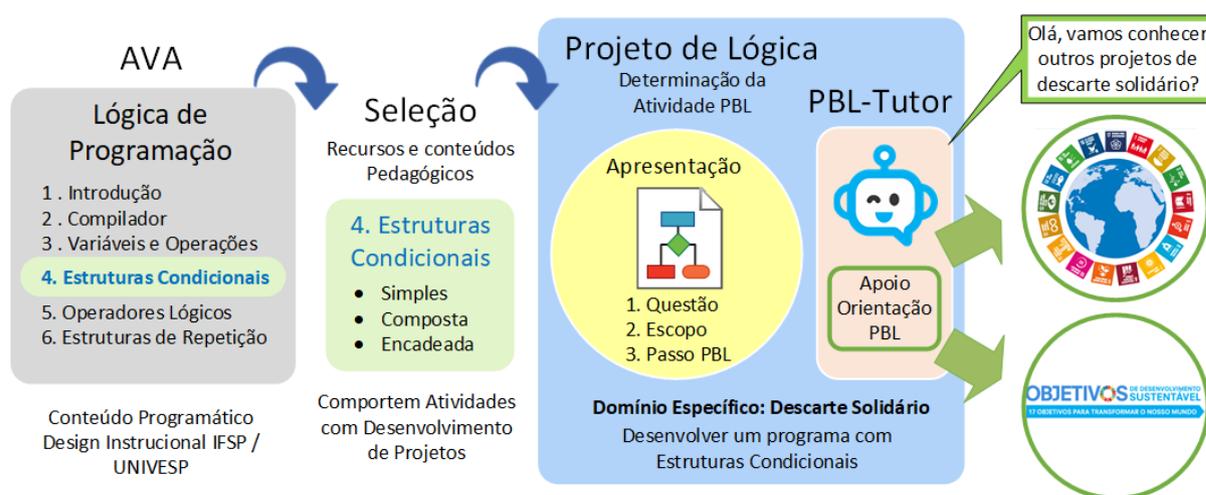
O *design* instrucional utiliza como base os modelos do IFSP e UNIVESP, tendo em vista os perfis dos alunos e respeitando as diretrizes e modelos pedagógicos para criar as experiências interativas com o ITS. O *design* foi levantado *in loco* nos cursos dos AVA's das instituições. Além do *design*, existe a apresentação de um case projeto PBL específico aos objetivos educacionais do conteúdo da disciplina de lógica de programação.

Um case específico foi usado para representar um projeto PBL em um modelo de sala de aula virtual da disciplina. O case é um projeto significativo intrínseco ao método. Apresentou-se um desafio para ancorar o projeto e definir a motriz. O objetivo do projeto, no presente trabalho, relaciona-se às competências técnicas do domínio de lógica de programação.

A Figura 28 apresenta as possibilidades do *design* de conteúdo e case no AVA. A partir da estrutura, previamente estabelecida pelas instituições, houve a seleção dos recursos e conteúdos pedagógicos que comportassem os projetos com PBL. Observam-se (Figura 28) as “Estruturas Condicionais” como conceitos do plano de ensino da disciplina de lógica de programação (Anexos I e II). As “Condicionais” são fundamentais na computação, bases para compreensão da lógica e compreendem conceitos suportados para se trabalhar em projetos.

Ao associar o projeto PBL com os conceitos da disciplina, o seguinte case foi elaborado: “Projeto de Desenvolvimento de Aplicativo para o Descarte Solidário<sup>40</sup>”. A questão motriz ou orientadora estabelece: “Como podemos desenvolver um APP de Descarte Solidário que utilize as Estruturas Condicionais de Lógica de Programação?”. Está explícito, no desafio e na motriz, o uso da lógica de programação nos conceitos das “Estruturas Condicionais”. As “Condicionais” selecionadas para criar o projeto foram: simples, compostas e encadeadas.

Figura 28 - Design de conteúdo e seleção de recursos pedagógicos



Fonte: elaborado pelo autor

O descarte solidário deve ser efetuado por meio de perguntas lógicas que identifiquem um objeto de descarte pelo tipo. O tipo compreende um objeto que pode ter alguma utilidade a uma pessoa ou comunidade, ou mesmo identificar aquele que representa um descarte específico, como o lixo eletrônico. Essa sugestão de projeto de lógica de programação atende aos requisitos dispostos no PBL, no sentido de ser significativo, comportar uma questão orientadora com escopo, prazo etc. Pode-se aplicar ao *design* de conteúdo proposto na Figura 28.

A questão motriz admite um problema real ou simulado, contudo significativo e tipicamente encontrado na computação. A questão proposta comporta várias respostas

<sup>40</sup> O desenvolvimento do projeto significativo para plataforma foi inspirado com base no desafio da criação do aplicativo “APP Descarte Solidário” apresentado na disciplina de “Pensamento Computacional” na UNIVESP. A base permite o desenvolvimento de assuntos presentes nos planos de ensino de “Lógica de Programação” (IFSP) e “Programação de Computadores” (UNIVESP), destacando tópicos como as “Estruturas Condicionais”.

igualmente válidas. O projeto suporta vários caminhos, porém, ao final, os estudantes deverão apresentar como resultado a resolução de um problema em específico.

Na apresentação, torna-se importante instigar os estudantes sobre a relevância do projeto. Para apoiar a apresentação, os métodos de interação apresentados na subseção anterior podem ser associados. Essa associação pode apresentar informações dinâmicas como: exibir as iniciativas existentes com descarte solidário (Figura 28).

As estratégias para exibir o projeto trabalham a diversificação e distintas experiências de apresentação e organização do conteúdo. Elas clarificam o objetivo ao estudante e favorecem a identificação das possibilidades em relação ao percurso do projeto, bem como os processos envolvidos em cada etapa do desenvolvimento. Na plataforma, o projeto será apresentado textualmente, visualmente e por meio do ITS, PBL-Tutor. Para essa questão, será utilizado um modelo de referência de interface de apresentação.

### **5.5.3 Modelo de Referência de Interface de Apresentação**

A interface da plataforma representa o meio de diálogo entre o estudante e o sistema. O planejamento do modelo de interface deve ser constantemente discutido e aperfeiçoado. Esse plano deve atender objetivos para promover melhores mediações e interações reativas com a plataforma (PEREIRA et al., 2007). “A idealização, o desenvolvimento ou a customização de um AVA e sua interface deve seguir aspectos pedagógicos, funcionais, ergonômicos e estéticos” (PEREIRA et al., 2007, p. 18).

O material de referência da interface de apresentação de conteúdo da disciplina derivou dos documentos orientadores do *design* instrucional das plataformas do IFSP e UNIVESP. A Figura 29 exibe os principais profissionais responsáveis na elaboração do AVA.

Teoricamente, pode-se dizer que o *designer* gráfico, orientado pedagogicamente pelo *designer* instrucional e tecnologicamente pelos programadores, desenvolve a interface do ambiente; o *designer* instrucional responsabiliza-se pela coerência pedagógica e os programadores viabilizam tecnologicamente o sistema (PEREIRA et al., 2007, p. 18).

Figura 29 - Principais profissionais responsáveis pela elaboração de um AVA



Fonte: Pereira, Schmitt e Dias (2007)

O aprimoramento da comunicação visual e textual relacionados à interface devem ser planejados no ponto de vista da usabilidade, navegabilidade e adaptabilidade (PEREIRA et al., 2007). Na disciplina de lógica de programação, o modelo referência de interface visual e textual foi empregado no AVA, para melhor apresentar as situações das atividades com o projeto.

A diversificação da apresentação do projeto ocorreu a partir de duas vertentes. A primeira consiste no visual e textual. No visual, mapas mentais<sup>41</sup> foram criados para ancorar o projeto e etapas PBL. Os mapas seguem a mesma programação da IA dos assistentes. Esse aspecto mantém um fio condutor de similaridade entre os caminhos pedagógicos da representação visual do mapa e o contexto estrutural de atuação dos assistentes. No textual, foi exibida a mesma ancoragem, com breves introduções para compreensão de cada etapa do PBL. O trabalho dispensa textos longos ou muito detalhados para concentrar-se em questões-chave, que proporcionem gatilhos para discussões<sup>42</sup> em torno do método PBL.

A segunda vertente da interface de apresentação de conteúdo usa as habilidades e estratégias conversacionais dos assistentes inteligentes. Os assistentes, também, ancoram o projeto com objetivo de estabelecer dinâmicas para analisar e compreender as demandas dos estudantes. No presente trabalho, os assistentes inteligentes compreendem a diversificação para o modelo de interface de apresentação. A Figura 30 exhibe o primeiro esboço de modelo de apresentação. Posteriormente, esse esboço evoluiu para uma plataforma interativa integrada ao PBL-Tutor e AVA, apresentada no Capítulo 6 (Desenvolvimento e Apresentação do ITS).

Portanto, o modelo de referência de interface de apresentação de conteúdo está integrado ao ambiente do ITS interativo e AVA. Além de usar os processos inteligentes da base de

<sup>41</sup> Os mapas mentais são utilizados em “diversos propósitos, como os educacionais, para: gerenciar projetos; desenvolver ideias criativas; ensino; revisões de conteúdos, leituras, anotações, etc” (BUZAN, 2009, p. 11).

<sup>42</sup> Discussões com o professor, tutor ou em grupos de estudantes poderão ser realizadas por meio das ferramentas dispostas no AVA: como criação de grupos de discussões ou mensagens trocadas diretamente com professores no AVA. Como função, o PBL-Tutor orienta o processo para fomento de discussões na questão orientadora.

conhecimento especialista do ITS, tem condições de sugerir a utilização de ferramentas integradas ao AVA como: criar grupos de discussões *online* ou sugerir materiais da disciplina.

Figura 30 - Modelo de referência de apresentação de conteúdo AVA e ITS



Fonte: elaborado pelo autor

#### 5.5.4 Tecnologias para Desenvolver o Sistema de Tutoria Inteligente

As tecnologias para desenvolver o ITS interativo, criar a inteligência dos chatbots e integrar ao AVA foram divididas nas seguintes etapas:

1. Desenvolver a plataforma interativa: Moodle, Wordpress, Wpbot, HTML, CSS, JavaScript, PHP, MySQL; integração da API Google Dialogflow CX.
2. Desenvolver a arquitetura do ITS: arquiteturas clássicas ITS, atualização da arquitetura clássica em UML, Typology e metodologia do PBL.

3. Desenvolver o PBL-Tutor (protótipo ITS e assistentes inteligentes): PBL; plataforma inteligente do Google Cloud Dialogflow Customer Experience (CX); JavaScript; HTML; recursos de intenções e entidades do chatbot; sistemas especialistas; aprendizado de máquina; processamento de linguagem natural; mapas mentais para representar a inteligência dos chatbots; para ambientação e capacitação da IA e assistentes inteligentes, Dialogflow Essentials (ES) e a plataforma do IBM Watson.
4. Desenvolver a inteligência dos chatbots: PBL; lógica de programação; plataforma inteligente do Google Cloud Dialogflow Customer Experience (CX).
5. Outras tecnologias utilizadas no projeto: Microsoft Project, planejamento e organização do projeto; Microsoft Visio, desenvolvimento dos diagramas; Corel Draw e Adobe Illustrator, desenvolvimento e tratamento das imagens.

## 5.6 Pesquisa dos Recursos dos Sistemas de Tutoria Inteligentes

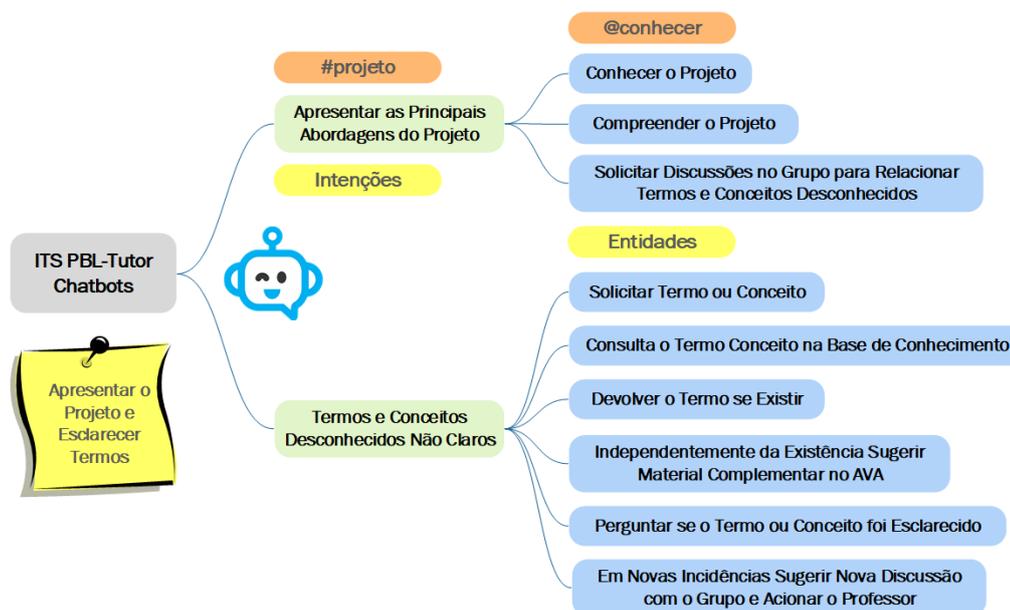
A pesquisa dos recursos dos ITS's foi desenvolvida: no estudo exploratório (referencial teórico dos ITS's) e no levantamento de tendências de IA na Educação. O resultado permitiu selecionar os recursos para criar o protótipo. A Tabela 12 apresenta os recursos selecionados. A Figura 31 exibe em detalhes um dos recursos selecionados para o ITS, o mapeamento das intenções e entidades em um chatbot designado para apresentar o projeto.

Tabela 12 - Recursos do Sistema de Tutoria Inteligente

Recurso	Descrição de Implementação
Processamento de Linguagem Natural	Na interface do estudante com a função de criar as interações a partir dos diálogos conversacionais em linguagem natural.
Aprendizado de Máquina	Objetivo de aproveitar as experiências, ao longo dos diálogos conversacionais para adaptar o sistema às mudanças e condições de interações.
Sistemas Especialistas	Naturalmente selecionado, ITS faz parte dos Sistemas Especialistas (ES). O ES modela a experiência humana no domínio específico, na disciplina e na orientação do projeto, com base na metodologia do PBL.
Mapeamento das Intenções e Entidades (Figura 31)	Para compreender as demandas de projetos e da disciplina com as interações. As intenções sintetizam o pensamento ou o seu propósito. Exemplo: “Como criar projeto?” ou “Quais são os passos de projeto?” remete a intenção “#projeto”. As entidades extraem as expressões que mapeiam os contextos dialogados. Exemplo: “Conhecer o Projeto”, extração da entidade: @conhecer. A Figura 31 exibe o mapa mental com as intenções e entidades esperadas no protótipo ITS.

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 31 - Mapeamento das intenções e entidades do Chatbot



Fonte: elaborado pelo autor

## 5.7 Modelagem do ITS Interativo Integrado ao AVA

Após a avaliação sistemática dos aspectos metodológicos de arquitetura e concepção do sistema, considerou-se criar uma plataforma interativa integrado ao ITS. A plataforma foi criada para atender aspectos não contemplados pelo AVA (descritos no capítulo 6). O resultado expandiu a visão do PBL-Tutor para um ITS Interativo fundamentado na metodologia do PBL. Portanto, o capítulo 6 (Desenvolvimento e Apresentação do ITS) considera o desenvolvimento do ITS e plataforma interativa, mantendo a característica de integração aos AVA's.

A modelagem do ITS interativo, integrado ao AVA, visa a substanciar o objetivo para apoiar as perspectivas de orientações de projetos como prova de conceitos para as proposições. A prova de conceito se estabelece no desenvolvimento do protótipo ITS de domínio específico com interações em modelos de plataformas de AVA, para demonstrar, com maior clareza, as possibilidades de implementação e diversificação do ensino.

A prova de conceito (POC - *Proof of Concept*) consiste em “uma técnica que permite demonstrar que uma determinada ideia é tecnicamente possível, ou seja, pode auxiliar a verificar se uma determinada arquitetura é ‘construível’” (GUIMARÃES, 2008, p. 30). A POC

viabiliza a demonstração da metodologia, bem como os conceitos envolvidos e as arquiteturas compreendidas na implementação de um determinado projeto (MJ; UNB, 2015). Normalmente, consiste em uma “atividade que deve ser trabalhada de forma colaborativa com envolvimento de projetistas de arquitetura e infraestrutura, desenvolvedores de sistemas, podendo haver, até mesmo, a participação dos utilizadores finais do sistema” (MJ; UNB, 2015, p. 9).

## 5.8 Síntese do Percorso Metodológico

A plataforma admite o projeto significativo “Desenvolvimento de Aplicativo para o Descarte Solidário”, para elucidar o projeto PBL e os conceitos pedagógicos da lógica de programação. Na disciplina, foi selecionada a atividade do projeto fundamentado nas “Estruturas Condicionais”, dispostas nos *designs* instrucionais institucionais do IFSP e UNIVESP. Em contexto, foram selecionados ementa, objetivos e conteúdo programático dos planos de ensino do curso técnico em informática do IFSP (Anexo I) e do curso superior de engenharia de computação da UNIVESP (Anexo II). O cenário forma o case ou escopo de aplicação do PBL-Tutor.

O levantamento da IA na Educação justificou a seleção do ITS e seu estudo exploratório propiciou o arcabouço para desenvolver o sistema, constituído, principalmente, no desenvolvimento da programação da inteligência do ITS e conjuntos de chatbots para permitir a orientação em cada um dos passos do PBL. Para assistência aos recursos do sistema, foi desenvolvida uma plataforma interativa. Na modelagem do ambiente, houve a apresentação do projeto significativo para a disciplina, inspirado no *design* de conteúdo da plataforma AVA. O modelo de interface foi constituído para privilegiar a usabilidade do ITS e a apresentação do projeto PBL. Na execução do projeto existe a atuação do ITS, conjunto de chatbots e plataforma interativa (PBL-Tutor) para apoiar nas orientações para desenvolvimento do desafio.

A modelagem e a prototipagem do ambiente e plataforma para desenvolver as interações com o ITS e chatbots é utilizada como prova de conceitos sobre a hipótese. O ambiente se apresenta com as inovações das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação, para diversificação de estratégias interativas de apoio ao ensino de lógica de programação, em cursos técnicos e superiores na EAD, na modalidade *online* e com inteligência artificial na educação.

## **6 DESENVOLVIMENTO E APRESENTAÇÃO DO ITS**

O capítulo descreve os processos de desenvolvimento e apresenta o sistema de tutoria inteligente interativo com base na metodologia do PBL. O capítulo organiza-se para exibir as abordagens da arquitetura, desenvolvimento e a apresentação do protótipo do ITS. Na arquitetura, são tratadas inovações como a integração de múltiplos assistentes inteligentes atuando como tutores especialistas. O desenvolvimento mostra os processos de criação do ITS, da IA dos assistentes inteligentes e as integrações entre plataformas. A apresentação exibe a interface do protótipo com o propósito de destacar os recursos e as funções do sistema.

### **6.1 Arquiteturas**

A arquitetura do protótipo tem suas concepções a partir da arquitetura clássica do ITS, com o esboço apresentado por Carbonell (1970) e consolidada por Sleeman e Brown (1982). Traz as características do modelo de Malotky e Martens (MALOTKY; MARTENS, 2019) com atualização da clássica em UML, com componente de direção do processo. A última inspiração para arquitetura foi concebida a partir do aperfeiçoamento do modelo “Typology” (2021), que permite identificar os chatbots com base em propriedades e capacidades técnicas, ou seja, determinar um chatbot adequado para executar um tipo específico de serviço (MAKASI et al., 2021).

#### **6.1.1 Arquitetura do Sistema de Tutoria Inteligente**

Os principais componentes, bem como seu aperfeiçoamento nas tecnologias atuais, foram reutilizados de acordo com o conceito da engenharia orientada ao reúso. “Essa abordagem é baseada na existência de um número significativo de componentes reusáveis. O processo de desenvolvimento do sistema concentra-se na integração desses componentes em um sistema já existente em vez de desenvolver um sistema a partir do zero” (SOMMERVILLE, 2018, p. 20).

“As aplicações corporativas não são programadas do zero; de fato, elas envolvem reuso extensivo de componentes e programas [...]. O reuso de *software* tornou-se a abordagem dominante para a construção de sistemas *web*” (SOMMERVILLE, 2018, p. 9). Existem possibilidades de desenvolvimento a partir de componentes e sistemas de *software* previamente existentes (PRESSMAN, 2011; SOMMERVILLE, 2018). “Os componentes reutilizáveis foram criados para que o engenheiro possa se concentrar nos elementos realmente inovadores de um projeto, isto é, nas partes do projeto que representam algo novo” (PRESSMAN, 2011, p. 34).

A fundamentação teórica dos ITS's traz os sinônimos “modelo”, “componente” e “módulo” para se referir aos elementos da arquitetura. Na fundamentação, foi mantida a nomenclatura original das referências para não haver a descaracterização do texto original. Contudo, no presente capítulo de desenvolvimento, com o objetivo de privilegiar a leitura, será adotado o termo “módulo” para se referir aos elementos que compõem a arquitetura.

Foi desenvolvida uma interface de interação com o estudante (representando o módulo de interface). As informações das interações com os estudantes são armazenadas e processadas (representando o módulo do estudante). As determinações das estratégias de tutoria, com o uso da “base de conhecimento pedagógico”, foram fundamentadas no PBL (representando o módulo tutorial) com apoio do “Sistema Especialista” que ensina nas abordagens dos projetos (representado o módulo de domínio). De acordo com a fundamentação teórica dos ITS's, observa-se a aplicabilidade de todos os módulos de sua concepção (domínio, estudante, tutorial e interface).

Com fins didáticos e de organização do trabalho, o protótipo PBL-Tutor se refere ao conjunto de módulos em associação ao cenário de implementação e às suas propriedades singulares como: (1) ambiente propício para implementação do sistema inteligente, considerando aspectos tratados ao longo do trabalho, que vão desde participação efetiva dos professores ou tutores no processo de padronização do sistema até a intersecção para exploração dos recursos do AVA; (2) arquitetura e protótipo do ITS; (3) arquitetura dos módulos dos sistemas de chatbots inteligentes, em contexto pedagógico especializado e desenvolvido a partir das abordagens das etapas do PBL; (4) interface com estudante, mais uma vez compartilhando recursos entre o ITS, a plataforma interativa e o AVA.

As inovações, Figura 32, incluem uma arquitetura específica, também, para os assistentes inteligentes. A arquitetura do ITS contém as especialidades para oferecer tutoria com a abordagem do PBL. Outra inovação foi criação de uma topologia distinta para desenvolver múltiplos chatbots especialistas, cada um qualificado a um passo singular do PBL, de acordo com gerenciamento e análise das interações do sistema inteligente. Os próximos parágrafos, até o final da subseção, estão relacionados à Figura 32.

A inclusão de novos módulos segue as linhas gerais dos estudos de Bolzan e Giraffa (2002), destacando-se que não existem limites para decomposição de módulos que podem participar do processo de ensino e aprendizagem. Portanto, a arquitetura forma um conjunto de sistemas inteligentes de tutoria para o PBL, associados aos recursos de um Ambiente Virtual de Aprendizagem, permitindo interações com assistente virtual inteligente (chatbot).

A Figura 32 detalha a arquitetura com as funções para cada um dos módulos. A interação se inicia no topo arquitetura, com o *login*<sup>43</sup>. O sistema identifica o histórico de interações com o estudante, se disponível. No primeiro acesso, é criada uma base de conhecimento do estudante para processar as informações das interações. Esse processamento, permite ao sistema melhores compreensões sobre as necessidades de aprendizagens. No processo, as compreensões propiciam ao sistema desenvolver as estratégias adaptativas e personalizadas.

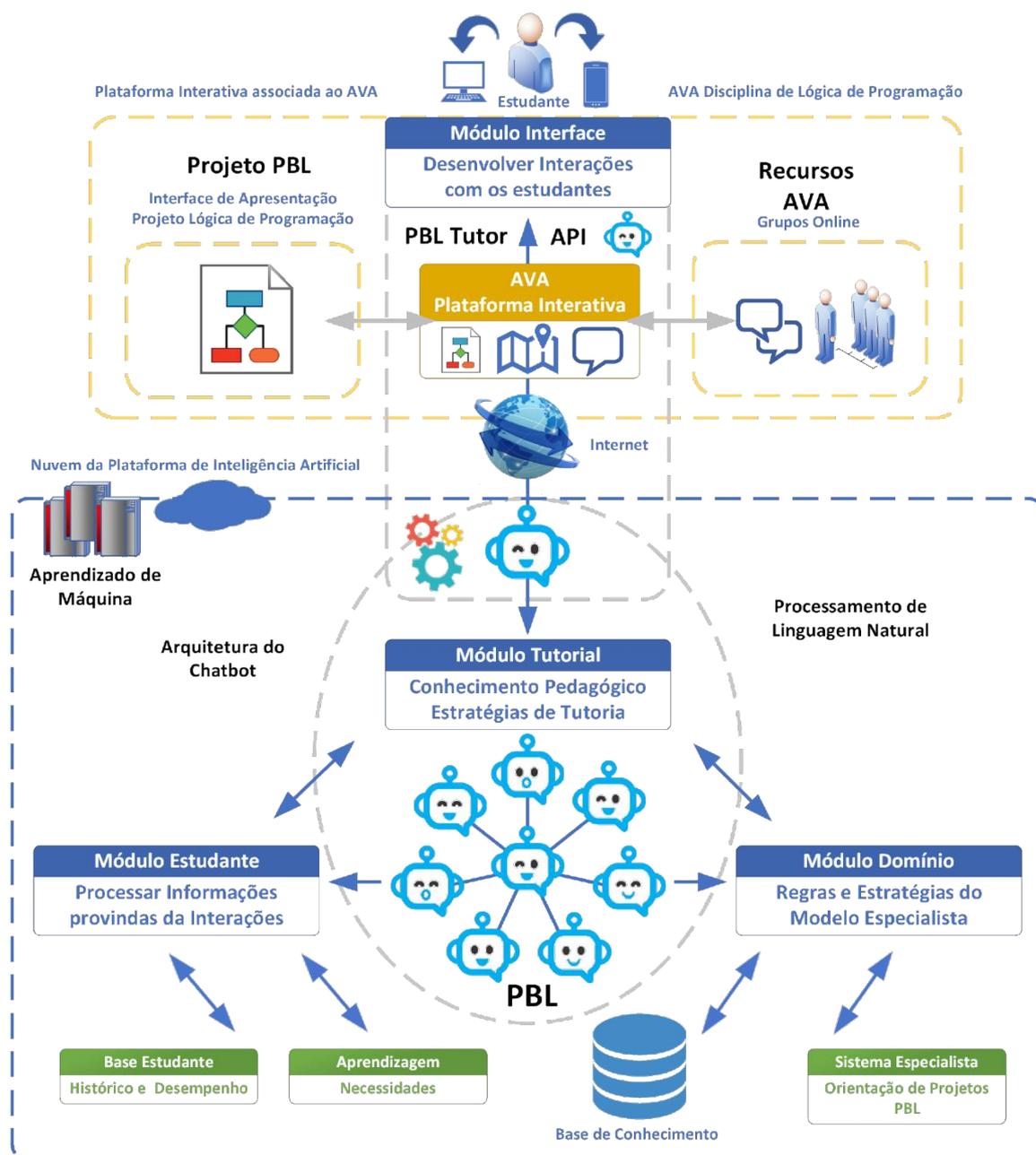
Com o *login* (ou sem<sup>44</sup>), o estudante visualiza sua plataforma interativa com a apresentação do projeto orientado por um assistente inteligente. O projeto apresenta-se em 4 vertentes: (1) visual, com infográfico de *roadmap* de projeto (mais detalhes na 6.3 Apresentação); (2) visual, mapa mental de projeto (nos mesmos modelos mentais utilizados para programar os chatbots); (3) textos declarativos com as boas práticas pedagógicas previstas na conjuntura do PBL; (4) chatbot, principalmente a atuação do assistente inteligente nas interações.

---

<sup>43</sup> O sistema permite o acesso sem *login*, mantém as orientações com exceção da recuperação da “Base do Estudante”, componente integrado ao “Módulo do Estudante”, responsável por informações como histórico de interações. Mesmo sem o *login*, programações do sistema ainda permitem recuperar aspectos do histórico armazenados em *cookies*, no navegador *web* de um computador em específico.

<sup>44</sup> O sistema foi desenvolvido para trabalhar de modo similar com estudantes autenticados ou não, sempre abrindo uma nova sessão.

Figura 32 - Arquitetura do PBL-Tutor



Fonte: elaborado pelo autor

O módulo de interface interage com o estudante. Na arquitetura, parte da tecnologia (API<sup>45</sup>) da interface de interação do assistente é executada no servidor definido na Instituição de Ensino, geralmente, o mesmo dos serviços do AVA. A outra parte do sistema é executada

<sup>45</sup> Salienta a API (*Application Programming Interface*) como conjunto de comandos ou bibliotecas programados para gerar as interações internas e externas ao sistema. No PBL-Tutor, a API gera as interações com a nuvem do Google, local da plataforma Dialogflow, usada para construir as interfaces de IA conversacionais.

na nuvem da plataforma de inteligência artificial do Google Cloud Platform (Dialogflow). A plataforma da nuvem detém a atribuição de execução das vertentes da IA de Processamento de Linguagem Natural (NLP), Aprendizado de Máquina (ML) e Sistemas Especialistas (ES).

Ao centro da arquitetura, encontra-se o chatbot gerente de fluxo de processos com atribuição de gestão das interações. O gerente tem duas funções principais: (1) conectar o módulo de interface aos demais módulos (tutorial, estudante e domínio); (2) conectar o chatbot de interação (de interface) aos múltiplos chatbots especialistas no PBL. Inovador e destaque na arquitetura, o gerente trabalha como elo de gestão entre os módulos e a metodologia do PBL. Detalhes da arquitetura dos múltiplos assistentes inteligentes são apresentados na sequência.

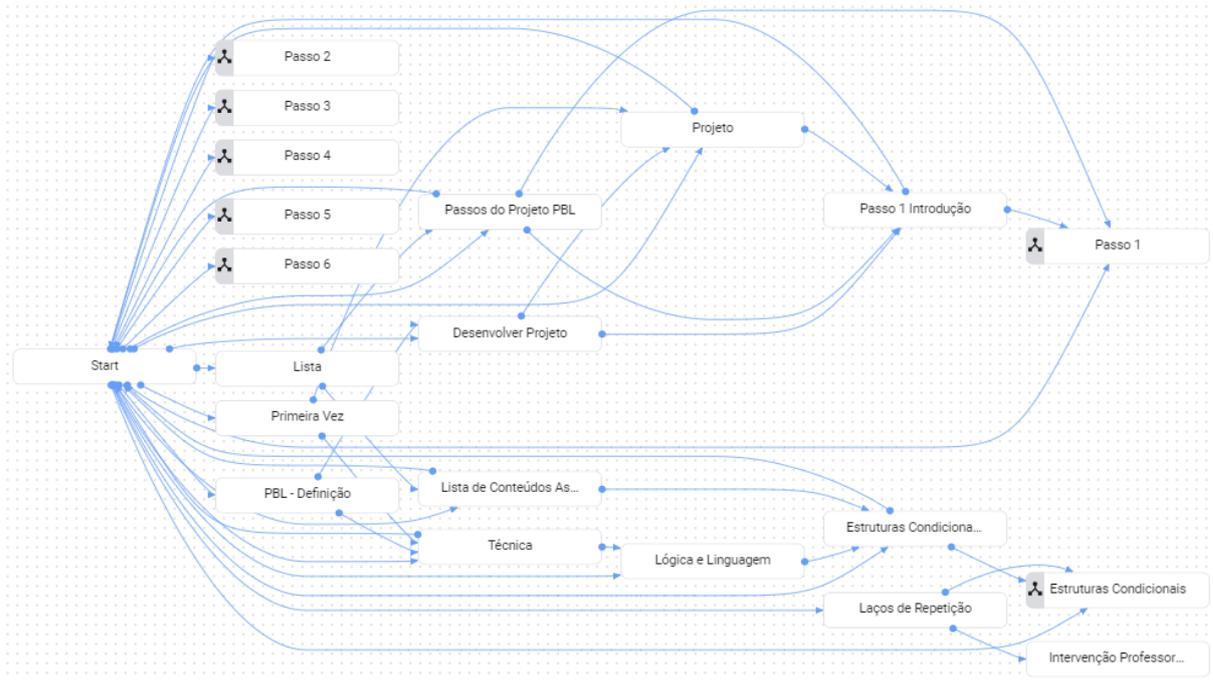
### **6.1.2 Arquitetura dos Assistentes Inteligentes (Chatbots)**

Desde o desenvolvimento dos primeiros protótipos, apresentados na metodologia (Seção 5.4), a proposta visa desenvolver uma estrutura formada por um conjunto integrado de assistentes inteligentes especializados para apoiar cada um dos passos da metodologia do PBL.

A estrutura do protótipo, apresentada na subseção anterior (Figura 32), exibe uma arquitetura composta por um conjunto de 8 (oito) chatbots inteligentes especialistas: um para orientar cada passo singular do PBL; um especialista na disciplina de lógica de programação; mais um oitavo chatbot gerente. Este último, com a designação de gerente do fluxo de processos, analisa as interações com o estudante e encaminha ao chatbot especialista adequado.

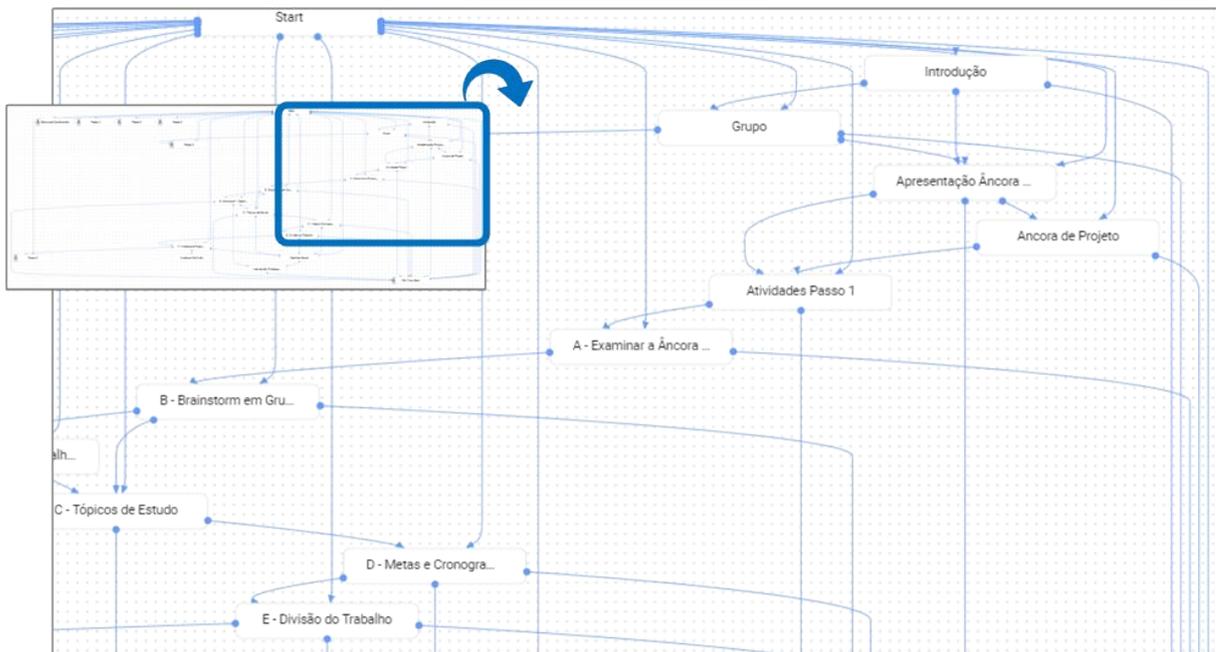
A Figura 33 exibe a arquitetura sintetizada do chatbot gerente. Os retângulos simples representam as “páginas” de assuntos que podem ser exploradas. Os retângulos com marcações (diagrama) representam os “fluxos” conhecidos. Os “fluxos” representam os múltiplos chatbots especialistas para cada passo do PBL e disciplina. Os chatbots especialistas estão dispostos: (1) Passo 1, introdução e planejamento; (2) Passo 2, coleta de informações; (3) Passo 3, criação e desenvolvimento; (4) Passo 4, segunda fase de pesquisa; (5) Passo 5, desenvolvimento da apresentação; (6) Passo 6, publicação dos produtos; (7) Estruturas Condicionais, especialista em Lógica de Programação. O sistema foi designado com as bases do PBL e, por meio da decomposição, criou-se a arquitetura do chatbot para atender as demandas da abordagem.

Figura 33 - Arquitetura Chatbot gerente de processos



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 34 - Arquitetura Chatbot especialista Passo 1



Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 34 exibe parte da arquitetura de um chatbot especialista no “Passo 1, Introdução e Planejamento”. Diferente do gerente, ainda que exerça funções de direcionamento

de fluxos em menor escala, o chatbot do passo 1 é caracterizado por ser um especialista PBL nos conceitos e atividades relacionados à primeira etapa do projeto. Existe uma arquitetura de chatbot, assim como no Passo 1, para cada especialidade das demais etapas do PBL (do passo 2 ao 6) e, também, uma arquitetura para o chatbot especialista em lógica de programação.

Importante destacar que a implementação da arquitetura tecnológica, representada pelo *Back End* (roda por “trás” da aplicação, programação, mapeamento e codificação de regras do sistema), composta por múltiplos chatbots será transparente à interface *Front End* (interface visual da aplicação, com as interações e experiências do estudante). Ou seja, na perspectiva do estudante, terá a impressão de que sua interação ocorre com apenas 1 (um) assistente inteligente.

O chatbot gerente possui, também, a função de constante análise para verificar o instante em que o estudante atendeu às premissas declaradas a cada etapa e encaminhá-lo à seguinte. Outras atribuições do chatbot gerente consistem em: (1) comunicação com o módulo do estudante, para alimentar e analisar sua base - histórico, desempenho e necessidades - para identificar as estratégias para interações adaptativas e personalizadas; (2) detectar o momento em que as informações conversacionais forem insuficientes para prosseguir no processo, com a possibilidade de gerar orientações para uma revisão parcial ou completa da presente etapa ou mesmo (3) compreender que os estudantes podem estar sujeitos a cometer erros ou equívocos e que precisam ser corrigidos como parte fundamental no processo de ensino e aprendizagem; (4) certificar a fluência do processo ao longo dos passos do PBL. O estudante pode acessar as etapas desejadas, contudo o gerente deverá garantir fluidez do percurso; (5) julgar momentos em que o estudante necessite ser encaminhado ao professor ou tutor; (6) o sistema poderá reavaliar o estudante, podendo recomendar um retorno às etapas anteriores e declarar mais um novo conjunto de orientações para apoiar o processo de resolução do desafio.

São consideradas funções do conjunto de chatbots: (1) comunicação com o módulo do estudante, para processar as informações das interações e criar uma base com histórico, desempenho e necessidades do estudante; (2) aprender a partir de uma base específica de conhecimento, relacionadas a cada passo do PBL; (3) mais uma vez, relacionar as questões que estão previstas na possibilidade de erros. O sistema inteligente deve estar preparado para responder e aprender a cada nova entrada que possa significar um erro ou equívoco; (4) possuir estratégias de tutoria que permitam gerar dúvidas pedagógicas, para analisar critérios em

relação a manter o estudante na presente etapa do processo ou reencaminhar ao assistente gerente para suportar novas reavaliações de condução do processo; (5) identificar o momento em que o estudante concluiu o que se esperava da presente etapa e encaminhar à próxima fase do processo; (6) julgar momentos em que os questionamentos dos estudantes não estão presentes nas bases de conhecimento, limitando a orientação do assistente especialista. Para estas situações, sugerir a busca de orientações com professor ou tutor a distância; (7) o assistente inteligente do Passo 6, que corresponde à última etapa do PBL (Publicação do Projeto), tem a função de compreender o momento em que as variáveis que compõem o atendimento às atividades previstas no projeto foram atendidas e informar ao estudante seu êxito no processo.

## 6.2 Desenvolvimento

O sistema foi idealizado a partir da triangulação das pesquisas entre as abordagens Aprendizagem Baseada em Projetos, o estudo exploratório dos Sistemas de Tutoria Inteligentes e as vertentes aderentes da Inteligência Artificial na Educação. Os conceitos da metodologia do PBL foram utilizados para mapear os caminhos e os fluxos dos processos no sistema. O estudo exploratório dos ITS constituíram o arcabouço para a definição da arquitetura e componentes necessários para a construção do sistema. As vertentes aderentes foram integradas aos componentes do ITS para desenvolver a Inteligência Artificial do sistema. Essa conjuntura fomentou um ambiente propício para o desenvolvimento do sistema PBL-Tutor.

Parte significativa do PBL-Tutor foi desenvolvida com a programação da IA dos ITS's. A concepção utilizou a base teórica e metodológica amplamente exploradas no levantamento dos ITS's e métodos de desenvolvimento. Uma parte menos expressiva foi desenvolvida com base na programação de regras e lógicas computacionais. Nesse contexto, o sistema se enquadra como ITS híbrido com maior parte desenvolvida em IA e menor parte com regras e lógicas.

O desenvolvimento com base em IA está representado nos conceitos: (1) Processamento de Linguagem Natural; (2) *Fuzzy Matching*; (3) Aprendizagem de Máquina; (4) Sistemas Especialistas. O desenvolvimento com base em lógica envolveu regras específicas atribuídas a um breve conjunto no módulo de domínio, com os conceitos e estratégias do projeto PBL e princípios da disciplina. Contextualizado a concepção do sistema e o tipo de programação

híbrida assentada com base na IA e em regras lógicas, o próximo passo consiste na apresentação da plataforma de desenvolvimento dos assistentes inteligentes.

### 6.2.1 Plataforma de Desenvolvimento

Atualmente a computação na nuvem provê a disponibilidade de distintos recursos computacionais. Dentre esses recursos, encontram-se os sistemas para projetar interfaces conversacionais inteligentes. Os projetos dessas interfaces envolvem diversos recursos, dentre eles: vertentes de IA; intenções e entidades; gestão de diálogos; console de desenvolvimento; projetos com agentes. Nuvens computacionais como Google<sup>®</sup>, Amazon<sup>®</sup> ou IBM<sup>®</sup> apresentam plataformas para desenvolver sistemas conversacionais com inteligência artificial.

Na mesma nuvem podem existir distintas plataformas para projetar assistentes conversacionais inteligentes, como no Google. O Google disponibiliza duas plataformas: (1) Dialogflow Essentials (ES) e (2) Dialogflow Customer Experience (CX). Apesar da similaridade nas nomenclaturas, suas funções e recursos podem apresentar características bastante distintas, principalmente, a partir da complexidade da modelagem do sistema. A Tabela 13 apresenta algumas características distintas dentre os principais recursos das plataformas Dialogflow (ES e CX) da Google.

Tabela 13 - Principais recursos Dialogflow (ES e CX)

Recursos	Dialogflow Essentials (ES)	Customer Experience (CX)
Intenções	Difíceis de Reutilizar ou Não Reutilizáveis.	Reutilizáveis.
Gerenciamento do Diálogo	Contexto para o Fluxo. Gestão linear que simula caminhos não lineares a partir de intenções e contextos.	Gerenciadores de estado para controlar os caminhos. Gerenciamento de estados de uma sessão. Coleta de informações por sessão.
Console UX ( <i>User Experience</i> )	Baseado em texto.	Editor visual, gráficos visuais mostrando o caminho conversacional e configurações textuais.
Agente / Projeto	Permite 1 (um) agente por projeto. Até agosto de 2022, existia a função Mega Agentes para criação de Subagentes.	Permitem 100 (cem) agentes por projeto.
Elementos do Agente	Estrutura de Intenções.	Estrutura de Fluxo.

Fonte: Dialogflow (2022)

O Dialogflow Essentials (ES) apresenta um modelo de agente padrão, apropriado para desenvolvimento de assistentes pequenos e médios com características simples para moderadamente complexos. O Dialogflow Customer Experience (CX) apresenta um modelo de agente avançado, destinado para criar projetos com assistentes inteligentes grandes ou muito complexos (DIALOGFLOW, 2022).

O presente trabalho selecionou a plataforma inteligente do Google Cloud Dialogflow Customer Experience (CX), principalmente pela complexidade exigida para projetar uma estrutura para comportar o PBL. O conceito de reutilização de intenções e o gerenciamento de diálogos foram determinantes para seleção do Dialogflow Customer Experience (CX).

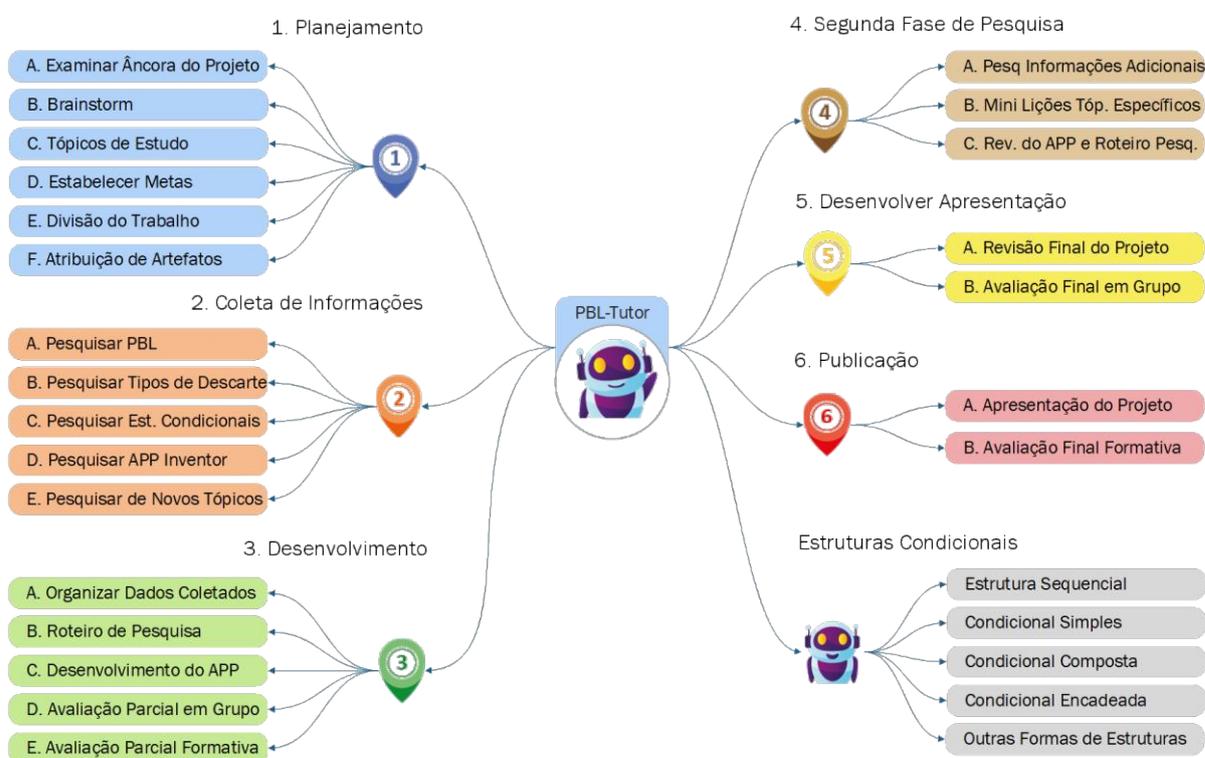
O Dialogflow CX detém as funções de Processamento de Linguagem Natural (NPL) e Aprendizado de Máquina. O NPL, implícito no Dialogflow CX, faz a conversão das informações contidas na base de dados do sistema em uma linguagem legível para os estudantes. Por outro lado, o Aprendizado de Máquina aproveita as experiências, ao longo dos diálogos conversacionais entre estudantes e o sistema, para adaptar o sistema às mudanças e condições de interações. Essas interações podem destacar aspectos como a regularidade nos diálogos, para explorar e otimizar as orientações presentes em sua base de conhecimento. A cada diálogo, o sistema poderá aprender novas formas de exploração dos conceitos e regras presentes em sua base de conhecimento. A partir dessas explorações, o sistema terá a capacidade de aprender reconhecendo novos padrões e desenvolvendo relações entre eles (DIALOGFLOW, 2022; FREEDMAN et al., 1998; IBM, 2021; NKAMBOU; MIZOGUCHI; BOURDEAU, 2010; PALADINES; RAMIREZ, 2020; SLEEMAN; BROWN., 1982; WENGER, 1987; WOOLF, 2009).

### **6.2.2 Desenvolvimento dos Assistentes Inteligentes (Chatbots)**

Um mapa mental foi criado para representar os agentes e suas ramificações nas abordagens do PBL e da lógica de programação. No mapa (Figura 35), consta um aprimoramento da arquitetura estabelecida ao PBL-Tutor. No centro, observa-se o gerente de fluxo de processos conectado aos especialistas em cada uma das etapas do PBL e o especialista

na lógica de programação. Cada um dos especialistas ramifica-se para seus respectivos módulos, que representam as atividades ou conceitos dos PBL ou de lógica de programação.

Figura 35 - Mapa mental dos módulos dos Assistentes Inteligentes



Fonte: elaborado pelo autor

Os assistentes inteligentes foram criados com base na arquitetura do ITS e mapa mental. As primeiras programações dos assistentes foram feitas na *utterance*, ou seja, as ações para *startar* (iniciar os diálogos) com os assistentes. As ações de *utterance* programadas na plataforma do Dialogflow já consideram o uso da IA para compreensão da língua natural e o aprendizado de máquina. O Processamento de Linguagem Natural (NLP - *Natural Language Processing*) e o Aprendizado de Máquina são utilizados para trabalhar com dois dos conceitos fundamentais para desenvolver um agente inteligente, as intenções (#) e as entidades (@).

As intenções (*intent*) representam as mensagens que os estudantes tentam transmitir nos diálogos com assistentes inteligentes. O NLP tem a função de analisar as mensagens e compreendê-las com o objetivo de classificar o seu significado. Neste contexto, o algoritmo de Aprendizagem de Máquina, do Dialogflow, foi treinado para compreender o que o estudante demanda para que o assistente possa dar uma resposta condizente.

As intenções programadas no sistema têm a função de analisar os diálogos de entrada dos estudantes e pesquisar ou aprender ações que os agentes podem realizar. No Dialogflow, as intenções são formadas por frases de treinamento e parâmetros. As frases de treinamento são utilizadas para melhorar a compreensão dos diálogos com os estudantes. No instante em que a entrada do estudante condizer com as frases de treinamento, o Dialogflow irá compreender a intenção. Os parâmetros consistem nos valores que podem ser extraídos das frases de treinamento. Pode-se dizer que existe um conjunto de parâmetros dentro de uma intenção (DIALOGFLOW, 2022). Os parâmetros extraídos das frases de treinamento são utilizados para representar os dados de entrada dos estudantes, chamados de entidades.

As entidades (*entities*) consistem nas informações que podem ser coletadas e estruturadas para, posteriormente, serem utilizadas nos assistentes. Entidade é um mecanismo de identificação e extração de dados úteis estruturados provenientes das interações. Os tipos de entidades disponíveis no Dialogflow CX são: sistema; desenvolvedor; sessão e regexp.

As entidades de sistema são os tipos comuns de expressões como: @sys.email; @sys.person; @sys.last-name; etc. As entidades de desenvolvedor foram muito utilizadas, no PBL-Tutor, para criar diversas situações nos passos projeto PBL e na lógica de programação: @criacao-desenvolvimento; @publicacao-projeto; @estruturas-condicionais-encadeadas etc. As entidades do tipo sessão formam tipos especiais para estender ou substituir as personalizadas em sessões específicas em determinados períodos. Foram utilizadas para manter o contexto de um diálogo, ou seja, não se desconectar da intenção. Criadas em situações específicas, como nas entidades de @brainstorm. As entidades regexp foram utilizadas para corresponder aos padrões em vez de termos específicos, como os passos do projeto: “passo 1”; “passo um”; “primeiro passo” e no sistema se apresentam: @passo1; @passo2; @passo3; etc.

A Figura 36 apresenta uma entidade de desenvolvedor. A entidade foi criada com o objetivo de extrair as informações compreendidas para a atividade de *brainstorm*. O nome da entidade é @brainstorm-1B, composta pelas entidades: *brainstorm* e sinônimos; atividades de discussão e sinônimos. Foram criadas mais de 300 (trezentas) entidades para coletar as mais variadas informações relacionadas ao projeto PBL e à lógica de programação.

A Figura 37 exhibe uma intenção criada para compreender os diálogos, cuja mensagem transmitida remete ao desenvolvimento do *brainstorm*, referente ao passo 1, segunda atividade

do projeto PBL (classificada como 1B). A intenção recebe o nome de “#Passo 1 B – *Brainstorm*”. Observa-se, nas frases de treinamento, a coleta estruturada das entidades e a identificação do parâmetro. Foram criadas cerca de 100 (cem) intenções para compreender os diversificados diálogos conversacionais sobre o projeto PBL e a lógica de programação.

Figura 36 - Entidade de desenvolvedor *brainstorm*

Entity type

Display name \*  
@ brainstorm-1B

Entity	Synonyms
brainstorm	brainstorm × brainstorming ×
	chuva de ideias × tempestade de ideias ×
	Como desenvolver o brainstorm × Add synonyms
atividades de discussão	atividades de discussão × discussões ×
	discutir soluções × Add synonyms

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 37 - Intenção *brainstorm*

Intent

Display name \*  
# Passo 1 B - Brainstorm

Training phrases

Qual o conceito de **brainstorm** e como realizo as **discussões**?

Como propor **soluções** ao desafio com a **tempestade de ideias**?

Qual é a **atividade de discussão** em grupo?

**Como desenvolvo** a **tempestade de ideias**?

**Como desenvolver um Brainstorm**?

Parameter id	Entity type
brainstorm-1b	@ <b>brainstorm-1B</b>

Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 38 representa parte do código da resposta original do assistente para um diálogo com a intenção de “apresentação da âncora de projeto”. O código é interpretado pelo sistema para designar a intenção desejada. A cada nova intenção identificada durante os diálogos, existem novas respostas do sistema que contém informações como o nome da intenção, assistente atribuído e procedimentos para os direcionamentos conversacionais.

Figura 38 - Código de resposta do assistente à intenção Âncora

```
{
  "advancedSettings": {
    "loggingSettings": {
      "enableInteractionLogging": true
    }
  },
  "currentPage": {
    "displayName": "Apresentação Âncora / Motriz",
    "name": "projects/pbl-tutor-dialogflow-cx-
tese/locations/global/agents/5234c418-1a7e-4a96-bd66-af36a7a62d84/flows/a14536df-
8b85-416b-a87c-64e2a9fd12b1/pages/4af1a93f-6647-4539-9fc5-8d11041e2c2f"
  },
  "diagnosticInfo": {
    "Session Id": "940937-24b-c41-102-10be67b54",
    "Transition Targets Chain": [
      {
        "TargetFlow": "a14536df-8b85-416b-a87c-64e2a9fd12b1"
      }
    ]
  }
}
```

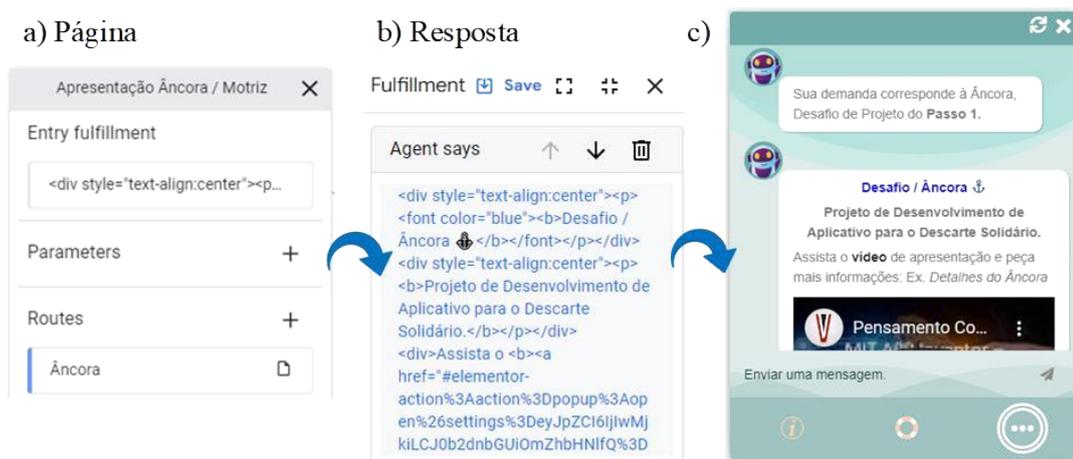
Fonte: elaborado pelo autor

A partir das programações das intenções e entidades, os diálogos são estruturados. Cada diálogo desenvolvido no Dialogflow CX simboliza uma sessão, representada por um conceito da computação, denominada máquina de estados. Essa máquina de estados pode assumir um número finito e mudar de um estado para o outro em resposta a algumas entradas. No Dialogflow, esses estados de uma sessão correspondem às páginas. Uma página pode processar um diálogo completo sobre um determinado tópico. Foram criadas cerca de 90 (noventa) páginas para tratar os mais diversos diálogos do escopo de projeto e lógica de programação.

No instante em que uma intenção é identificada (*match*), o assistente direciona a conversa para uma página específica. Se a intenção está relacionada à “âncora de projeto”, o assistente direciona o diálogo para a página específica ao assunto. A Figura 39 (a) mostra uma página criada para tratar da ancoragem do projeto. Na página, observa-se um elemento denominado *fulfillment*. O *fulfillment*, dentro de uma intenção, faz uma chamada externa para tratar a informação. Essa chamada externa, no caso da intenção “âncora de projeto”, caracteriza mobilizar o módulo que detém as informações sobre a especialidade. Esse módulo

especializado é exatamente módulo de domínio ou especializado (da arquitetura clássica do ITS). Lembrando que sua função consiste na “base de conhecimento” para gerar as explicações e respostas aos estudantes. Essa “base de conhecimento” é representada no sistema como o banco de dados. Portanto, o *fulfillment* faz uma chamada exatamente a essa fonte externa, que corresponde ao banco de dados.

Figura 39 - Página, *fulfillment* e resposta



Fonte: elaborado pelo autor

No caso da plataforma do Google, o banco de dados está incorporado dentro da própria estrutura da nuvem. A busca pela intenção “âncora de projeto” consiste em um *fulfillment* realizado dentro da nuvem do Google, não necessariamente chamadas a sites externos ou API fora da estrutura. Um exemplo em que um *fulfillment* sai da plataforma de Google consiste no instante em que passa a se comunicar com a API localizada no módulo de interface do estudante (localizada no servidor local da Instituição de Ensino).

A Figura 39 (b) representa a resposta do *fulfillment*, denominada de *webhook*<sup>46</sup>. O *webhook*, no caso da intenção “âncora de projeto”, está relacionado ao banco de dados e consiste na forma de recebimento de informações, que são passadas quando um evento acontece. A resposta ao evento, para o tipo de *fulfillment* selecionado, comporta: a linguagem natural; HTML; JavaScript; etc. Para intenção “âncora de projeto”, foi criada uma apresentação em HTML, Figura 39 (b). O HTML não é processado pelo console do Dialogflow CX. Nesse

<sup>46</sup> Quando o Google comprou a API.AI e a transformou no Dialogflow, integrou o produto em sua plataforma e com isso a capacidade de criar um *webhook* direto no console. Essa característica é chamada de *Cloud Functions*, com a capacidade de criar códigos e funções sem a necessidade de um servidor.

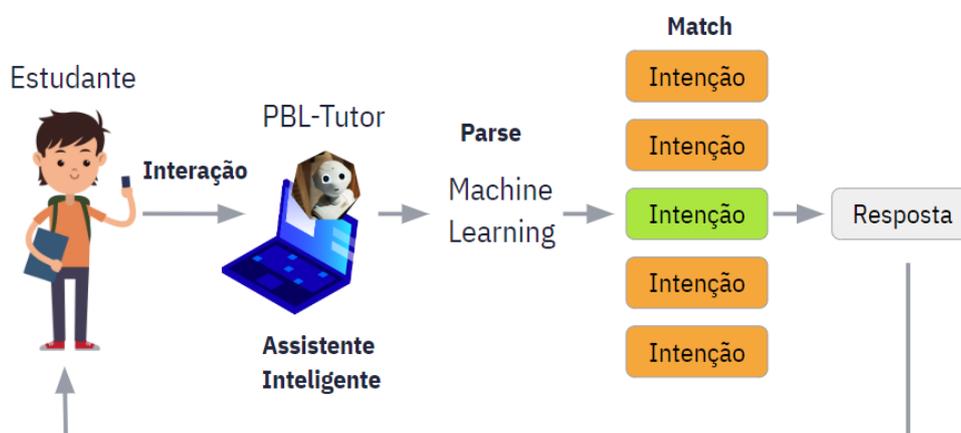
contexto, completa-se o ciclo representado na Figura 39 (b, c), em que um primeiro *fulfillment* é chamado dentro da plataforma, no banco de dados do módulo especialista do assunto “âncora de projeto”. O segundo *fulfillment* é chamado na API do servidor da Instituição de Ensino, responsável por entregar a interface ao estudante por meio da página *web* do sistema PBL-Tutor. A interface é acessada por meio de um navegador de internet, que interpreta dos dados HTML provindos do sistema ITS, apresentando informações em linguagem natural.

No console do Dialogflow, das cerca de 90 (noventa) páginas criadas, pelo menos uma atribuição de *fulfillment* foi associada. Contudo, houvera contextos desenvolvidos com mais de 5 *fulfillments* atribuídos por página, com o objetivo de atender as demandas do projeto PBL ou da lógica de programação. O direcionamento entre as páginas do sistema é realizado por meio dos fluxos conversacionais, abordados na próxima subseção.

### 6.2.3 Fluxo do Assistente e do Desenvolvimento da Plataforma Inteligente

O sistema organiza-se com três tipos de fluxos: (1) fluxo do chatbot; (2) fluxo entre as páginas do console Dialogflow e (3) fluxo do desenvolvimento da plataforma inteligente. No primeiro, fluxo no chatbot (Figura 40), o estudante interage com sua demanda ao assistente. O assistente recebe a solicitação na interface e faz um *parse* (analisador sintático) na plataforma inteligente para determinar a intenção do estudante. A intenção é formada pelas frases de treinamento e as respostas são geradas pelos módulos específicos com a IA.

Figura 40 - Fluxo do Assistente Inteligente

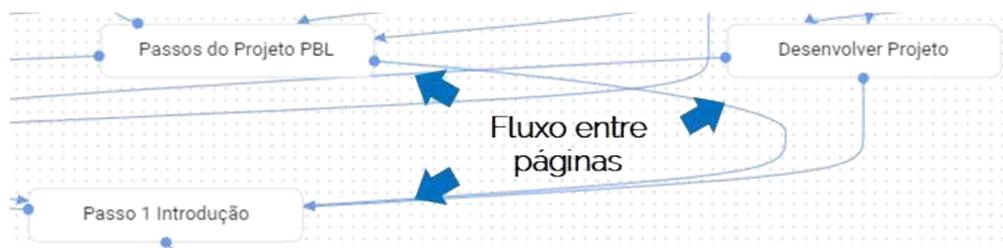


Fonte: elaborado pelo autor

No fluxo do chatbot, o sistema pode identificar, por exemplo, os tipos de dúvidas frequentes: “O que é um projeto?”; “Como apresentar o projeto?”; “O que é um algoritmo?” e com isso definir distintas estratégias de respostas de acordo com o perfil das intenções. O sistema, também, foi programado para compreensão de frases complexas, que demandam a extração e a estruturação de significativas entidades providas das interações.

O segundo fluxo foi programado no Dialogflow com objetivo de ser utilizado para definir os tópicos e os caminhos conversacionais associados entre as páginas do console, conforme a própria nomenclatura do Dialogflow, em tradução livre “fluxo de diálogo”. A Figura 41 exibe uma intenção na página dos “passos do projeto”. O estudante compreende a necessidade de criar o projeto, contudo, necessita saber duas novas intenções associadas às páginas: “o que é um projeto?”; “qual o primeiro passo?”. Para caracterizar, foi utilizado o fluxo entre as páginas para criar um diálogo em um contexto conversacional. O diálogo apresentado em contexto (*context e follow-up*) representa todas as intenções dentro de um mesmo assunto, ou seja, dentro de um mesmo contexto. Esse aspecto consiste em uma importante característica programada no PBL-Tutor para manter o estudante dentro de um mesmo contexto.

Figura 41 - Fluxo no console de desenvolvimento



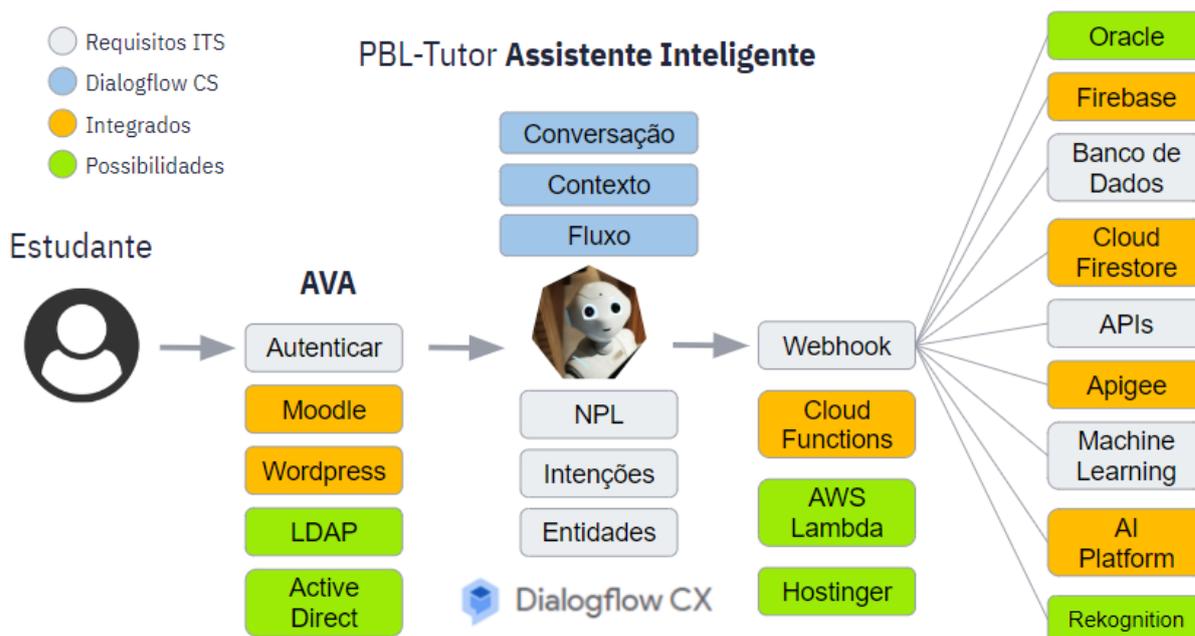
Fonte: elaborado pelo autor

O terceiro tipo representa o fluxo desenvolvido na plataforma inteligente e interativa. Embora parte significativa do PBL-Tutor tenha sido desenvolvida no console do Dialogflow, seus recursos não são limitados somente à plataforma. Desde o acesso à plataforma interativa e AVA, por parte do estudante, até a diálogos conversacionais com os assistentes virtuais inteligentes, existe um ecossistema de elementos associados e trabalhando de modo integrado.

A Figura 42 mostra todos os elementos integrados ao sistema PBL-Tutor e às possibilidades de agregar novos serviços. A representação deixa clara a natureza da plataforma do Dialogflow CX, com a capacidade de integrar distintos serviços dentro e fora da nuvem.

Muitos desses processos e serviços são transparentes<sup>47</sup> ao estudante. A transparência pode ser observada antes mesmo dos diálogos com o assistente, como na identificação do estudante na plataforma. Para identificar o perfil do estudante, a autenticação foi desenvolvida por meio da integração entre o AVA Moodle e Wordpress. Para os estudantes sem cadastro no AVA, o sistema permite uma identificação simples e, na sequência, recomenda um novo cadastro.

Figura 42 - Fluxo de desenvolvimento da plataforma inteligente



Fonte: elaborado pelo autor

Devidamente identificado, o fluxo segue na plataforma apta para as interações com diálogos conversacionais. A interface analisa as intenções com o Processamento de Linguagem Natural e interage com *webhook*, podendo fazer chamadas a serviços como: base de conhecimento de domínio do ITS (banco de dados); analisar as interações com Aprendizado de Máquina; ou mesmo usar o *fulfillment* para fazer a chamada da API do PBL-Tutor.

Em análise ao Dialogflow CS, observa-se características singulares como: (1) criação de assistentes conversacionais; (2) determinações de contexto (*context* e *follow-up*) e (3) criação de fluxos de diálogos entre as páginas. Ainda com relação aos serviços disponíveis na nuvem da plataforma do Google, foi utilizado o “Firebase” para o banco de dados e a “AI platform”.

<sup>47</sup> Situações do funcionamento interno do sistema desconhecidas ao usuário final. Tanenbaum e Steen (2008) caracterizam como positiva a transparência. Quanto mais transparente o sistema, melhor para usuário final.

## 6.3 Apresentação

O protótipo foi desenvolvido como prova de conceito para concepção do ITS Interativo. A apresentação demonstra a interface com os recursos e funcionalidades do sistema PBL-Tutor, destacando as inovações. A apresentação do sistema PBL-Tutor está dividida em duas partes: a primeira apresenta a plataforma interativa e a segunda apresenta o Sistema de Tutoria Inteligente. O protótipo do sistema pode ser acessado no endereço <https://pbltutor.com>.

### 6.3.1 Plataforma Interativa

Foi criada uma plataforma interativa como alternativa complementar às situações ou recursos não contemplados no AVA. Uma das principais abordagens da concepção da plataforma consiste na integração com o assistente. Aspectos importantes foram considerados no desenvolvimento da plataforma interativa: (1) ser intuitiva para representar os passos do projeto PBL; (2) ter integração com o AVA; (3) promover a interatividade com elementos da página *web*; (4) procurar não sair da página *web* principal do projeto; (5) disponibilizar infográficos, *roadmaps* e mapas mentais para destacar os passos projeto.

A idealização da plataforma, também, foi motivada para atender lacunas de usabilidade e interface observadas no AVA: (1) em muitos casos, para acessar *links* com novos conteúdos, compartilhados no chatbot, seria necessário sair da página *web* atual e carregar novas páginas; (2) em certos momentos, para acessar uma determinada informação, o estudante deve abrir ou passar por várias páginas até localizar o conteúdo que se deseja; (3) a interface de visualização de chatbots nativos (que podem ser instalados) cobrem (escondem) o conteúdo apresentado de modo parcial ou total; (4) no Moodle, apesar das novas versões apresentarem melhorias significativas, o aspecto responsivo para os dispositivos móveis (*smartphones*, *tablets*) ainda consiste em um ponto que gera debate, quando se trata de chatbots.

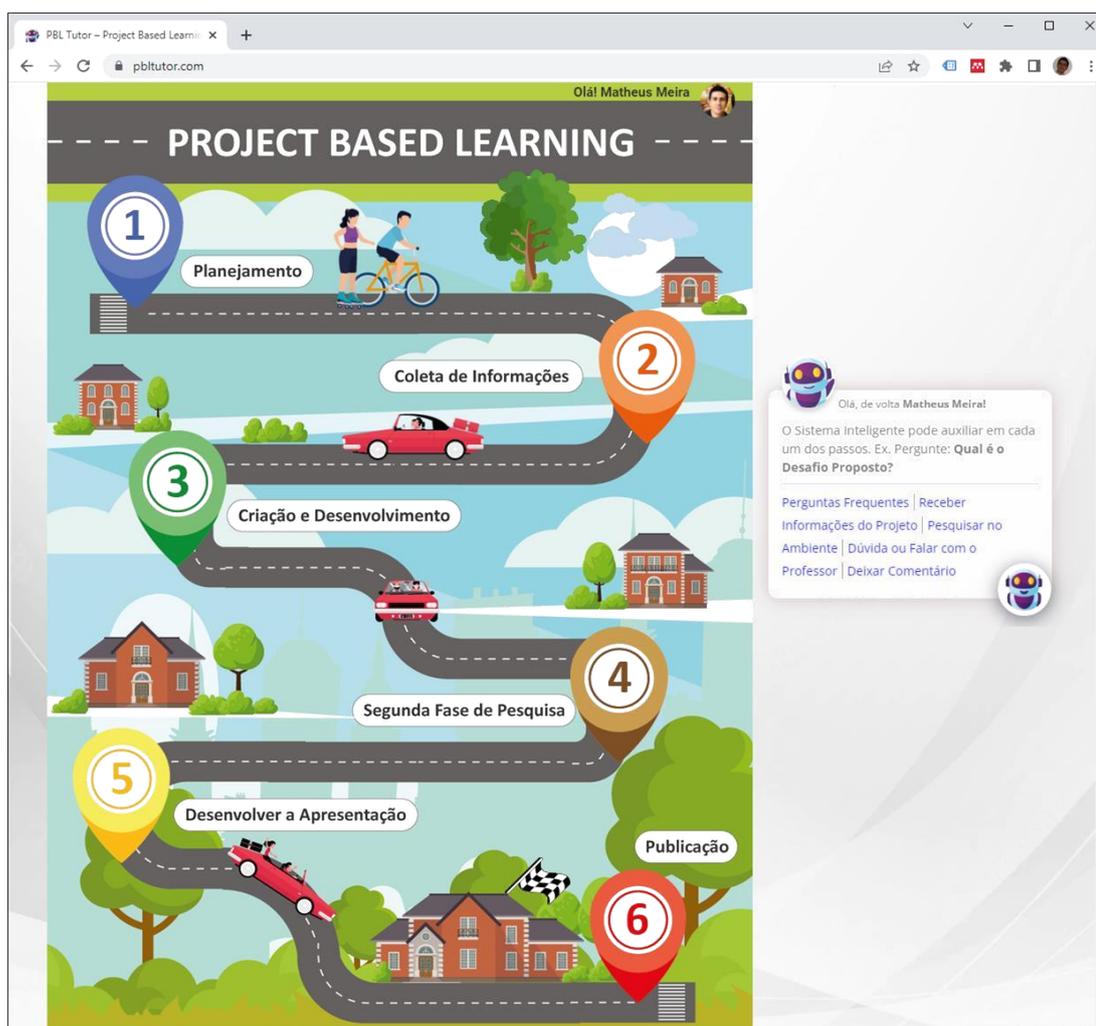
A idealização do PBL-Tutor propôs um cenário ao contrário do observado: em que o estudante pudesse acessar todas, ou a maioria das informações, sem a necessidade de sair da plataforma interativa. Para desenvolver a interface, o projeto considerou um ambiente harmônico para comportar e destacar a apresentação do conteúdo do projeto e o assistente

inteligente. O aspecto responsivo foi estudado e implementado com o objetivo de procurar manter as qualidades da interface em múltiplos dispositivos.

Uma plataforma que, mesmo integrada ao AVA, contudo, pudesse abstrair os menus da disciplina, os tópicos ou abas de conteúdos, os calendários, os lembretes e os botões nativos do ambiente, com objetivo de proporcionar uma interface mais limpa para que o estudante possa focar exclusivamente no contexto do projeto.

A plataforma é apresentada por meio de um infográfico de *roadmap* de projeto com os passos do PBL (Figura 43). Seu objetivo foi ampliar as possibilidades interativas no ambiente de interface com estudante. As abordagens visuais interativas, expostas a partir do uso das multimídias, foram instituídas para prover diversos meios para transmissão da informação.

Figura 43 - Plataforma Interativa PBL-Tutor

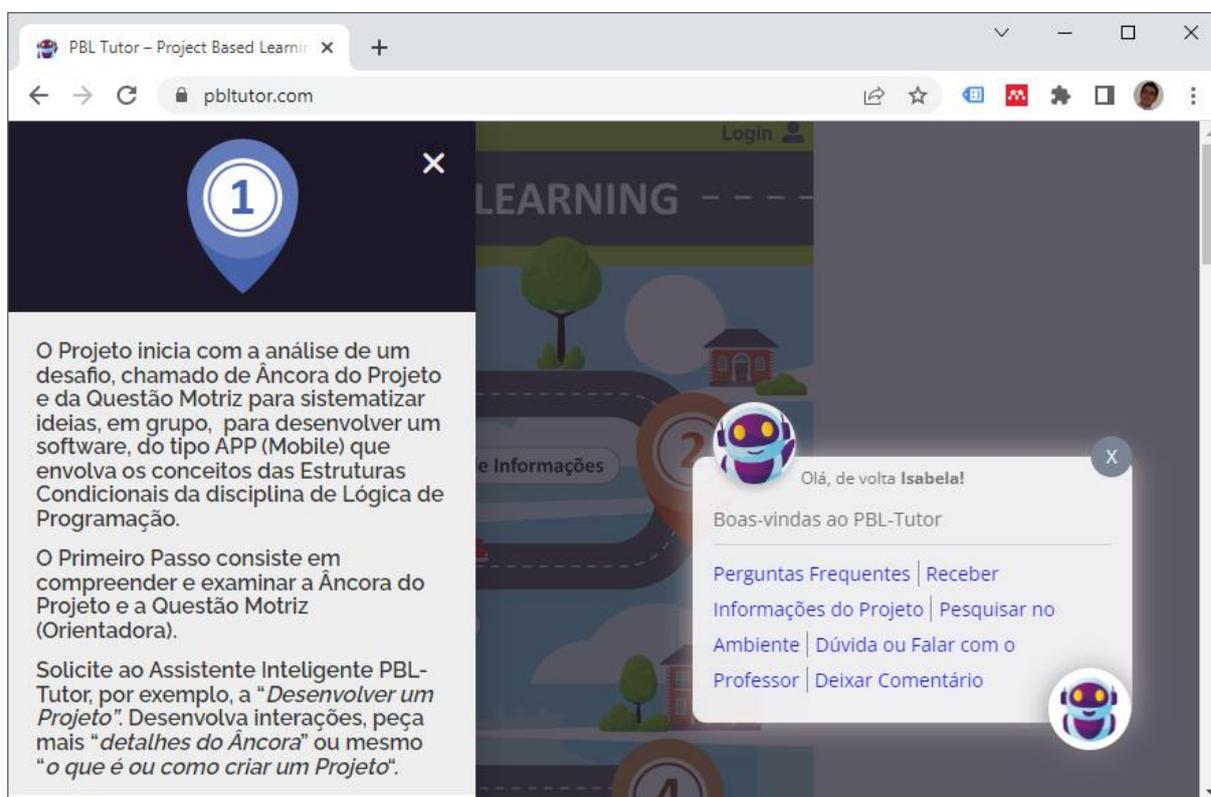


Fonte: *print screen* da tela da plataforma interativa e assistente desenvolvidos pelo autor

O *roadmap* tem a finalidade de apresentar de maneira clara o percurso do projeto PBL. O objetivo da interface de apresentação foi deixar implícita a ideia do projeto e a orientação do desenvolvimento em etapas. O caminho apresentado é composto pelas etapas do PBL. Os ícones que representam as etapas são interativos e exibem novas informações.

O *roadmap* inicia-se no “Planejamento” (ícone de localização do passo 1). No percurso, observa-se mais ícones para apresentar cada uma das etapas do projeto, até a conclusão, no passo 6, de “Publicação”. A Figura 44 apresenta as informações do ícone do passo 1. Os ícones são interativos com funções: (1) contextualizar a etapa, com informações distintas das apresentadas pelo assistente; (2) compartilhar informações para orientar os estudantes a estabelecer os diálogos conversacionais com o assistente; (3) identificação das etapas por cores, as mesmas adotadas no assistente inteligente. Durante o percurso, outros ícones interativos podem ser observados, com funções de apresentar dicas pertinentes para o projeto ou disciplina. A plataforma interativa contempla, ainda, multimídias em uma galeria própria de vídeos e disponibilização de conteúdo para projeto. Galeria e conteúdos integram-se ao ITS e assistente.

Figura 44 - Objetos de interação



Fonte: *print screen* da tela da plataforma interativa e assistente desenvolvidos pelo autor

### 6.3.2 Sistema de Tutoria Inteligente

O objetivo de concepção do ITS propõe disponibilizar uma experiência conversacional inteligente e personalizada. Essa experiência é compartilhada em uma plataforma interativa associada às multimídias. A plataforma tem uma estrutura com a capacidade de utilizar essa interatividade para integrar o AVA, bibliotecas digitais e plataformas externas.

A interface visual de apresentação do ITS foi assentada na programação e modificação do wpbot (interface de chatbot). O visual foi desenvolvido e compartilhado entre programações no AVA Moodle integrados ao Wordpress. Importante destacar que a interface visual de um chatbot, no caso do presente trabalho, não tem relação com a programação da inteligência dos assistentes. São duas situações distintas, porém complementares dentro do projeto do ITS, ou seja, a interface visual do chatbot foi um modelo selecionado e adequadamente programado para receber a IA e os diálogos conversacionais da plataforma do Dialogflow CX.

Nesse contexto, a seleção da interface do chatbot foi realizada para que o sistema suportasse a integração por meio de API's com a plataforma do Dialogflow CX. Essa integração foi programada no console de desenvolvimento da nuvem, com a API Google Cloud Platform, por meio de JSON<sup>48</sup>. O JSON usa o *parsing*, “analisador sintático”, programa com a função de carregar os dados de entrada e construir uma estrutura de dados na plataforma interativa. Mais uma vez, relaciona-se a um sistema transparente. O estudante visualiza a imagem de um assistente virtual no *Front End*, abstraindo toda complexidade de programações em *Back End* da interface visual integrada a uma plataforma inteligente.

O ITS conta com três estados alternados exibidos na Figura 45: (a) primeiro estado, boas-vindas ao estudante; (b) segundo estado, abrir o assistente inteligente; (c) terceiro estado, fechar o assistente inteligente. No primeiro estado, Figura 45 (a), são exibidas três informações: (1) boas-vidas ao estudante (logado ou não); (2) dicas para que o estudante possa interagir com o sistema, a cada 10 segundos, uma nova dica é apresentada; (3) *links* de suporte rápidos. O

---

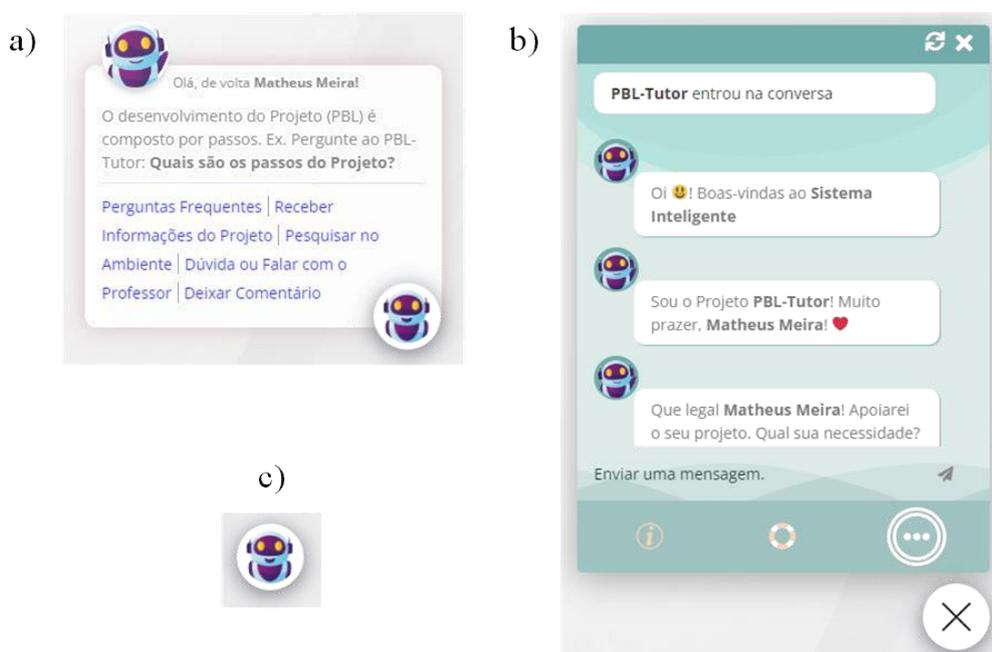
<sup>48</sup> O JSON (JavaScript Object Notation) com suporte ao objeto (tipado), maior velocidade de execução (em relação XML); consiste em um arquivo com tamanho reduzido; utilizado com suporte a API's Google, API's Facebook etc. Em síntese, as programações realizadas podem oferecer suporte a outras plataformas.

sistema identifica o acesso e, pode alternar a exibição das mensagens como: “boas-vindas” em um primeiro contato; ou “olá, de volta” em contatos subsequentes.

O primeiro estado inova com a função de pesquisa do ITS integrado ao ambiente interno do AVA. O estudante pode buscar por conceitos, exemplo “*brainstorm*”, por meio do ITS sem a necessidade de sair da página *web* principal ou utilizar outros buscadores. Os resultados são apresentados no assistente, representando as referências ou páginas do conteúdo desejado.

O segundo estado, Figura 45 (b), representa o assistente inteligente com funções de interface: (1) o sistema foi desenvolvido para guardar o histórico conversacional; (2) ao retornar, o estudante pode consultar seu histórico de conversa; (3) botão para apagar o histórico; (4) botão fechar o assistente; (5) botão pular conversa, vai para última mensagem; (6) suporte com as opções: dúvida ou falar com o professor, deixar comentário ou relatar um problema de acesso, contato com TI; (7) ajuda, com funções como FAQ ou retornar ao início. Portanto, o sistema detém as funções de um bot baseado em regras, os mesmos encontrados em *call centers* com bots de suporte (não baseados em IA), o que o caracteriza como híbrido com programação lógica e IA. Apesar de híbrido, o cerne do presente trabalho é predominantemente a IA.

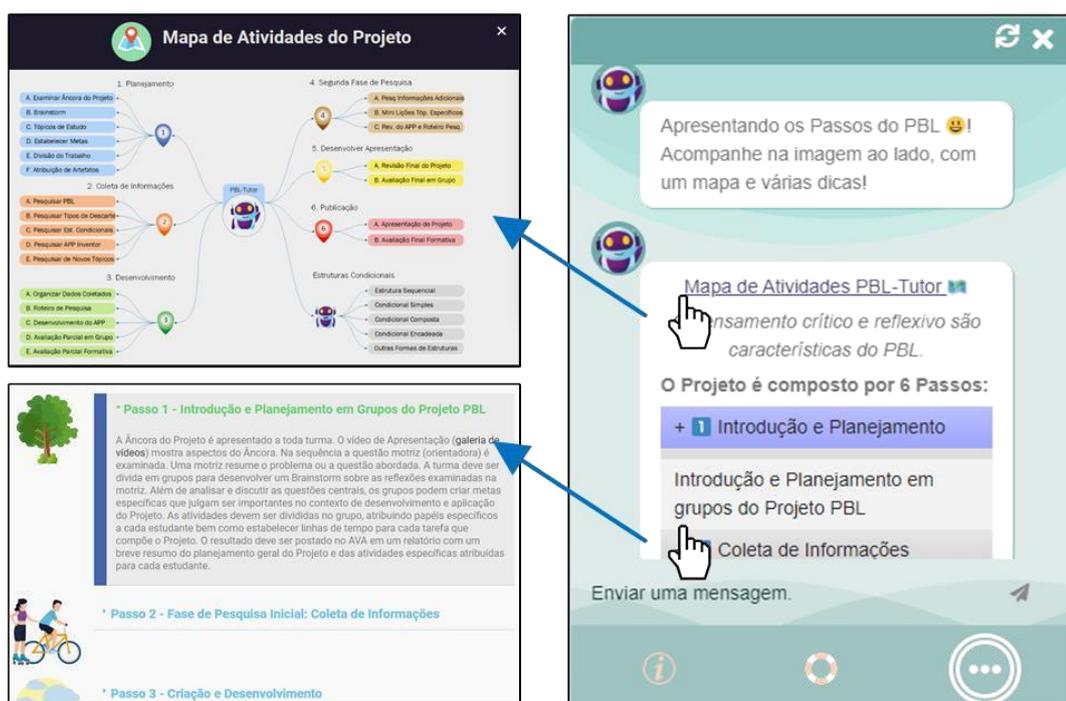
Figura 45 - Estados do Assistente Inteligente



Fonte: *print screen* da tela do assistente inteligente desenvolvido pelo autor

A Figura 46 mostra a IA integrada à plataforma interativa. Em um diálogo representando os passos do PBL, o assistente explica cada uma das etapas e explora os aspectos interativos da plataforma, com apontamentos para informações adicionais: (1) por meio da disposição do *roadmap* de projeto; (2) *link* com uma imagem para o mapa das atividades de projeto; (3) com *link* disposto no menu expandido dos passos do projeto (botão interativo de menu HTML, *accordion*). O menu mostra a integração de cada passo do PBL com o ambiente do projeto.

Figura 46 - Interações entre ITS e Plataforma



Fonte: plataforma interativa e assistente inteligente desenvolvidos pelo autor

A Figura 47 (a) mostra mais interações multimídias com o diálogo compreendido em torno da intenção de apresentar ou conhecer o desafio (âncora) do projeto. O assistente inteligente oferece os subsídios para a compreensão do desafio e complementa com a diversificação por meio da apresentação de um vídeo contendo a ancoragem do projeto. Os vídeos relacionados ao projeto e à disciplina estão dispostos na própria biblioteca, contendo mais informações sobre a apresentação e novas sugestões de interação. No caso do vídeo de ancoragem, existem sugestões de perguntas que podem ser feitas ao assistente como: “O que é âncora de projeto?”; “Como examino a âncora do projeto?”.

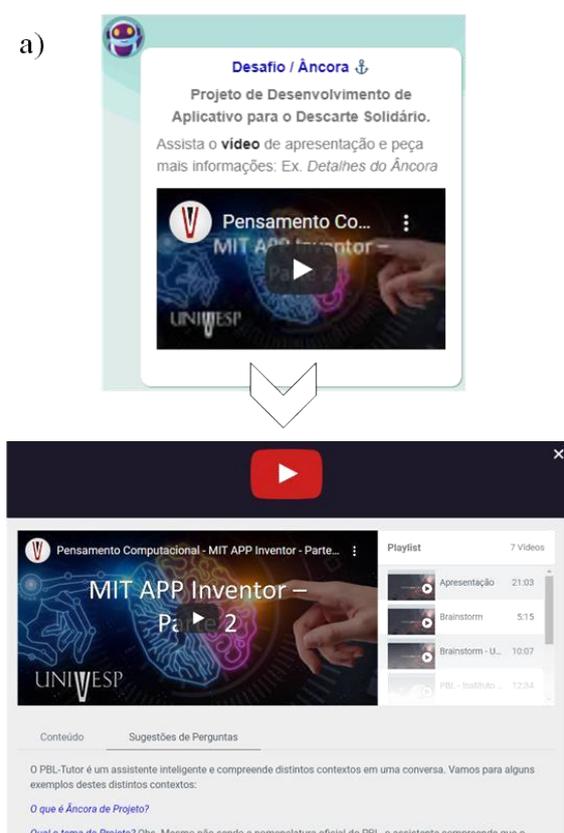
A Figura 47 (b) relaciona um exemplo à disciplina de lógica de programação. O assistente compreende a intenção nas estruturas condicionais do tipo encadeadas. A interação

apresenta um diagrama de blocos da estrutura. Associado à intenção, o assistente envia um áudio. O áudio pode ser uma explicação do professor para os diagramas de blocos ou pseudocódigos das condicionais encadeadas. A IA do sistema decide a composição da resposta de acordo com as interações.

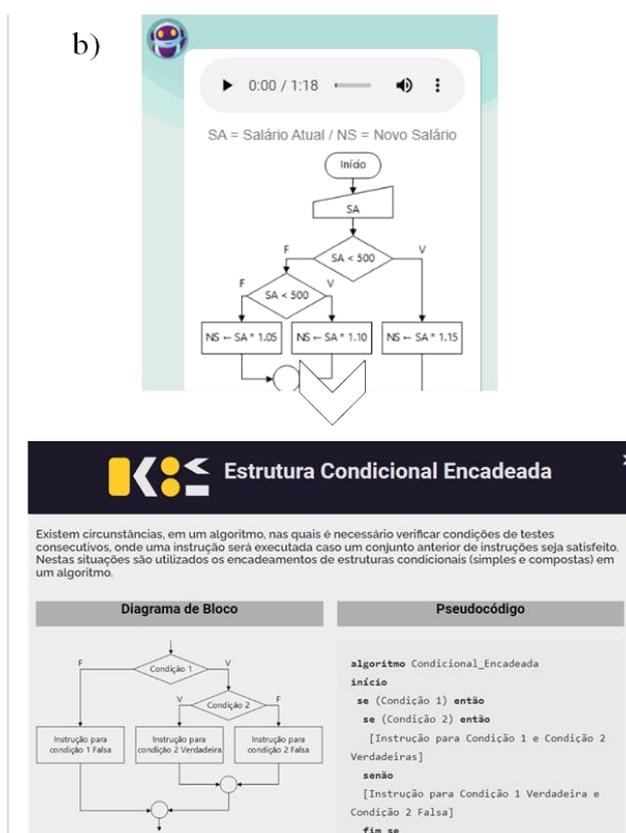
Em continuidade na composição da resposta, Figura 47 (b), a IA do assistente opta por apresentar mais informações por meio da interação com a plataforma. As informações apresentadas na plataforma exibem novas abordagens para tratar os conceitos das estruturas condicionais, relacionando mais exemplos para compreensão do pseudocódigo e diagrama de blocos. Em relação ao AVA tradicional (observado), uma página de apresentação de conceitos de lógica (ou fragmentos dela) poderia ser associada dentro da plataforma interativa. A próxima seção apresenta aspectos de integração entre o sistema de tutoria inteligente, plataforma interativa de projetos e o ambiente virtual de aprendizagem.

Figura 47 - ITS e multimídias interativas

a)



b)

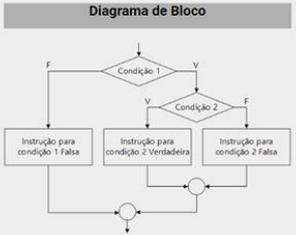


SA = Salário Atual / NS = Novo Salário

```

graph TD
    Inicio([Início]) --> SA[SA]
    SA --> Cond1{SA < 500}
    Cond1 -- V --> NS1[NS ← SA * 1.15]
    Cond1 -- F --> Cond2{SA < 500}
    Cond2 -- V --> NS2[NS ← SA * 1.10]
    Cond2 -- F --> NS3[NS ← SA * 1.05]
  
```

Existem circunstâncias, em um algoritmo, nas quais é necessário verificar condições de testes consecutivos, onde uma instrução será executada caso um conjunto anterior de instruções seja satisfeito. Nestas situações são utilizados os encadeamentos de estruturas condicionais (simples e compostas) em um algoritmo.

Diagrama de Bloco	Pseudocódigo
	<pre> algoritmo Condicional_Encadeada início se (Condição 1) então se (Condição 2) então [Instrução para Condição 1 e Condição 2 Verdadeiras] senão [Instrução para Condição 1 Verdadeira e Condição 2 Falsa] fim_se           </pre>

Fonte: plataforma interativa e assistente inteligente desenvolvidos pelo autor

### 6.3.3 Integração ITS Interativo e AVA

A observação direta dos AVA's nos cursos técnicos e superiores na área da computação resultou na seleção de conteúdos e recursos de lógica de programação para comportar o desenvolvimento do projeto. A seleção dos recursos e o desenvolvimento do AVA no Moodle permitiu a criação do *design* de conteúdo para a interface da disciplina de lógica de programação (apresentada na Figura 48). Observa-se o assistente inteligente integrado ao AVA. O assistente pode ser manipulado na plataforma interativa (conforme demonstrado na seção anterior 6.3.2) e também no AVA. No exemplo da Figura 48, o assistente diversifica a apresentação do PBL com vídeos e informações da base de conhecimento do ITS, da plataforma interativa e questões presentes no AVA. O ambiente pode ser acessado no endereço <https://pbltutor.com/ava>.

Figura 48 - Disciplina de Lógica de Programação no AVA

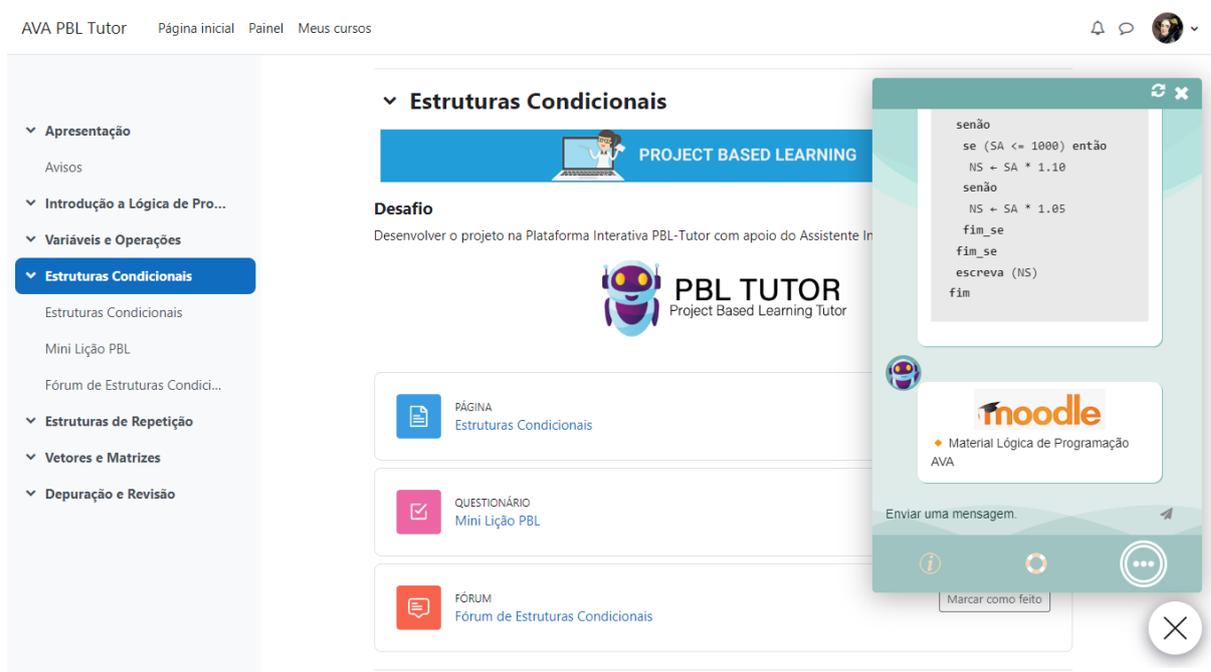
The screenshot displays the AVA PBL Tutor interface. On the left is a sidebar menu with categories like 'Apresentação', 'Introdução a Lógica de Pro...', 'Variáveis e Operações', 'Estruturas Condicionais', 'Estruturas de Repetição', 'Vetores e Matrizes', and 'Depuração e Revisão'. The main content area is titled 'Lógica de Programação' and includes a 'PLANO DE ENSINO' section with 'Planejamento de Estudos' (80 hours total, 10 hours/week) and a formula for calculating the grade:  $(N1 \times 0,6) + (N2 \times 0,4) = ME$ . A chat window is overlaid on the right, showing a video player for '1 - APRENDIZAG...', a list of PBL videos from the Ministry of Education and Univesp, and a task to 'Resolver as Questões de Fixação' in Moodle.

Fonte: *print screen* do assistente desenvolvido pelo autor e AVA desenvolvido no Moodle

A partir da delimitação de um case de projeto para compreender as estruturas condicionais (provindas dos planos de ensino IFSP e UNIVESP, Anexos I e II) estabeleceu-se um tópico na disciplina para desenvolver o PBL. O tópico de estruturas condicionais (Figura 49) foi criado para contemplar o PBL. O tópico apresenta o projeto e disponibiliza um *link* integrado à plataforma interativa do sistema de tutoria inteligente (PBL-Tutor). Outros recursos

comumente implementados no AVA como as páginas de conteúdo e atividades da disciplina estão disponíveis. A Figura 49 apresenta alguns desses recursos: (1) página de conteúdo das estruturas condicionais; (1) minilições apresentadas por meio de questionários; (3) fórum de discussão. De acordo com a metodologia de desenvolvimento do modelo de interface, observa-se (Figura 49) a apresentação textual, a presença do assistente inteligente, e o visual é compreendido na plataforma interativa. No exemplo da Figura 49, é apresentado o assistente integrado em interações para apoiar o estudante com a disponibilização de recursos para materiais de lógica de programação presentes no AVA.

Figura 49 - Tópico de estruturas condicionais no AVA



Fonte: *print screen* do assistente desenvolvido pelo autor e AVA desenvolvido no Moodle

A Figura 50 apresenta uma página com o conteúdo das estruturas condicionais criadas a partir dos planos de ensino (IFSP e UNIVESP) implementada no modelo de AVA. A plataforma interativa ganhou destaque e compreende o ambiente para apresentação e desenvolvimento do projeto, no entanto o sistema de tutoria foi projetado para utilizar os recursos do AVA de modo inteligente. O AVA continua disponibilizando seus recursos nativos de gerenciamentos, cursos, estudantes etc., em uma nova dinâmica integrando sistema de tutoria inteligente e plataforma interativa de projetos. Observa-se (Figura 50) o assistente reconhecendo o *login* a partir de uma base integrada de informações dos estudantes. Ao alternar

do AVA para plataforma interativa, o histórico da conversa é levantado. O processo é transparente ao estudante que não terá a percepção de alternância entre sistemas. A sua interação integra uma seção de diálogo conversacional (em referência direta ao módulo com as informações do estudante). Isso é possível em decorrência da integração entre o ITS interativo e o AVA.

Figura 50 - Recursos e Conteúdo no AVA

The screenshot displays the AVA PBL Tutor interface. At the top, there are navigation links: 'AVA PBL Tutor', 'Página inicial', 'Painel', and 'Meus cursos'. On the right, there are notification and user profile icons. A sidebar on the left contains a menu with categories like 'Apresentação', 'Introdução a Lógica de Pro...', 'Variáveis e Operações', 'Estruturas Condicionais' (highlighted), 'Mini Lição PBL', 'Fórum de Estruturas Condi...', 'Estruturas de Repetição', 'Vetores e Matrizes', and 'Depuração e Revisão'. The main content area is titled 'Estruturas Condicionais' and includes a 'Marcar como feito' button. Below this is a video player with a play button and a video thumbnail showing code snippets and the text 'Estruturas de condição de uma ou duas vias' and 'UNIVESP'. Under the video, the text reads 'Conditonais encadeados' and 'Python provê uma forma alternativa de escrever seleções aninhadas como chamado algumas vezes como **conditonais encadeadas**'. A chat window on the right shows a message from 'Ada Lovelace' with the text: 'O PBL-Tutor tem uma base de conhecimentos de Lógica de Programação dos temas tratados no Projeto: Ex. Pergunte: O que são Estruturas Conditonais?'.

Fonte: *print screen* do assistente desenvolvido pelo autor e AVA desenvolvido no Moodle

O capítulo exibiu aspectos do desenvolvimento, apresentação do ITS Interativo denominado PBL-Tutor e integrações entre sistemas. As principais contribuições da pesquisa compreendem os resultados das programações e aplicações das vertentes de IA na educação (Processamento de Linguagem Natural, *Fuzzy Matching*, Sistemas Especialistas a Aprendizagem de Máquina) desenvolvidos no sistema são apresentados e contextualizados no próximo capítulo.

## 7 DISCUSSÃO E RESULTADOS

O presente trabalho aborda o desenvolvimento de um Sistema de Tutoria Inteligente com finalidade no apoio nas orientações em projetos no ensino de lógica de programação. O desenvolvimento estrutura-se nas pesquisas que caracterizam os ITS's e os assistentes inteligentes. Como resultado, usa as vertentes da IA na Educação: Sistemas Especialistas; Processamento de Linguagem Natural e no Aprendizado de Máquina. As orientações dos projetos seguem as fundamentações das etapas da metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos. O sistema PBL-Tutor se identifica na inovação tecnológica da IA na Educação com base na metodologia do PBL para diversificar o processo de ensino e aprendizagem.

O capítulo inicia com a apresentação dos resultados do levantamento das tendências da IA na Educação e as relações entre o protótipo e a educação. Em seguida, arquétipos apresentam os resultados da implementação das vertentes de IA na Educação. Seções exibem as inovações do sistema e o case utilizado como base de projeto para a metodologia do PBL. Conclui-se com a apresentação dos benefícios e obstáculos associados ao PBL e o sistema ITS.

### 7.1 Tendências da Inteligência Artificial na Educação

A presente subseção tem por objetivo apresentar o resultado do levantamento dos principais artigos científicos de pesquisas e soluções contemporâneas específicas aos conceitos de IA na Educação (IAED - *Artificial Intelligence in Education*). O levantamento teve como finalidade identificar os principais caminhos que os estudos de IA na Educação têm tomado nos últimos anos. A exploração pretende constatar, a partir de métodos bibliométricos e análises temáticas, variáveis como a relevância dos periódicos e as principais vertentes de estudos no campo da IAED. Portanto, o resultado do estudo aborda algumas das principais linhas de pesquisas que possam evidenciar tendências de IA na Educação.

### **7.1.1 Considerações para IAED e Levantamento**

Considerando que a IA pode ser representada em sistemas mentais utilizados na aprendizagem, torna-se necessário compreender os aspectos da complexidade que esse processo pode envolver, como pluralidade de modelos em que os estudantes podem aprender. Estudos recentes apontam para essa diversidade de formas de aprendizagens em avanços como a aprendizagem adaptativa. Até mesmo características controversas podem ser observadas no instante da aplicação da IAED, compreendendo a IA em substituição às tarefas humanas. Em uma ótica objetivista, pode haver, equivocadamente, o pensamento da máquina como substituto do humano. Inegável, consiste a perspectiva do potencial da IAED, como apoio nos processos de aprendizagem, considerando tanto a visão do estudante quanto do professor. Essa perspectiva fica evidenciada nas aplicações da IAED em áreas como: aprendizagem adaptativa, sistemas especialistas, sistemas de tutoria inteligentes, dispositivos de diagnósticos, recomendação e classificação de estilos de aprendizagem, gamificação e mineração de dados na educação (BATES, 2015).

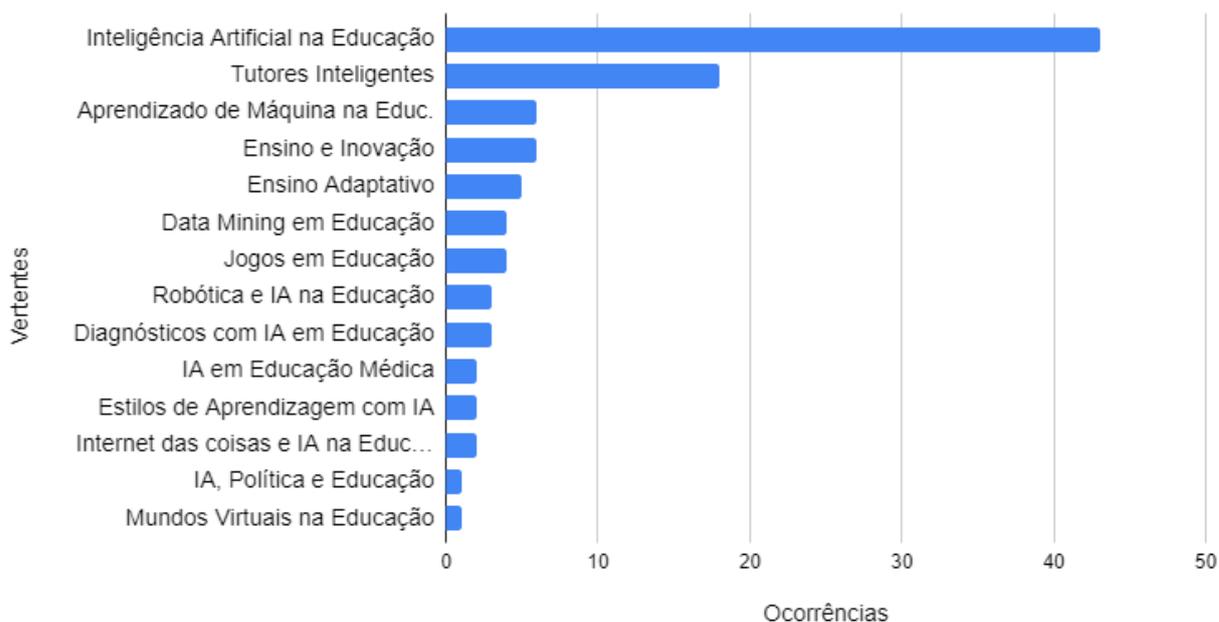
O presente trabalho utilizou o resultado do levantamento para justificar a seleção de vertentes tecnológicas da Inteligência Artificial que se apresentam em evidências e tendências na Educação. O estudo da IAED teve por finalidade investigar soluções e resultados que possam incorporar valores aos processos de ensino e aprendizagem, apoiando estudantes e professores. O resultado do levantamento considerou aspectos primordiais como os humanos, éticos, habilidades de trabalhar em equipes, exercer o pensamento crítico (criatividade para soluções de problemas reais e simulados) e desenvolvimento da gestão do conhecimento (BATES, 2015).

### **7.1.2 Resultados do Levantamento de Tendências da IAED**

O resultado das tendências foi realizado a partir de um filtro com os 60 (sessenta) artigos com maior número de citações de IAED, na base de dados do *Web of Science*. O período estipulado de 2014 a 2020 pôde identificar as vertentes mais relevantes. Essas vertentes se apresentam e destacam as publicações científicas e os temas mais importantes da IAED na atualidade.

O resultado exposto no gráfico da Figura 51 evidencia os Sistemas de Tutoria Inteligentes como uma linha de tendência na área de estudos da IAED. Esse resultado motivou a hipótese e objetivos do presente trabalho, em trabalhar com as concepções e o desenvolvimento dos ITS para apoiar o ensino. Dessa forma, o desenvolvimento do ITS para apoiar o ensino com base na metodologia do PBL é caracterizado como questão central da tese.

Figura 51 - Tendências de estudos de IA na Educação



Fonte: Tavares, Meira e Amaral (2020)

Para a investigação das publicações, foram realizadas as análises temáticas para detectar cada uma das vertentes descobertas por artigo. Alguns artigos foram associados a mais de uma vertente. A primeira vertente, tema selecionado, consistiu no conceito de “Inteligência Artificial na Educação”. Essa primeira vertente marcou um foco mais geral de IAED, sem aprofundar em vertentes mais específicas como “Tutores Inteligentes” ou “Aprendizado de Máquina”.

O resultado do estudo foi determinado a partir de 3 (três) principais e distintas conclusões: (1) significativa quantidade de publicações científicas apresentam perspectivas consideradas mais gerais em relação à IAED; (2) Sistemas de Tutorias inteligentes consistem em uma área de estudo com forte tendência de pesquisa científica e aplicabilidade na IAED; (3) existiram variadas incidências de outras vertentes identificadas e associadas com IAED em quantidades insuficientes para posicioná-las como tendências. Os Apêndices II e III apresentam

as principais áreas de pesquisas e fontes de publicações retornadas na base de dados do *Web of Science*.

A Tabela 14 apresenta uma listagem com as 10 (dez) publicações mais citadas ao longo do período determinado, exibidos por: ordem; título; autores; ano e citações. Deve-se levar em consideração que as publicações mais recentes apresentam menor potencial de citação em relação às mais antigas, por estarem em evidência a um período inferior. Esse fato não as descaracteriza como parâmetro relevante.

Tabela 14 - Dez Artigos mais citados em tendências de IAED

	<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Cit.</b>
1	<i>Face-to-Face Interaction with Pedagogical Agents, Twenty Years Later</i>	Johnson, W. Lewis; Lester, James C.	2016	36
2	<i>Research-Based Design of Pedagogical Agent Roles: a Review, Progress, and Recommendations</i>	Kim, Yanghee; Baylor, Amy L.	2016	29
3	<i>A Survey of Artificial Intelligence Techniques Employed for Adaptive Educational Systems Within E-Learning Platforms</i>	Almohammadi, Khalid; Hagras, Hani; Alghazzawi, Daniyal; A., Ghadah	2017	27
4	<i>Technology Support for Discussion Based Learning: From Computer Supported Collaborative Learning to the Future of Massive Open Online Courses</i>	Rose, Carolyn Penstein; Ferschke, Oliver	2016	25
5	<i>Design and Implementation of Intelligent Systems With LEGO Mindstorms for Undergraduate Computer Engineers</i>	Cuellar, M. P.; Pegalajar, M. C.	2014	23
6	<i>Next-Generation of Virtual Personal Assistants (Microsoft Cortana, Apple Siri, Amazon Alexa and Google Home)</i>	Kepuska, Veton; Bohouta, Gamal	2018	21
7	<i>Fuzzy cognitive mapping of LMS users' Quality of Interaction within higher education blended-learning environment</i>	Dias, Sofia B.; Hadjileontiadou, Sofia J.; Hadjileontiadis, Leontios J.	2015	21
8	<i>SMILI (sic): a Framework for Interfaces to Learning Data in Open Learner Models, Learning Analytics and Related Fields</i>	Bull, Susan; Kay, Judy	2016	20
9	<i>UTiLearn: A Personalised Ubiquitous Teaching and Learning System for Smart Societies</i>	Mehmood, R.; Alam, F.; Albogami, N. N.; Katib, I.; Albeshri, A.; AltowIAjri, S.	2017	19
10	<i>Letting Artificial Intelligence in Education Out of the Box: Educational Cobots and Smart Classrooms</i>	Timms, Michael J.	2016	18

Fonte: Tavares, Meira e Amaral (2020)

Mais uma vez, a apresentação da Tabela 14 evidenciou a incidência dos estudos relacionados aos Sistemas de Tutorias Inteligentes nos termos: (1) *Pedagogical Agents*; (2) *Adaptive Educational Systems*; (3) *Virtual Personal Assistants*; (4) *Personalised Ubiquitous Teaching and Learning System*; (5) Cobots, representando os chatbots. “Foi feito um cruzamento de referências entre estes dez artigos e pôde-se constatar que não há referências

centrais que fundamentam esses artigos, mas sim uma variedade de fontes e referências” (TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020, p. 48710). A Tabela completa ([link](#)) da pesquisa exploratória encontra-se no Apêndice I, apresentando as 60 (sessenta) publicações mais citadas.

Com a exploração das publicações, foram identificados congressos e revistas com maiores espaços destinados às discussões de IAED. A Tabela 15 exhibe “as 3 (três) fontes de pesquisa com maior número de registros de publicações de IA na Educação. Pode-se notar que essas fontes representam, cada uma, entre 4,5% e 6% das publicações do tema IA na Educação no período, considerando as bases pesquisadas” (TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020, p. 48711).

Tabela 15 - Principais fontes de publicação

<b>Título da Fonte</b>	<b>Registros</b>	<b>%</b>
<i>ADVANCES IN INTELLIGENT SYSTEMS AND COMPUTING</i>	31	6,15%
<i>LECTURE NOTES IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE</i>	24	4,76%
<i>INTERNATIONAL JOURNAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION</i>	23	4,56%

Fonte: Tavares, Meira e Amaral (2020)

### 7.1.3 Considerações no Levantamento de Tendências em IAED

O levantamento permitiu identificar, classificar e descrever distintas vertentes das publicações para viabilizar a apresentação de abordagens temáticas de IAED. Os resultados permitiram identificar diferentes linhas que evidenciaram tendências de pesquisas. Levantamentos de tendências, como o presente, podem apoiar determinações de novas pesquisas, “considerando o papel fundamental na busca por maiores compreensões da Inteligência Artificial na Educação” (TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020, p. 48711).

A Inteligência Artificial possui ramificações em diversos setores da sociedade, contudo a educação, em específico, traz conceitos fundamentais, apontando a importância de vertentes como as tendências dos Sistemas de Tutoria Inteligentes (ITS). “Foi observado, no levantamento, que umas das principais aplicações de IA na Educação são a partir dos Sistemas de Tutores Inteligentes, mas muitas outras linhas de IA estão caminhando para construir e consolidar seus caminhos na educação” (TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020, p. 48711).

Os Sistemas Inteligentes de Tutoria atuam na coleta, análise e disponibilização de informações ao longo do processo de ensino e aprendizagem em ambientes educacionais. Desse modo, no instante em que devidamente planejados, podem apresentar as características de suporte nos processos educacionais desde a seleção e disponibilização apropriada de conteúdo até o apoio nas orientações inteligentes observadas nas relações adaptativas de aprendizagem.

O laboratório de pesquisa LANTEC-UNICAMP (Laboratório de Inovação Tecnológica Aplicada na Educação) desenvolve constantes processos de inovações no que diz respeito às tecnologias educacionais. A última inovação foi marcada por acrescentar linhas temáticas relacionadas à Inteligência Artificial na Educação. O estudo exploratório de tendências de IAED mostrou-se indispensável à continuidade dessa renovação, para o estabelecimento de um fio condutor apropriado para a presente tese, fornecendo o arcabouço necessário para desenvolver a tecnologia evidenciada nos Sistemas de Tutoria Inteligentes. Portanto, a pesquisa exploratória pôde justificar a seleção do ITS como uma vertente temática com forte tendência e aderência em pesquisas científicas e aplicabilidades na IAED.

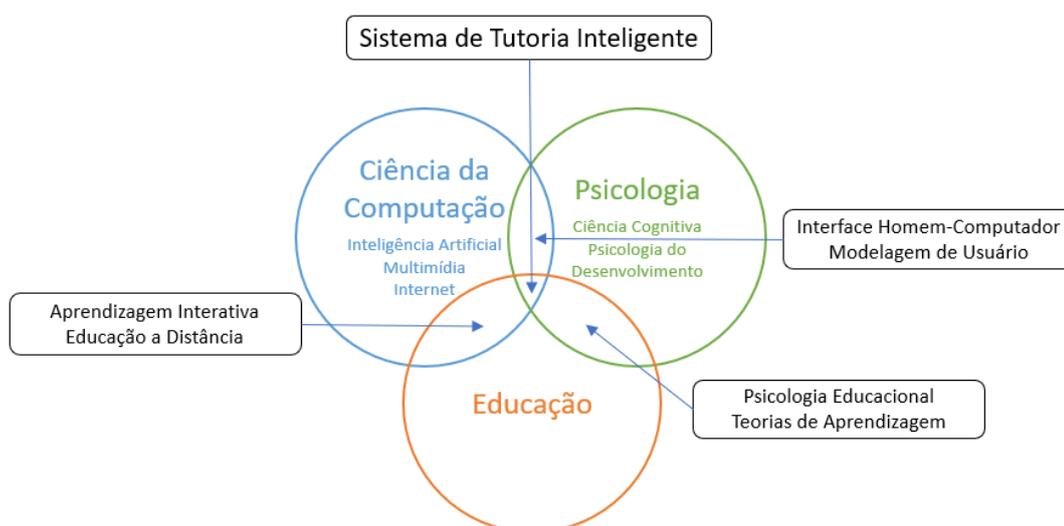
## **7.2 Relações entre Protótipo ITS com PBL e a Educação**

Os conceitos da engenharia de *software* ensinam que os *softwares* considerados complexos, como o PBL-Tutor, devem ser projetados com uma arquitetura de *software*. O PBL-Tutor trata de uma nova arquitetura que foi fundamentada nas pesquisas dos ITS's e, portanto, representa um projeto de engenharia de *software*. A engenharia de *software* consiste em um campo da engenharia e da computação, com o objetivo de especificar e desenvolver aplicações com gestão de projetos (PRESSMAN, 2011; SOMMERVILLE, 2018).

Contudo, quando se trata de projetar a arquitetura de um ITS, faz-se necessário expandir e ir muito além da área da computação e da engenharia de *software*. É necessário considerar um arcabouço de distintas áreas como: ciência da computação; psicologia e a educação. Uma característica marcante no campo da IA compreende a Educação, em usar a inteligência para raciocinar sobre o ensino e aprendizagem. Portanto, as representações de “o quê” e “como ensinar” em um ITS são consideradas dentro dessas distintas áreas (WOOLF, 2009).

Muitos dos métodos e ferramentas da ciência da computação, psicologia e educação são complementares e, coletivamente, fornecem uma ampla cobertura para o campo da IA e da educação (Figura 52). “A inteligência artificial trata de como raciocinar sobre a inteligência e, portanto, aprender. A psicologia, particularmente, aborda a ciência cognitiva, como as pessoas pensam e aprendem, e a educação se concentra em como melhor apoiar o ensino” (WOOLF, 2009, p. 42). A aprendizagem e o ensino são tão complexos que seria praticamente impossível desenvolver um sistema computacional para o ensino (com o objetivo da inteligência artificial) que também não seja apoiado por uma teoria subjacente da aprendizagem (os objetivos da educação e das ciências cognitivas) (WOOLF, 2009).

Figura 52 - Campo da Inteligência Artificial e da Educação



Fonte: traduzido de Woolf (2009)

Como resultado, o presente trabalho relaciona a educação, as abordagens construtivistas da metodologia do PBL e computação, mediada pela Inteligência Artificial, para promoção do Sistema de Tutoria Inteligente para orientar projetos. O ITS foi constituído a partir de pesquisas em distintas áreas: como as análises dos modelos de aprendizagem; processamento de informações humanas e estudos de arquitetura e desenvolvimento de sistemas computacionais para o ensino. O resultado das pesquisas foi materializado no ITS PBL-Tutor com as vertentes de IA na educação.

### 7.3 PBL-Tutor com as Vertentes de IA na Educação

O resultado com o PBL-Tutor representa a prova de conceito sobre a hipótese, pois demonstra o desenvolvimento de um sistema com base em IA mediado por PBL para diversificar estratégias no apoio às orientações de projetos. O sistema contém as propriedades dos módulos clássicos dos ITS's (domínio, estudante, tutorial e interface). Essas propriedades compreendem as funções dos processos de tutoria como: apresentar os conceitos que devem ser aprendidos; determinar atividades; propiciar *feedbacks* para desencadear mudanças cognitivas (PALADINES; RAMIREZ, 2020; SLEEMAN; BROWN., 1982). A Tabela 16 relaciona algumas das principais funções dos processos de tutoria do PBL-Tutor.

Tabela 16 - Principais funções de tutoria do PBL-Tutor

<b>Tutoria</b>	<b>Descrição</b>
Orientações no Projeto PBL	Compreensão, elaboração, aplicação, apresentação e publicação do projeto
Orientações na Disciplina	Introdução, apresentação de conceitos, multimídias para mostrar exemplos de conceitos e exercícios práticos
Orientações nas Atividades	Esclarecimento, planejamento, formas de entregas, suporte na avaliação da pesquisa para fins de adequação
Orientações do Ambiente	Dicas de uso do sistema, esclarecimentos e solicitações de informações adicionais
Recursos de Aprendizagem	Sugestões de como e onde encontrar informações
Trabalho em grupo	Papéis, orientar pesquisas e estudos, lidar com questões
Trabalho individual	Orientar pesquisas e estudos

Fonte: elaborado pelo autor

Para relacionar essas funções, o PBL-Tutor utiliza a Inteligência Artificial na Educação. Observa-se a IA a partir dos resultados das seguintes vertentes implementadas: (1) Processamento de Linguagem Natural; (2) *Fuzzy Matching*; (3) Sistemas Especialistas; (4) Aprendizagem de Máquina. Na sequência, são apresentados ambientes com os resultados dos arquétipos, em cada uma das vertentes de IA, utilizadas para desenvolver o PBL-Tutor.

### 7.3.1 Interações com a Língua Natural

O Processamento de Linguagem Natural (NLP - *Natural Language Processing*) está associado ao módulo de interface de modo a permitir a interação entre o ITS e o estudante, por exemplo, por meio textual (compreensão e gerações textuais) ou voz (reconhecimento e geração da voz). Em uma interface de língua natural, o PBL-Tutor tem a capacidade de interagir com possibilidades para determinar o significado das intenções solicitadas. O significado dessas intenções gera o contexto para uma base de dados de domínio específico de projetos PBL e lógica de programação. A Figura 53 exibe o PBL-Tutor atuando com NLP.

Figura 53 - Processamento de Linguagem Natural no PBL-Tutor



Fonte: assistente inteligente desenvolvido pelo autor

A simulação indica a inserção da sentença, Figura 53 (a): “Oi antes de tudo gostaria de uma introdução sobre o projeto” (sentença escrita propositalmente sem sinais de pontuação). A Figura 53 (a) representa uma sentença complexa<sup>49</sup> em língua natural para contextualizar uma

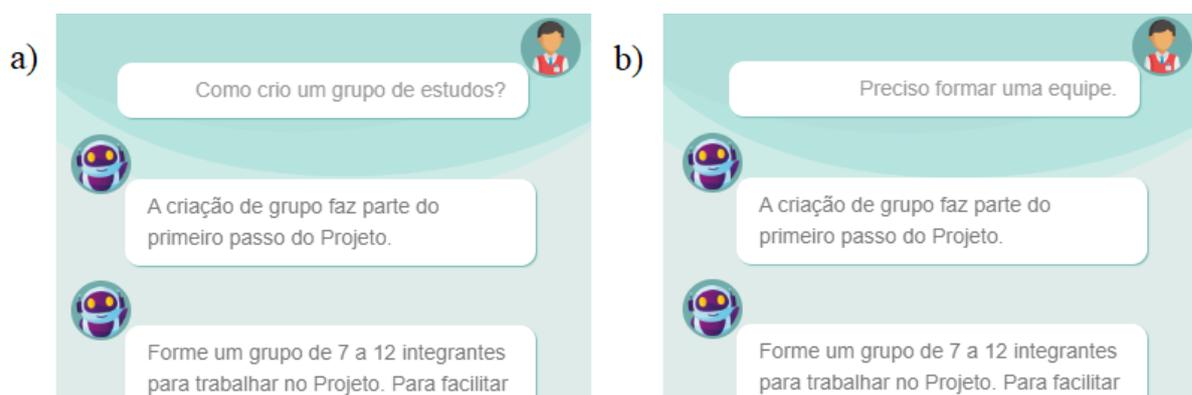
<sup>49</sup> A sentença complexa compreende as orações com períodos compostos. O sistema pode analisar as sentenças em períodos compostos por coordenações sindéticas e assindéticas; considerando o uso ou não das conjunções; considerando ou não o uso dos sinais de pontuação. No caso das orações em períodos compostos por subordinações (ou mistas, coordenação e subordinação ao mesmo tempo), o sistema pode deixar de utilizar a IA do NLP e passar a usar o sistema híbrido com base em regras lógicas.

intenção vinculada aos aspectos introdutórios de um projeto PBL. Observe, agora, outra sentença, Figura 53 (b): “Minha dúvida não é formar grupo mas sim como fazer a avaliação parcial no grupo.” A Figura 53 (b) apresenta uma sentença complexa com frases declarativas distintas: (1) frase negativa, negando a intenção de formar um grupo de projeto e; (2) frase afirmativa, para elucidar a demanda relacionada ao desenvolvimento da atividade de avaliação parcial com a equipe. Para a Figura 53 (b), os parâmetros programados no assistente inteligente permitem observar a complexidade da sentença, de modo a desconsiderar a sentença negativa e compreender a intenção para sentença afirmativa.

### 7.3.2 Referências das Intenções com o *Fuzzy Matching*

Observa-se o *Fuzzy Matching* nos instantes de incertezas nas palavras, frases ou sentenças. Atua em correspondências aos sinônimos; modos de escrita; escritas parciais. O resultado da sua programação busca por correspondências que contenham similaridade de intenções, mesmo em situações em que o estudante digita uma palavra de forma incorreta ou parcial. A Figura 54 exhibe situações para correspondências similares para referenciar a mesma intenção em relação ao anseio, nos detalhes de como criar um grupo para desenvolver o projeto.

Figura 54 - *Fuzzy Matching* por similaridade de intenção

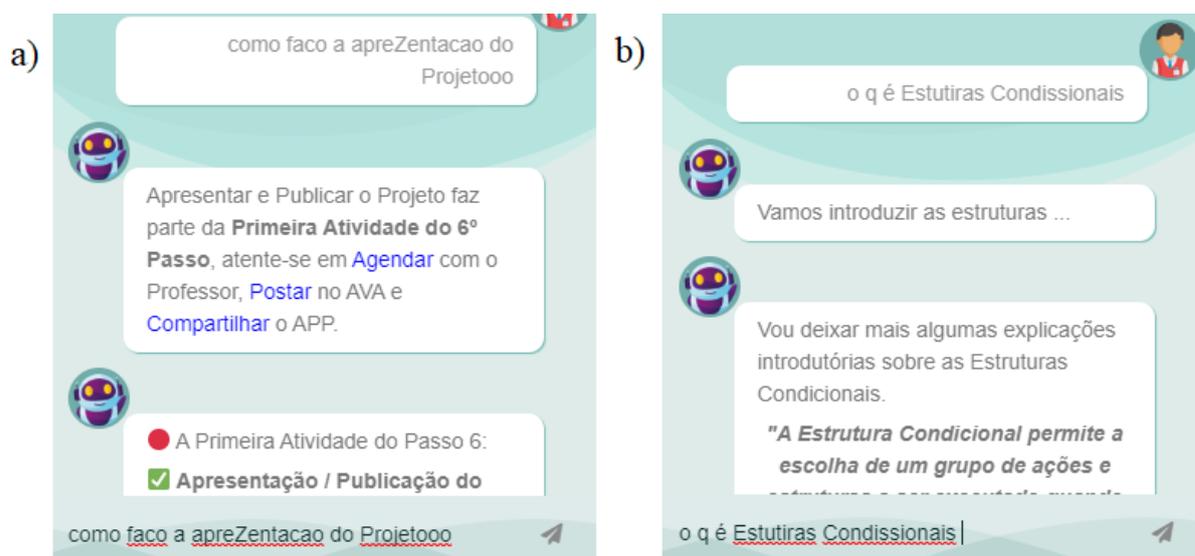


Fonte: assistente inteligente desenvolvido pelo autor

Ainda, em relação ao *Fuzzy Matching*, a Figura 55 (a) apresenta a escrita de palavras de modo incorreto (com “Z” ao invés de “S”, sem “Ç” e “~” e com repetição de “oo” ao final da palavra projeto). Mesmo em situações como a apresentada na Figura 55 (a), o sistema

compreende a intenção relacionada ao último passo (etapa 6) do PBL. A Figura 55 (b), também, aponta para inconsistências (em um termo composto “Estutiras CondiSSionais” em vez de “Estruturas Condicionais” e em “q” ao invés de “que”) em que a IA pôde relacionar à intenção sobre o conceito técnico de lógica de programação.

Figura 55 - *Fuzzy Matching* para termos inconsistentes ou incorretos



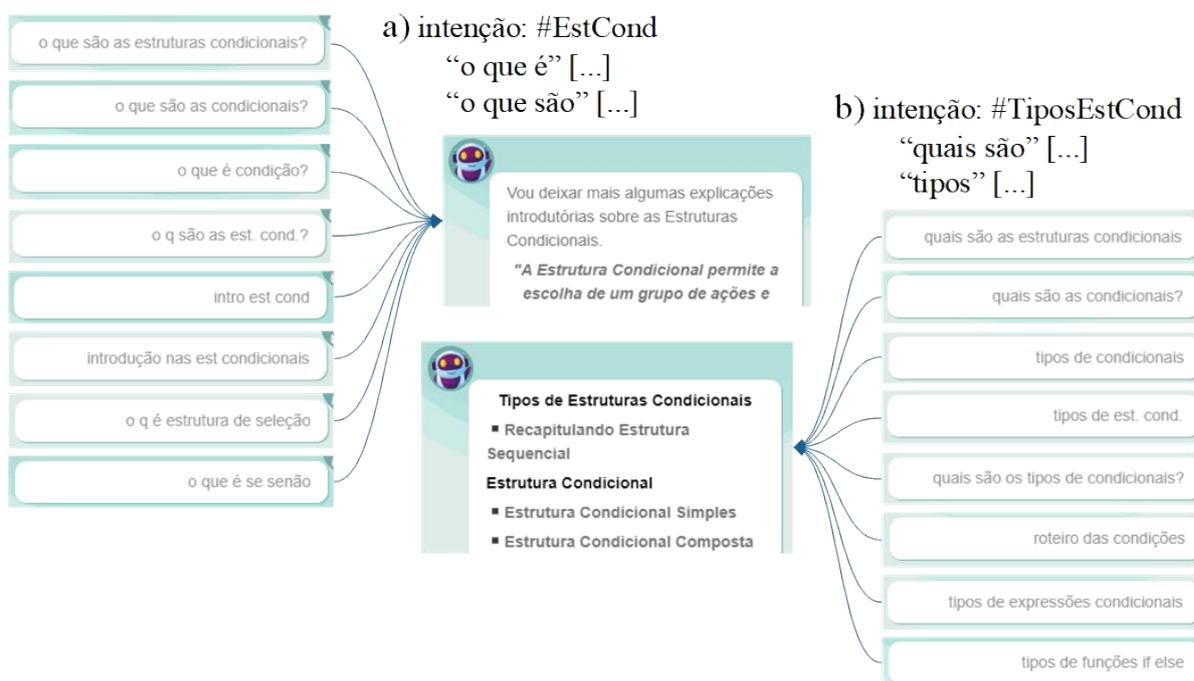
Fonte: assistente inteligente desenvolvido pelo autor

A Figura 56 mostra o *Fuzzy Matching* por combinações entre similaridade de intenções, sentenças parciais e sinônimos. A Figura 56 apresenta duas intenções distintas, contudo em uma sentença gramatical demasiadamente semelhante.

Enquanto Figura 56 (a) tem a intenção de saber “O que são as Estruturas Condicionais” (em referência a um conceito) a Figura 56 (b) tem a intenção de saber “Quais são os Tipos de Estruturas Condicionais existentes” (em referência as categorias ou a uma descrição das estruturas existentes). Note que a distinção da intenção está somente no determinante interrogativo<sup>50</sup> “Que” ou “Quais”. Os outros tipos de *Fuzzy Matching* remetem às frases ou termos escritos de formas parciais (“Est. Condicionais”, “Est. Cond.”, “Intro Est Cond”) e, também, aos sinônimos (“Estruturas Condicionais”, “Condicionais”, “Condição”, “Estrutura de Seleção”, “Expressões Condicionais”, “Condicional”, “Função *if else*”, “Se Senão”).

<sup>50</sup> Na ausência do determinante interrogativo, a IA do sistema pode compreender como sendo uma intenção de introdução relacionada as “Estruturas Condicionais”.

Figura 56 - *Fuzzy* combinado entre similaridade intenções, parciais e sinônimos



Fonte: assistente inteligente desenvolvido pelo autor

### 7.3.3 Sistemas Especialistas e o Conhecimento de Domínio

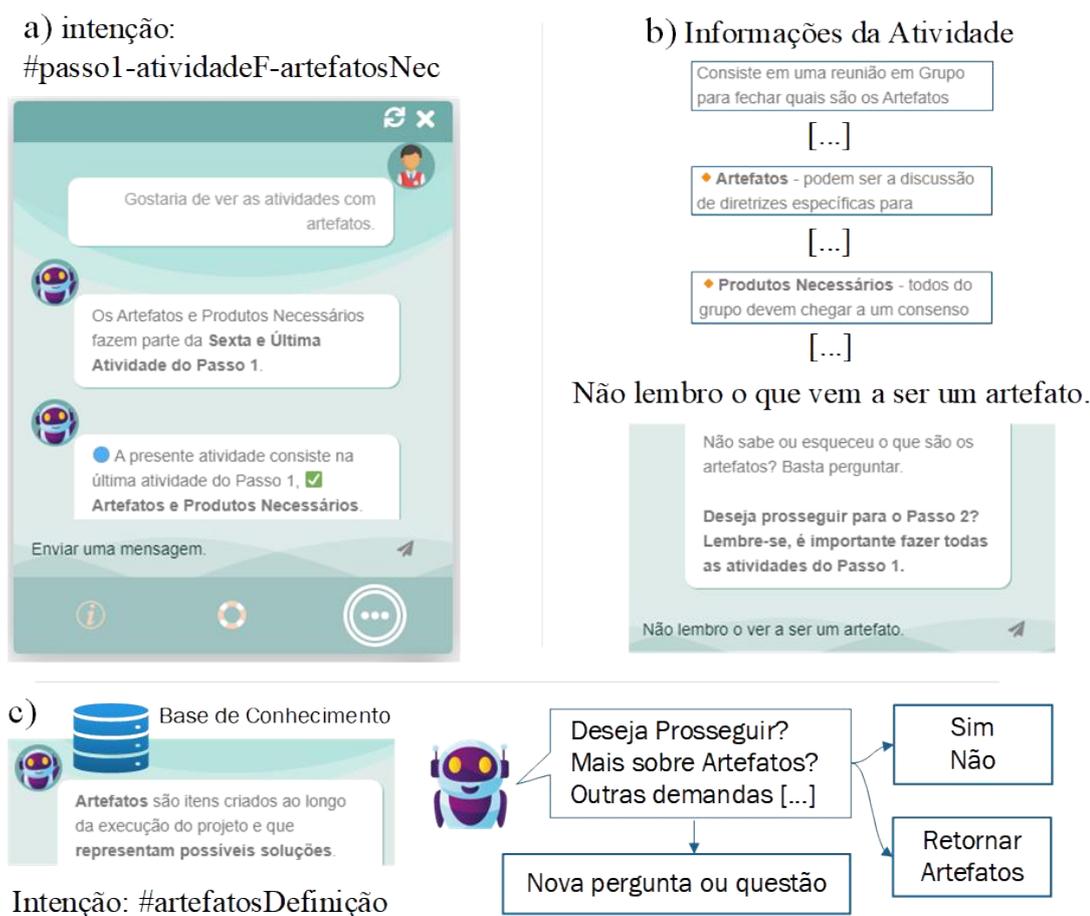
Para os Sistemas Especialistas (ES - *Expert Systems*), os resultados ocorrem no instante em que se “usa o conhecimento específico de um domínio de problema para conseguir um desempenho com ‘qualidade especialista’ naquela área de atuação” (LUGER, 2009, p. 251). ES na representação de sistemas para resolver desafios do domínio do PBL e disciplina lógica de programação. O PBL representa os conhecimentos específicos para as orientações do projeto e da disciplina, referente ao conteúdo das “Estruturas Condicionais”. Para determinar o resultado da programação de um ES, professores e tutores especialistas nos assuntos devem interagir com uma base de conhecimento com o objetivo de representar o domínio (PARK, 1988).

O Sistema Especialista (ES) evidencia diretamente o módulo de domínio (componente especialista). O resultado da IA, para o ES do PBL-Tutor, representa a programação dos conceitos, regras e estratégias para tratar o desafio do domínio a ser ensinado no contexto do projeto do PBL, na disciplina de lógica. Nos Sistemas Especialistas do PBL-Tutor, representado pelo conjunto dos 8 (oito) chatbots inteligentes (sendo: 1 gerente de processo; 1 especialista em

lógica e; 6 especialistas de projeto, um para cada etapa do PBL) são gerados e armazenados os conhecimentos dos domínios específicos (HASAN et al., 2020).

A Figura 57 exibe o resultado de uma interação com a IA do ES de domínio específico, programado (por professor especialista) com a base de conhecimentos da metodologia do PBL, para apoio em determinações das atividades que envolvem os artefatos de projeto.

Figura 57 - Sistema Especialista no PBL-Tutor



Fonte: assistente inteligente desenvolvido pelo autor

A interação na Figura 57 (a) solicita o suporte: “Gostaria de ver as atividades com artefatos”. Por meio da solicitação, Figura 57 (b), o ES acessa a base de conhecimento do projeto PBL e substancia as informações das atividades com os artefatos. Em uma nova interação, Figura 57 (b), solicita-se a demanda: “Não lembro o que vem a ser um artefato”. Neste momento, Figura 57 (c), o sistema consulta a base de conhecimentos e concede a definição dos “artefatos” e, ao final determina novas questões, tarefas ou caminhos. O resultado,

Figura 57, demonstra a atuação do PBL-Tutor como fonte de conhecimento, com a capacidade de gerar explicações de um domínio a ser ensinado. Alinhar-se com as funções do modelo de domínio da arquitetura de um ITS e, conseqüentemente, caracteriza uma IA (WOOLF, 2009).

### 7.3.4 Reconhecimento de Padrões e Aprendizagem de Intenções

A Aprendizagem de Máquina (ML - *Machine Learning*) constitui uma área da IA que concede às máquinas “habilidades de aprendizagens sem serem explicitamente programadas” (SAMUEL, 1959, p. 211). Seu resultado se estabelece nas conexões entre reconhecimento de padrões e as associações nas relações entre os dados. O resultado, ainda, propicia o desenvolvimento de treinamentos para compreender distintas circunstâncias. No PBL-Tutor, procuram-se compreender diversificados contextos admitidos em um ambiente de desenvolvimento de projeto. A Figura 58 apresenta distintas demandas de atuação da ML do PBL-Tutor.

A Figura 58 exhibe casos de solicitações com a palavra “Desenvolver” e a atuação do Aprendizado de Máquina para compreender distintas intenções que têm como referência principal a mesma palavra. Na Figura 58 (a) ocorre a identificação da entidade (recurso que permite reconhecer os dados úteis da sentença), contudo, apenas a solicitação “Desenvolver” consiste em uma palavra abrangente, mesmo no domínio específico de projeto. Essa solicitação não caracteriza nenhum tipo de ML (usa o híbrido com base em lógica e regras<sup>51</sup>), entretanto consiste em um importante gatilho para gerar novas alternativas de respostas.

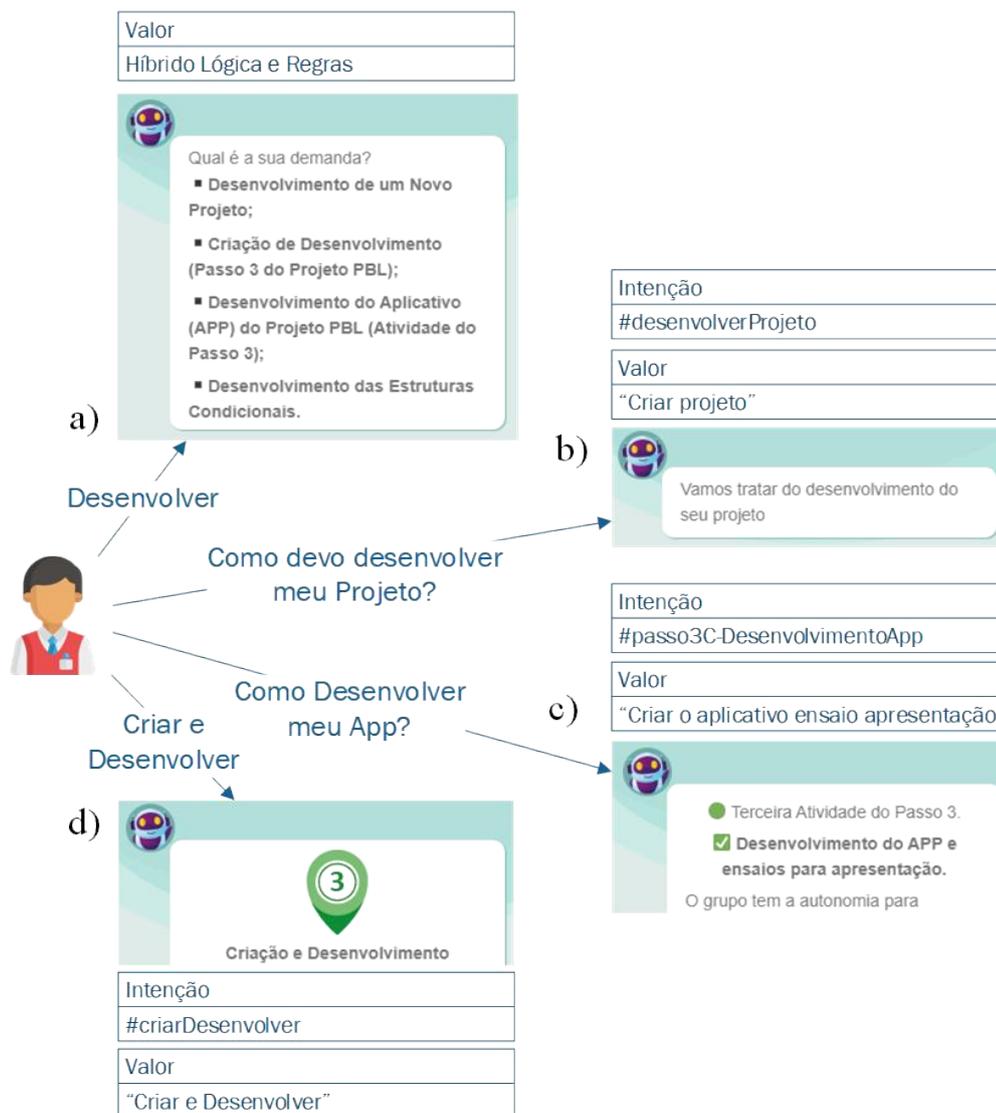
Nas sugestões oferecidas pelo sistema, Figura 58 (b), encontra-se o “Desenvolvimento de um novo projeto”. Para pedir essa demanda, houve a sentença: “Como devo desenvolver meu projeto?”. Mesmo não caracterizando a frase sugerida, o sistema aprende um novo contexto, por meio da Aprendizagem de Máquina, para responder a solicitação. Note, nas informações da Figura 58 (b), a intenção refere-se a “#Desenvolver Projeto” e a frase utilizada para treinar e aprender uma nova sentença consiste no valor = “criar projeto”. Situação similar de aprendizado de máquina ocorre na Figura 58 (c) em um aprendizado da nova sentença

---

<sup>51</sup> O tipo de sistema híbrido com base em regras é posto em prática e o seu resultado pode ser considerado para gerar as novas interações de modo a contribuir com a Aprendizagem de Máquina.

“Como desenvolver meu App” por meio da frase de treinamento de valor = “Criar aplicativo e ensaiar a apresentação”. Na Figura 58 (d) existe o reconhecimento de padrão da intenção sem a necessidade de aprendizagem de máquina, visto que as sentenças são idênticas.

Figura 58 - Aprendizagem de Máquina no PBL-Tutor



Fonte: assistente inteligente desenvolvido pelo autor

As técnicas de ML demonstram que o sistema inteligente pode aprender novas frases a partir do treinamento em referências existentes. Além dos treinamentos e compreensões de contextos, as técnicas de ML podem moldar os processos de aprendizagem, no sistema inteligente, de acordo com as necessidades do estudante. Essas características consistem em um tema de discussão abordada na próxima subseção (7.4 Inovações de Sistema e Gestão do Diálogo Conversacional) que tratam das inovações implementadas do sistema.

## 7.4 Inovações de Sistema e Gestão do Diálogo Conversacional

Modelar uma arquitetura de ITS funcional em relação aos seus componentes (módulos ou modelos) consiste em um trabalho muito maior do que uma abordagem generalista (BOLZAN; GIRAFFA, 2002). Em teoria, o resultado da arquitetura do protótipo apresenta-se nas bases da fundamentação, em que os modelos indicam limites aos seus componentes. Nas novas tecnologias, na prática, os limites entre os modelos e a participação dos componentes no processo de ensino e aprendizagem compartilham recursos, como no caso do chatbot na presente arquitetura. Por conseguinte, o chatbot está contido na arquitetura do ITS e apresenta aspectos inteligentes presentes nos modelos dos componentes, podendo em determinados momentos: (1) usar as regras e estratégias do modelo especialista (módulo de domínio); (2) interagir e armazenar informações dos estudantes (módulo do estudante); (3) guardar o conhecimento pedagógico (módulo tutorial); (4) desenvolver interações com os alunos (módulo de interface).

As inovações do PBL-Tutor instituídas na arquitetura e na dinâmica de direcionamento de processos relacionam-se diretamente ao ensino adaptativo e à gestão do diálogo conversacional. Para contextualizar a presente subseção, considera-se o uso associado ou integrado das vertentes de IA na Educação, citadas anteriormente: Processamento de Linguagem Natural; *Fuzzy Matching*; Sistemas Especialistas e Aprendizagem de Máquina.

### 7.4.1 Ensino Adaptativo e Personalizado em Percurso Conversacional

Não existe um caminho conversacional linear previamente definido no ITS. A cada nova interação, o estudante pode acessar, de forma alternada, distintos diálogos e conteúdos ofertados no sistema, que é capaz de tratar distintos assuntos sem perder o contexto das intenções do estudante, tais como cada uma das etapas do projeto PBL ou mesmo assuntos técnicos da disciplina. A qualquer instante, o estudante pode falar de uma etapa de projeto, introduzir-se em lógica de programação ou mesmo gerar uma dúvida. Apesar do projeto com metodologia PBL e a disciplina de lógica estabelecerem um roteiro de conteúdo, no Sistema Inteligente não existe uma ordem predeterminada que o ITS irá abordar. O estudante é livre para dialogar com

quaisquer temáticas dentro do escopo de projetos com PBL e os conceitos de lógica de programação.

Para as pesquisas atuais, as proposições nos processos dos ITS's admitem a exploração de caminhos para estabelecer sistemas inteligentes e com características, a cada instante, mais humanas. Para esse fim, pesquisadores exploram os aspectos tutoriais inteligentes para compreender os perfis dos estudantes e planos curriculares adaptativos (YANG, 2012). Como resultado, o PBL-Tutor se propõe a trazer as características implícitas nos ITS's: interações personalizadas e menos intervenções dos professores (COOPER; NAM; SI, 2012).

#### **7.4.2 Múltiplos Chatbots para Gestão do Diálogo Conversacional**

A inovação aplica múltiplos chatbots: um para cada etapa do PBL; um especialista na disciplina e um gerente de processos, responsável por interagir com o estudante de modo a identificar a etapa mais adequada. Mesmo que o estudante entenda que passou por uma determinada etapa, o chatbot continuará explorando as informações para mantê-lo na presente, podendo aconselhar a avançar ou mesmo retroceder etapas e rever conceitos pertinentes.

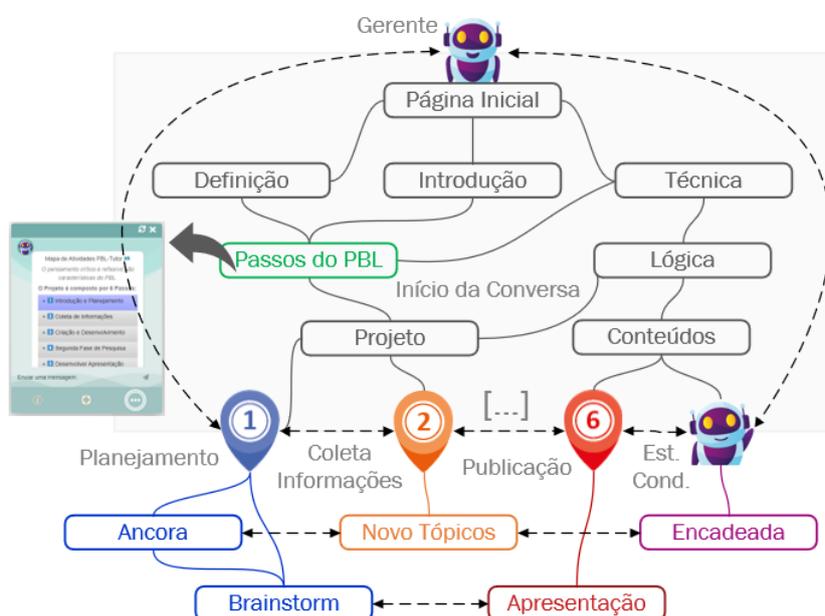
O chatbot gerente representa o primeiro contato com o estudante. A incorporação do gerente resulta na gestão das intenções para identificar as demandas do projeto e associá-las ao passo mais adequado do PBL, ou a identificar as demandas da disciplina. Cada passo do PBL e a disciplina são representados por múltiplos chatbots especialistas. A implementação do chatbot gerente resultou nas funções globais de apresentar/contextualizar o projeto e direcionar o fluxo conversacional para os múltiplos chatbots especialistas de acordo com a intenção do estudante.

A Figura 59 exibe a arquitetura sintetizada do chatbot gerente e chatbots especialistas, com início da conversa na contextualização dos passos do projeto. Observa-se o resultado do conceito da não linearidade no instante em que a conversa não tem início nem nos primeiros ou últimos contextos conversacionais, mas sim em assuntos centrais do chatbot gerente de processos. É uma programação propositalmente implementada com objetivo de estabelecer indicativos para apoiar a compreensão sobre os conhecimentos do estudante no projeto. O

chatbot gerente compreende contextos em páginas de assuntos delimitadas ao seu conhecimento ou direciona os fluxos para os múltiplos chatbots especialistas, ou seja, para qualquer um dos passos do PBL ou para o chatbot de lógica de programação.

O gerente identifica momentos em que o estudante tem o conhecimento dos conceitos ou intenções adiantadas associadas ao projeto. Nessas situações, o gerente detecta a etapa ou conceito mais adequado e encaminha ao chatbot especialista. Os múltiplos chatbots conhecem uns aos outros, em uma rede treinada de IA e podem relacionar os principais fluxos que competem a cada chatbot. No exemplo da Figura 59, o “chatbot de planejamento” (Passo 1) conhece as principais tarefas do “chatbot de coleta de informações” (Passo 2) ou do “chatbot de apresentação” (Passo 6) e assim sucessivamente. Essas inovações corroboram os resultados, para caracterizar o ensino adaptativo e personalizado. O ITS possui as características para se comportar ou moldar a partir das intenções particulares de cada estudante. Diferentemente da problemática apresentada, com AVA’s como repositórios e baixa interação, nesse novo cenário os processos oferecem interações reativas.

Figura 59 - Arquitetura sintetizada múltiplos Chatbots



Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 60 exibe interações diversas entre os chatbots: gerente de processos e especialistas nos passos 1 e 2 do seguinte modo: (1) estudante indica que se encontra na etapa de coleta de dados (intenção similar: #coletaInformações); (2) o chatbot gerente encaminha a

demanda para o chatbot especialista no passo 2; (3) o especialista no passo 2 recebe e apresenta os conceitos para “Coleta de Informações”; (4) o estudante solicita detalhes da atividade de organização e coleta de dados (intenção similar: #organizaçãoColetaInformações); (5) o especialista no passo 2 compreende a intenção e direciona para chatbot especialista no passo 3; (6) o especialista no passo 3 recebe a demanda, localiza em sua base de conhecimentos e apresenta a atividade de “Organização dos Dados”. O resultado sintetiza a inovação com a gestão de direcionamentos dos diálogos entre os múltiplos chatbots que compõem o sistema.

Figura 60 - Fluxos de direcionamentos entre Chatbots Especialistas



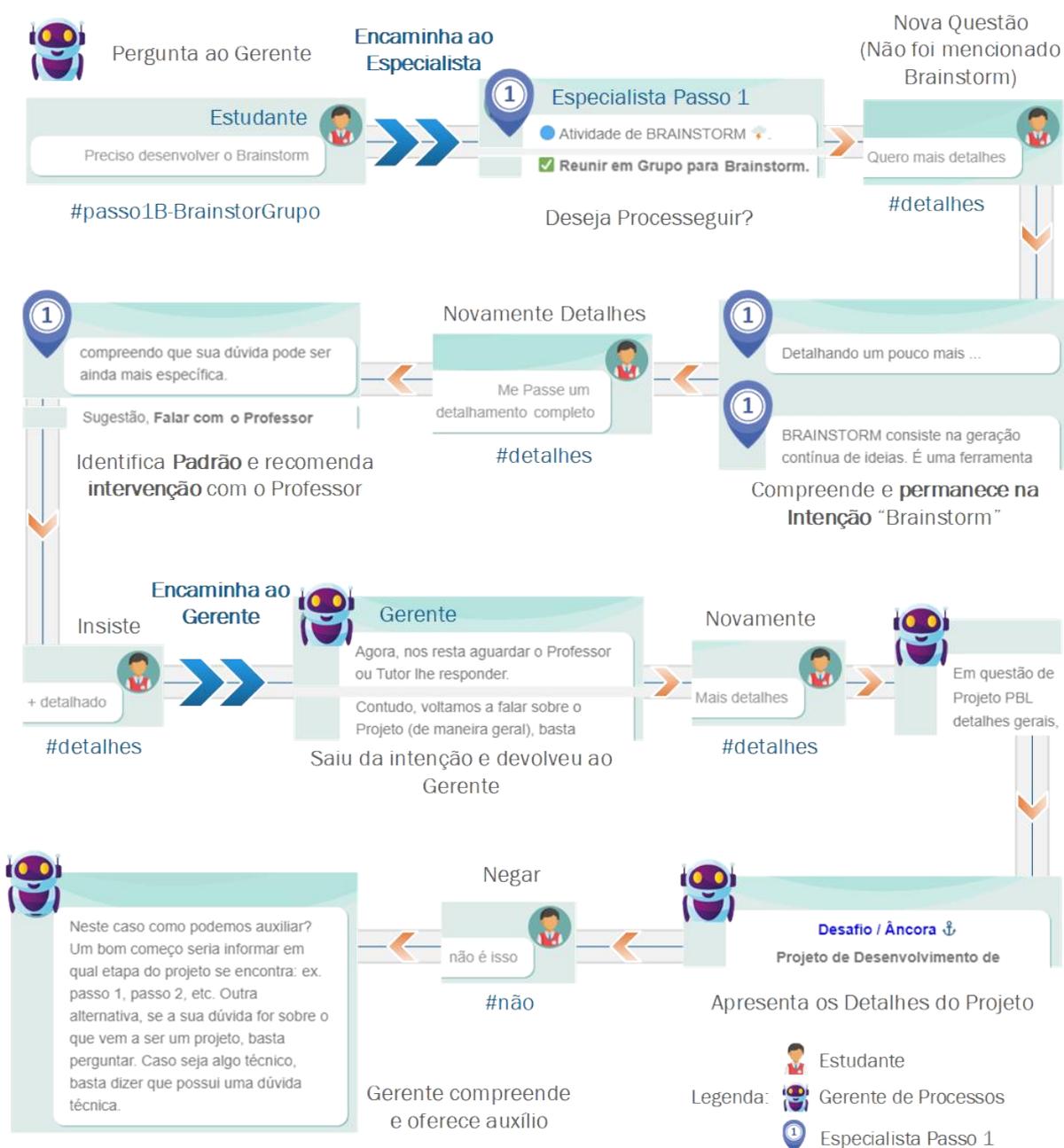
Fonte: assistente inteligente desenvolvido pelo autor

Por outro lado, se o chatbot gerente identificar que o estudante não compreende o PBL ou mesmo não conhece o que vem a ser um projeto, a sua IA pode recomendar voltar aos contextos mais próximos das páginas iniciais e introduzir/definir projetos antes de entrar nos termos do PBL. O mesmo processo pode ocorrer para os múltiplos chatbots. No instante em que detectarem dúvidas ou incerteza em relação aos conceitos apresentados, essas são encaminhadas para o chatbot gerente ou especialistas para novas tentativas de compreensão de intenções.

A Figura 61 sintetiza todos os resultados em que o ITS estabelece uma gestão conversacional sem deixar as intenções de um contexto. No instante em que percebe uma dificuldade, oferece o suporte e encaminhamento ao professor ou tutor responsável. Nesse caso, em que o estudante insiste na intenção, mesmo após a sugestão de intervenção com o professor,

o chatbot especialista devolve a requisição de intenção ao chatbot gerente. Essa medida visa novas tentativas para compreender as intenções; contudo, na perspectiva do gerente. Mais “detalhes”, na visão do gerente, é compreendida como detalhes “gerais do projeto”, como a apresentação do desafio e questão orientadora. No instante em que o estudante nega a intenção, o gerente associa e oferece novas possibilidades de apoio nas orientações do projeto.

Figura 61 - Sintetização do uso de vertentes de IA no sistema



Fonte: assistente inteligente desenvolvido pelo autor

A interação apresentada na Figura 61 é composta pelo resultado do uso de todas as vertentes de IA (relacionadas no desenvolvimento): Processamento de Linguagem Natural (NPL); *Fuzzy Matching*; Sistemas Especialistas (ES); Aprendizagem de Máquina (ML) associada a inovações da arquitetura com múltiplos assistentes inteligentes integrados com um gerente de processos e chatbots especialistas: no projeto PBL e na disciplina de lógica.

### 7.4.3 Arquitetura Modular para Novos Projetos e a Interdisciplinaridade

A característica modular do protótipo permite adição ou remoção de módulos, apropriadamente programados<sup>52</sup>; por exemplo, pode-se promover a inserção de novas disciplinas ou projetos. O PBL-Tutor foi desenvolvido para demonstrar uma estrutura com projeto de lógica de programação da área da computação. Contudo, sua arquitetura modular foi projetada para admitir projetos em distintas áreas do conhecimento ou mesmo em contextos interdisciplinares. Para comportar novos desafios de projetos, são inseridos módulos como aqueles relacionados à base de conhecimento específico e conceitos da nova proposta de disciplina a ser trabalhada. Nesse contexto, é possível alterar a dinâmica de projeto no sistema PBL-Tutor (Figura 62<sup>53</sup>).

A Figura 62 apresenta um projeto com desafio no cenário de uma determinada praia interditada por poluição. Altera-se, também, a disciplina para “Matemática” com questão motriz em: “Como desenvolver modelos matemáticos para diminuir o impacto da poluição no local?”. O exemplo da Figura 62 demonstra a inserção de módulos singulares à nova dinâmica de projeto na disciplina de “Matemática”. Os módulos (cinza claro) representam as novas inserções ou programações de sistema, particulares ao processo de pesquisa e desenvolvimento da nova temática de domínio. Os módulos (cor verde) permanecem inalterados, considerando

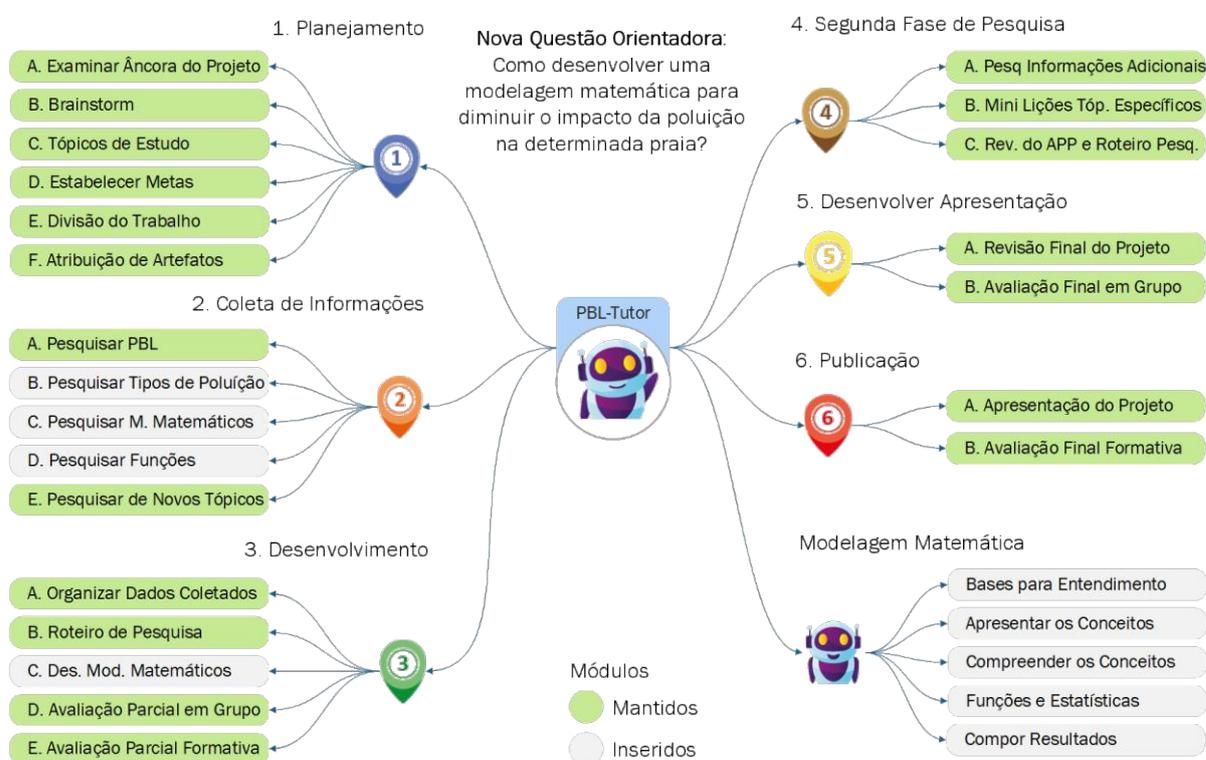
---

<sup>52</sup> Destaca-se a característica de concepção de projeto, e esses módulos podem ser programados no ITS. Ainda não existe uma interface intuitiva *web* ou um sistema para essa finalidade, e trabalhos futuros são sugeridos para o desenvolvimento de interfaces *user friendly* (amigável aos professores e tutores), que propicie fáceis alterações para novas disciplinas e projetos.

<sup>53</sup> A Figura 62 pode ser comparada à Figura 35, exibida no capítulo de desenvolvimento, com o objetivo de visualizar: módulos que deixam a arquitetura (lógica programação); novos módulos inseridos (matemática); os módulos mantidos (orientações globais de Projetos PBL).

as suas funções de orientações globais dos passos do PBL que podem ser aplicadas à distintas áreas do conhecimento.

Figura 62 - Demonstração da arquitetura modular do PBL-Tutor



Fonte: elaborado pelo autor

## 7.5 Case de Projeto no PBL-Tutor

O presente estudo recorreu à metodologia da Aprendizagem Baseada em Projetos para estabelecer um Case de Projeto para ser associado ao Sistema de Tutoria Inteligente e Interativo. Com função em relacionar métodos e estratégias para apoiar os estudantes no desenvolvimento de um projeto e, assim, possam compreender os conceitos em um escopo de lógica de programação. Seu objetivo associa-se à metodologia ativa do PBL, para que o estudante possa construir seu conhecimento por meio da investigação do desafio apresentado no projeto (BENDER, 2014; BUCK INSTITUTE, 2021). Nesse contexto, o case tem a finalidade de enfatizar o papel de protagonista do estudante no desenvolvimento do projeto. A Tabela 17 apresenta o case de projeto: “Desenvolvimento de aplicativo para o descarte solidário”.

Tabela 17 - Case: Desenvolvimento de Aplicação para Descarte Solidário

<b>Tópicos PBL</b>	<b>Inferências</b>	<b>Apresentação</b>
Âncora de Projeto Desafio	Fundamenta o ensino em um ambiente real. Gerar engajamento e reflexões entre os estudantes. A apresentação deve ser atrativa e os estudantes devem visualizar o sentido de aprender (BENDER, 2014; GRANT, 2002; LARMER; MERGENDOLLER, 2010).	Projeto: Desenvolvimento de Aplicativo para o Descarte Solidário.  Projeto estruturado para ser desenvolvido nas turmas dos cursos técnicos e superiores na computação, disciplina de lógica de programação, para envolver conceitos de estruturas condicionais.  Um produto que deixará de ser utilizado por algum motivo e será descartado. O descarte desse produto deve atribuir as suas condições: boa; média; ruim; etc. O produto pode ser classificado como lixo eletrônico, sem condições de aproveitamento, devendo ser adequadamente descartado.
Questão Motriz Orientadora	Questão principal, que fornece o desafio geral ou meta declarada para o projeto PBL (GRANT, 2002; LARMER; MERGENDOLLER, 2010).	Âncora: Como podemos desenvolver um APP Descarte Solidário que utilize as Estruturas Condicionais de Lógica de Programação?  Principal foco na experiência com a Aprendizagem Baseada em Projetos.
Tarefas a serem cumpridas	Os estudantes devem trabalhar em grupos e individualmente para cumprir as tarefas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conhecer o que vem a ser um projeto (PBL);</li> <li>- Cumprir todas as etapas (passos) do projeto;</li> <li>- Pesquisar os tipos de descarte que envolvem o projeto</li> <li>- Pesquisar sobre as estruturas condicionais;</li> <li>- Pesquisar sobre o APP Inventor ou similar;</li> <li>- Desenvolver um APP de descarte solidário que envolva conceitos das estruturas condicionais de lógica de programação.</li> </ul>
Recursos	Itens que irão contribuir para o desenvolvimento do projeto. Estudantes precisarão obter acesso aos seguintes recursos:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Atividade de Projeto de Descarte solidário AVA;</li> <li>- Salas de discussão em grupo;</li> <li>- Editores de texto <i>online</i> para criação de textos compartilhados;</li> <li>- APP Inventor ou similares;</li> <li>- Biblioteca virtual institucional;</li> <li>- Internet para pesquisas diversas.</li> </ul>
Artefatos	Itens criados ao longo da realização do projeto e que representam as possíveis soluções ao desafio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 relatório curto que aborde as questões internas do projeto (pesquisas: tipos de descarte; estruturas condicionais; APP Inventor ou similar)</li> <li>- Apresentação PowerPoint ou vídeo que resuma o projeto;</li> <li>- Apresentação / Publicação do APP de descarte solidário.</li> </ul>

Fonte: elaborado pelo autor

Após a apresentação dos resultados com o desenvolvimento de um ITS, nas vertentes de IA na Educação, com inovações como os múltiplos chatbots incorporados ao case de projeto, as próximas seções relacionam os benefícios e obstáculos associados ao PBL e sistema.

## 7.6 Em Relação aos Benefícios Associados ao PBL

Ao longo do referencial teórico do PBL, evidenciam-se as propriedades que a metodologia possui de envolver os estudantes em situações para criação de projetos. Assim como demonstrado no case, o desafio gerado precisa engajar o estudante no trabalho de desenvolvimento do projeto (BUCK INSTITUTE, 2021).

A ancoragem e a questão motriz utilizadas para estruturar o case do projeto PBL compreendem um ambiente do mundo real. O projeto real torna o ensino e a aprendizagem mais relevante para o estudante. Esse elemento, associado à voz ativa e ao poder de decisão dos estudantes, tende a expandir os aspectos relacionados ao envolvimento acadêmico, interesse e a motivação (BENDER, 2014). Nesse contexto, o PBL envolve os estudantes nos conceitos fundamentais da disciplina de lógica de programação.

O PBL é considerado superior aos métodos de ensino tradicionais por envolver os estudantes em sua aprendizagem, destacando o pensamento crítico e reflexivo para desenvolver os projetos (BERENDS; BOERSMA; WEGGEMAN, 2003). O desenvolvimento do projeto por meio das reflexões e do pensamento crítico estão associadas a uma aprendizagem profunda (*Deep Learning*) (BENDER, 2014; GRANT, 2002). O PBL aprofunda os conceitos que são exigidos para trabalhar com projetos (BARELL, 2010; GRANT, 2002). Em uma posição ativa de investigação, os estudantes tendem a empenhar-se nas atividades do projeto de modo a relacionar os conceitos e a desenvolver a aplicação de modo crítico (MOURSUND, 1999).

A abordagem do PBL demanda a exploração e a constante revisão dos conceitos. No entanto, em muitos casos, as atividades que compõem o projeto podem aproveitar conceitos pré-estabelecidos. Em todas as situações, o professor tem perspectivas de planejar momentos com atividades profundas. Esse planejamento visa trabalhar novos conceitos com os estudantes e, assim, criar compreensões para desenvolver ou complementar os produtos ou artefatos do projeto (LARMER; ROSS; MERGENDOLLER, 2009).

As experiências com o PBL apresentam maiores taxas de retenção das informações. Muitas dessas experiências estão associadas à aplicação de modelos de atividades de modo diversificado daquelas desenvolvidas no ensino tradicional. Os modelos de atividades abrem espaços criativos, como o *brainstorm* (BARELL, 2010; BUCK INSTITUTE, 2021). “O

*brainstorming* representa a capacidade do grupo de pensar coletivamente por meio de uma tarefa do PBL” (BENDER, 2014, p. 109).

As dinâmicas dos trabalhos colaborativos e individuais demandam planejamento e abrem espaços para distintas abordagens de desenvolvimento como: momentos de colaboração em grupos cooperativos de trabalho; criar equipes no próprio grupo; tarefas executadas em pares; as pesquisas individuais. Nessas dinâmicas, são aplicadas responsabilidades coletivas e individuais dentro do projeto. Dentre as responsabilidades, os estudantes vivem experiências como assumir papéis (como o de gerente de projeto), lidam com aspectos de comunicação e desenvolvem até o desenvolvimento dos processos de autogestão do projeto (HAMIDAH et al., 2020). Esses aspectos contribuem para estipular as metas e estratégias de resposta ao desafio do projeto.

Pesquisas com o PBL expandem a utilização de estratégias eficientes para responder aos desafios. Essas estratégias de resolução têm demonstrado ser eficazes para trabalhar distintas áreas do conhecimento como: matemática; ciência, economia; história; etc. (BENDER, 2014). Além das distintas áreas do conhecimento, o PBL admite contextos interdisciplinares.

O presente trabalho concentra-se na disciplina de lógica de programação, em um recorte dos conceitos das estruturas condicionais. Contudo, a temática do case de projeto, “Descarte Solidário”, tem condições de agregar distintas disciplinas dentro da própria computação e, também, de se estender a outras áreas do conhecimento. O contexto em que o case foi elaborado permite trabalhar distintas habilidades no escopo do projeto.

O PBL estimula o desenvolvimento de distintas habilidades de resolução de desafios no projeto. A utilização do PBL compreende a expansão da exploração do uso das tecnologias de ensino por parte dos estudantes. Essa exploração contribui para desenvolver as habilidades de estudo e aplicação das novas tecnologias presentes no século XXI (BARELL, 2010). Contextualizado alguns benefícios, a próxima seção apresenta alguns obstáculos associados à implementação do PBL.

## 7.7 Em Relação aos Obstáculos Associados ao PBL

Existem obstáculos relacionados à complexidade para definição de projetos com escopo adequado e balanceado em relação ao nível de dificuldade apropriado para a turma (PAN et al., 2020). Além da complexidade de definição, os projetos devem conter desafios significativos e comportar os aspectos motivadores para engajar os estudantes. Associado à definição do projeto, existe o trabalho contínuo para seleção de abordagens apropriadas para caracterizar a exploração dos conceitos e os tipos de avaliações (MOURSUND, 1999). Com a caracterização do projeto, o método do PBL designa novos papéis aos professores e estudantes.

Resultados de pesquisas indicam que um dos principais obstáculos para a adoção PBL relacionam-se à “falta de compreensão por parte de professores e alunos sobre os papéis que devem desempenhar no processo de aprendizagem” (PAN et al., 2020, p. 109). Pan (2020) relata o conflito de papéis nessa mudança de responsabilidades, tanto para professores quanto para estudantes, levando a incertezas nos ambientes administrados com o PBL.

Na visão do professor, os obstáculos associam-se à dedicação de considerável tempo para planejar e preparar o projeto e à própria capacitação para formação de professores ou tutores para o PBL (BAGHOUSI; ZOUBIDA EL OUCHDI, 2019). Compartilhada na visão entre professores e estudantes, encontram-se a definição e gestão dos grupos colaborativos de trabalho. A seleção inadequada ou conflitos dentro da equipe consistem em barreiras na implementação de um projeto. Na visão do estudante, existem dificuldades como assimilar as questões científicas significativas e gerenciar o tempo dedicado a cada uma das atividades do projeto (MOURSUND, 1999; PAN et al., 2020).

Existem alguns obstáculos característicos na aprendizagem *online* (EAD): (1) a gestão na plataforma de elevados números de discussões ou reuniões em grupo ou individuais configuram disponibilidade e demandam elevado tempo entre os estudantes, professores e tutores; (2) a acumulação de demandas de orientação e suporte aos conceitos da implementação de uma metodologia distinta da tradicional refletem sobrecargas; (3) geralmente, a comunicação utiliza uma base predominantemente escrita, com menos oportunidades para outras linguagens como oral ou corporal (MURRAY, 1999).

## **7.8 Em Relação aos Benefícios do ITS Interativo com o PBL**

O sistema tem como objetivo potencializar os benefícios do PBL e a concepção do protótipo como plataforma de projetos permite divulgar essa metodologia. Apresenta-se o PBL de modo mais claro em uma plataforma *web* interativa, evidenciando oportunidades de explorar caminhos no projeto. Os benefícios relacionam o ITS interativo para promover o PBL com inovações nas dinâmicas de projetos. O protótipo aproxima-se ao discurso das novas tecnologias interativas disponíveis aos estudantes com “expressão por meio de percursos não lineares e associativos de representação” (MATTAR, 2010, p. 13). O sistema explora as múltiplas mídias com o objetivo de facilitar a compreensão dos processos de desenvolvimento de projetos.

O estilo de ensino e aprendizagem do novo milênio admite a fluência em múltiplas mídias, em um aprendizado baseado na experiência que incluem oportunidades para reflexão das práticas. Admitem experiências para um aprendizado personalizado para atender as necessidades e preferências individuais (MATTAR, 2010). O protótipo relaciona as características do PBL (nas experiências em desenvolver projetos reais ou simulados) às explorações das tecnologias educacionais com base na IA para encontrar novas oportunidades de forma a atender as demandas desse novo estilo de ensino e aprendizagem (MATTAR, 2010).

O protótipo evidencia a IA na Educação como significativo meio para desenvolver processos de apoio às aprendizagens adaptativas e personalizadas, de modo a proporcionar caminhos para que os estudantes possam conquistar os objetivos educacionais (QUALLS, 2017). A próxima subseção apresenta alguns diferenciais do protótipo em relação ao visto nas pesquisas correlatas.

### **7.8.1 Diferenciais em Relação aos Trabalhos Correlatos**

Os trabalhos correlatos apresentam algumas soluções para relacionar os benefícios entre a interatividade e o PBL como: a proposição de modelos conceituais de plataformas para o PBL, sem entrar no desenvolvimento de sistema ou associação aos chatbots (CHIKURTEVA; CHIKURTEV, 2020); apresentação de uma arquitetura e do desenvolvimento de uma

plataforma interativa com PBL sem entrar nos aspectos da IA ou integrações com AVA's (CHIKURTEVA; SPASOVA; BOGDANOV, 2021).

O trabalho proposto por Beaumont, Norton e Tawfik (2011) se aproxima do conceito, mas se distancia na metodologia base, com adoção da aprendizagem baseada em problemas (não projetos). O desenvolvimento compreende técnicas sem uma arquitetura com gerenciamento do fluxo de processos conversacionais. A característica híbrida do sistema é predominantemente baseada em regras de entrada em língua natural (sem a menção de ML em módulos especializados), ou seja, utiliza menos IA e os recursos são centrados no NLP.

Ao se analisar as pesquisas, observou-se a ausência de recursos determinantes para enquadrar o uso da IA integrada em plataformas para apoiar projetos. Exatamente nesse espaço se posiciona o protótipo PBL-Tutor, nas explorações integradas das principais vertentes de IA na Educação: NPL; ES e ML para apoiar a orientação de projetos.

Neste contexto, o trabalho associa alguns benefícios técnicos. O PBL-Tutor possui inovações não detectadas em outros sistemas ou protótipos relacionados. Contribuições técnicas do projeto remetem à criação de uma arquitetura singular ao método PBL e ao desenvolvimento de um protótipo de sistema (não apenas modelos). A arquitetura cria um assistente gerente do fluxo de processos entre os assistentes especialistas do PBL e da disciplina. Na arquitetura existe, também, a questão modular, de modo a permitir a inserção de novos módulos programáveis para tratar novos projetos e disciplinas. Essa questão está associada às perspectivas de projetos interdisciplinares.

Outros fatores relacionam o desenvolvimento do protótipo em plataformas inteligentes estabelecidas em grandes nuvens. Esse fato corrobora a acessibilidade e continuidade a partir de um desenvolvimento colaborativo e com diversas possibilidades de integrações. A própria API utilizada permite suporte para outras plataformas (como Facebook).

### **7.8.2 Assistentes Especializados e Orientações Personalizadas**

Os assistentes inteligentes especialistas em projetos PBL e na disciplina de lógica de programação estão disponíveis para diálogos conversacionais. O PBL-Tutor sugere uma

proposta diversificada aos modelos observados que, geralmente, tratam contextos lineares nas orientações. O assistente inteligente trabalha em contextos não lineares, permitindo estabelecer diálogos conversacionais de acordo com o interesse dos estudantes dentro de um escopo.

O sistema identifica os interesses de cada aluno e os associa ao objetivo de ensino para proporcionar uma aprendizagem mais efetiva e personalizada. A cada nova interação, dados são processados na base de conhecimento especialista, possibilitando gerar orientações dinâmicas em distintas etapas do projeto PBL. Diferentes orientações podem ser geradas para um mesmo contexto, considerando a análise da IA para critérios como o histórico ou desempenho das interações.

Em relação à complexidade do ensino do currículo de lógica de programação, consideram-se os desafios destacados por educadores em relação ao alto nível de abstração necessário para compreensão dos conceitos da disciplina (SCHEZ-SOBRINO et al., 2020). Para responder a esses desafios e apoiar o professor, a tecnologia dos sistemas especializados tem potencial para apresentar distintas abordagens de interações. Além das dinâmicas para apresentação de conceitos, os sistemas especializados podem relacionar os conteúdos e recursos disponíveis da plataforma interativa e do AVA, incluindo as multimídias.

O assistente fomenta interações com os estudantes para possibilitar a ampliação das capacidades de apoio inteligente. São desenvolvidas análises com as vertentes da IA durante as interações. Essas análises permitem que o sistema aprenda de acordo com os padrões destacados nas bases de conhecimento, de modo mais detalhado, adaptativo, personalizado e em conformidade com os objetivos e competências do currículo. O resultado das análises, também, define percursos de aprendizagem.

O ambiente admite elementos de controle com percursos e ritmos de aprendizagens. O ensino é moldado conforme as necessidades de cada estudante. O assistente analisa as interações individualmente e busca (com IA) compreender as demandas para oferecer orientações personalizadas. Possibilita intervenções como ajustar o ritmo de aprendizagem, podendo avançar ou mesmo voltar etapas e sugerir novas apresentações de conceitos. O assistente poderá reformular, de acordo com sua base conhecimento, uma determinada orientação para criar oportunidades de viabilizar a compreensão do estudante.

Mesmo se tratando de um sistema especialista, pode haver a possibilidade da inexistência da resposta ou orientação na base de conhecimento. Nesse caso, o sistema mobiliza a intervenção do professor ou tutor, com possibilidades de disponibilizar informações, como a etapa do processo em que o estudante se encontra ou o seu histórico de interações.

Os assistentes especialistas desenvolvem análises para oferecer distintas orientações: no projeto PBL; na disciplina; nas etapas; nas atividades; no ambiente; nos recursos de aprendizagem; nos trabalhos em grupo e individual. Ao longo do percurso PBL, os assistentes sugerem discussões, avaliações formativas, revisões e reflexões de projeto.

### **7.8.3 Capacidade de Atendimento e Disponibilidade de *Feedbacks***

O protótipo visa aumentar a capacidade de atender as demandas dos estudantes. Todos os estudantes da disciplina poderiam enviar distintas demandas simultâneas ao sistema, que suporta o recebimento das demandas e cria uma seção singular de atendimento para cada estudante. Cada nova seção representa um assistente inteligente singular para desenvolver as interações. As seções de interações são independentes e permitem que, simultaneamente, distintas seções tratem diferentes assuntos, ou seja, enquanto um estudante demanda questões de projeto, outro demanda conceitos de lógica de programação.

O protótipo tem disponibilidade de *feedback online*, a qualquer instante, podendo evitar atrasos e influências na diminuição da motivação dos estudantes (sua disponibilidade é similar a outros serviços acessados na nuvem, como e-mail ou armazenamento, que o estudante acessa a qualquer momento). O *feedback* imediato apoia um dos obstáculos citados no trabalho, associado ao fato dos professores ou tutores nem sempre estarem disponíveis. Em instituições como IFSP ou UNIVESP, os professores ou tutores devem oferecer os *feedbacks* a partir de um determinado tempo em relação à demanda do estudante. Nessas situações, os assistentes podem oferecer as primeiras interações e procurar compreender a demanda de modo imediato. Na compreensão, o sistema devolve o *feedback* sem a intervenção do professor, liberando o tempo dele para outras atividades de projeto. Na incompreensão, o sistema encaminha o estudante ao professor, que conta com as possibilidades de acessar o histórico de interação com estudante.

A capacidade de atender grandes volumes de demandas de modo simultâneo, a qualquer momento e com *feedback* imediato, consiste em benefícios considerados ao se projetar sistemas ITS's. A próxima subseção trata da interface e interatividade na plataforma.

#### 7.8.4 Interface e Interatividade na Plataforma

As estruturas tradicionais das salas de aulas (não presencial, semipresencial ou presencial) com estudantes espectadores diante de um professor especialista devem ser modificadas. As novas tecnologias educacionais contribuem para a criação de espaços para apoiar a construção do conhecimento. O modelo de referência de interface de apresentação de conteúdo deve levar em conta as necessidades dos estudantes (MOZZAQUATRO; MEDINA, 2008; OKADA; O., 2003). O protótipo considera essas necessidades com uma proposta de apresentação de uma interface amigável, para facilitar a usabilidade e diminuir os processos exaustivos das buscas e dos acessos às informações pelos estudantes.

O levantamento realizado nas plataformas IFSP e UNIVESP destacou a qualidade do conteúdo pedagógico apresentado nas disciplinas de lógica de programação. Esse fator relaciona-se à qualidade do planejamento da arquitetura da informação<sup>54</sup> apresentada nas plataformas. Para o modelo de interface, o ITS pode ser usado como um sistema para potencializar a localização de materiais já dispostos na plataforma para apoio e, conseqüentemente, na condução do estudante ao longo projeto. O método de organização das informações detectado nas plataformas diversifica, ainda mais, as possibilidades de atuação do ITS.

Essa potencialização poderia ser retratada no instante em que o aluno demanda detalhes conceituais de domínio da disciplina. Além de utilizar a base de conhecimento especialista do ITS, o PBL-Tutor disponibiliza *links* complementares da disciplina no AVA ou externos à plataforma. Na UNIVESP, com possibilidades de sugestões de materiais compartilhados no

---

<sup>54</sup> Em abrangência, essa arquitetura mostra aos estudantes onde encontrar a informação na plataforma, define sua organização e caminhos de navegação, auxilia a localização por meio *links* aos conteúdos de apoio ao projeto.

REA<sup>55</sup> (Recurso Educacional Aberto); no IFSP, com possibilidades de sugestões de materiais compartilhados na plataforma de Curso *Online* Aberto e Massivo (MOOC<sup>56</sup>).

A apresentação do sistema está associada a uma interface que evidencia os percursos pedagógicos do PBL de modo claro. Adotou-se um infográfico de *roadmap* com elementos interativos e integrados ao assistente inteligente. O *roadmap* consiste em inovações do ITS interativo associado ao AVA para a apresentação do desafio e das etapas do PBL. O ambiente foi planejado para disponibilizar os recursos em uma plataforma singular ao projeto, em que o estudante pudesse estar focado em seu desenvolvimento.

### 7.8.5 Vantagens Tecnológicas das Integrações

Prospectando a aplicabilidade do Sistema de Tutoria Inteligente e interativo para PBL, deve haver um Ambiente Virtual de Aprendizagem para prover essa intersecção. Nesse contexto, o ITS associa-se ao AVA para obter as vantagens tecnológicas síncronas e assíncronas presentes no ambiente como: identidade de acesso dos estudantes (*login*); perfil; disciplinas; chats da disciplina; chats de grupos; videoconferências; *lives*; fóruns; *webmails*; diários; editores colaborativos etc.

Eventualmente, de acordo com a necessidade, utilizar os serviços presentes no AVA para estabelecer relações ao ITS, como a identificação do estudante. A identificação (*login*) permite, por exemplo, recuperar o histórico e estabelecer marcos específicos de suporte de acordo com as interações. Na exploração do ambiente, o ITS poderá sugerir recursos cadastrados no AVA ou na disciplina (exemplos: livros da biblioteca digital, videoaulas ou *podcasts*) como mais uma forma de apoio para oferecer subsídios para resolver um determinado desafio.

---

<sup>55</sup> A UNIVESP comporta o REA (Recurso Educacional Aberto) contendo materiais de ensino, aprendizado e pesquisa em qualquer suporte ou mídia, que estão sob domínio público. O objetivo do REA consiste em proporcionar a melhor experiência de aprendizagem para o aluno e fazer com que ele compreenda e retenha o conteúdo trabalhado da melhor maneira. ITS PBL-Tutor poderá recomendar REA. Fonte: <https://apps.univesp.br>

<sup>56</sup> O MOOC com “Lógica de Programação” é ofertado no IFSP em parceria com o Instituto TIM, plataforma TIM Tec. Pode ser utilizado como sugestão de conteúdo externo ao AVA: <https://mooc.ifsp.edu.br/pages/about>; plataforma TIM Tec <https://cursos.timtec.com.br/course/logicadeprogramacao/intro>

## 8 Conclusão

No instante em que se estipula um desafio nas abordagens do PBL, o protótipo de sistema inteligente apresenta propostas para que o estudante possa ir além de obter orientações de apoio que são geralmente concedidas durante um determinado percurso pedagógico. O protótipo apresenta condições de interação de modo a estimular que o estudante elabore frases para desenvolver diálogos em busca de caminhos para resolver o desafio proposto. Os diálogos representam as formulações das perguntas e respostas de acordo com a necessidade do estudante ou conforme a análise da base de conhecimento do sistema especialista inteligente. Esses diálogos, entre os estudantes e o protótipo inteligente, pretendem destacar associações entre os processos com a língua natural, o aprendizado de máquina e o modelo de base de conhecimento especialista para determinar, a cada interação, que o sistema possa desenvolver novos conceitos para atender às necessidades de orientações adaptativas e personalizadas.

Evidencia-se que o ITS se apresenta como um modelo de transformação do ambiente de ensino tradicional. Suas referências englobam um ensino adaptativo e personalizado que comporta as tecnologias das principais vertentes de IA na educação para orientação de projetos em cursos técnicos e superiores na modalidade de aprendizagem *online* (EAD).

Para desenvolver esse ambiente propício para envolver os estudantes e exercer as interações esperadas, tornou-se pertinente a proposição de um bom desafio a ser resolvido e a adequada associação com a tecnologia de programação do sistema inteligente. No aspecto que tange a elaboração de um desafio, o PBL se apresenta como uma metodologia com princípios construtivistas amplamente utilizada, centrada no estudante, que possui o desafio como um componente fundamental para guiar a construção do conhecimento a partir de elementos que propiciem a reflexão (BENDER, 2014; BUCK INSTITUTE, 2021).

As propriedades do PBL permitem a decomposição em passos distintos para criar bases específicas e estruturas de informações para resolver os desafios. Nessa metodologia, o estudante trabalha como protagonista, havendo momentos para exercer estudos individuais, estipulados ao longo dos passos do PBL e, também, compor discussões em grupos, incluindo a participação de professores ou tutores, objetivando elucidar as necessidades para instituir possíveis soluções (LARMER; ROSS; MERGENDOLLER, 2009; MOURSUND, 1999).

No contexto do PBL, surge o protótipo PBL-Tutor, com o propósito de associar uma metodologia a um percurso de aprendizagem pertinente, pautado em uma arquitetura inovadora, com as tecnologias provindas da Inteligência Artificial. O protótipo tem por objetivo delimitar um ambiente que se preocupe com todo o percurso formativo, desde a relevância do desafio apresentado, passando pelas boas práticas na aplicação da metodologia, até o estabelecimento das bases para inserir as tecnologias inteligentes. A partir desses fatores, vale desatacar que o protótipo não se limita apenas aos aspectos tecnológicos de uma arquitetura ou engenharia de *software* de sistema. Pretende-se ir além, em um arcabouço com cumprimento dos requisitos para determinar percursos de aprendizagens. Inicialmente, para currículos de lógica de programação, mas que seja expansível a outras áreas, a partir de modificações ou ajustes das variáveis chaves definidas às propostas dos desafios.

Antes de abordar os requisitos específicos à arquitetura, mesmo a interface sendo parte integrante da engenharia de desenvolvimento de *software*, o protótipo ressalta a importância do “modelo de interface” (módulo ou componente de interface), como fonte inicial de contato e interação com o estudante. Neste, foram delimitados aspectos para uma apresentação clara do desafio que se deseja estabelecer ao estudante. Por meio da interface de apresentação, construída com elementos que possam propiciar reflexões para o desafio, foram estabelecidos os modelos mentais para permitir a compreensão do objetivo em relação ao percurso determinado. A partir das interações, estabelecidas em ambientes de aprendizagem *online*, o cerne do protótipo apresenta-se sob a ótica do Sistema de Tutoria Inteligente (ITS) incorporado em um chatbot e associado a uma plataforma interativa.

Para estabelecer a tecnologia do ITS, desenvolveu-se um levantamento para compreender os estudos e caminhos da Inteligência Artificial na Educação (IAED). Em perspectiva, o estudo envolveu o método bibliométrico e análise temática, a partir da base constituída por periódicos de alto impacto (*Web of Science*). O resultado do levantamento das incidências e tendências para os caminhos na IAED apontou a tecnologia dos ITS's como a principal vertente de publicações científicas e aplicações da IA na Educação (TAVARES; MEIRA; AMARAL, 2020). Esse resultado justificou a seleção do ITS como tecnologia de IAED para compor o protótipo PBL-Tutor. Posteriormente, o referencial teórico investigado para o ITS apresentou o Sistema de Chatbot Inteligente (Assistente Inteligente) como promissor recurso, que foi incorporado para apoiar a tutoria junto a abordagem do PBL.

O assistente trabalha como um tutor inteligente para apoiar a condução e a orientação do percurso de aprendizagem para o desafio de lógica de programação. O protótipo do sistema de chatbot inteligente teve origem nas composições clássicas de arquiteturas para Sistemas de Tutoria Inteligentes, desenvolvidas nos modelos: domínio; estudante; tutorial e interface. Englobou, também, as inspirações contemporâneas nas determinações de múltiplos assistentes especializados, com base em suas propriedades e capacidades técnicas. Essas determinações consolidaram os aspectos de inovação, aplicados em associação ao gerenciamento desse conjunto de elementos inteligentes em situações com a abordagem do PBL.

Portanto, o trabalho inova em tecnologia e arquitetura do ITS ao apresentar a decomposição em assistentes inteligentes para cada passo do processo do PBL. Como resultado, o sistema apresenta múltiplos chatbots inteligentes e específicos, um para cada um dos 6 (seis) passos do PBL, um especialista nos conceitos de lógica de programação e um gerente. O gerente de fluxo de processos é responsável por coordenar as interações com os estudantes e acionar as especialidades dos demais chatbots, quando necessário. O gerente analisa as interações com os estudantes e compõe respostas e direcionamentos aos chatbots especialistas de cada passo do PBL ou na especialidade de lógica de programação. Ainda, a partir da análise das interações, o gerente pode indicar o prosseguimento nas etapas posteriores do PBL ou mesmo retroceder a anteriores com finalidades de revistar conhecimentos prévios ou destacar informações pertinentes. Dessa forma, o chatbot atua como um suporte de orientação nas etapas do PBL.

O conjunto de chatbots integrados integra-se ao Sistema de Tutoria Inteligente e Interativo para disponibilizar apoio e orientações de acordo com o percurso e as necessidades dos estudantes. O estudante não tem a percepção da complexa modelagem e prototipagem de desenvolvimento da programação que provê as integrações a cada etapa do processo do PBL. Sua visão associa-se ao seu Ambiente Virtual de Aprendizagem e à plataforma interativa, com um desafio em uma interface que disponibiliza recursos como o mapeamento do problema e o assistente inteligente que apresenta informações para desenvolver as interações. Além do assistente, o protótipo traz aspectos para privilegiar a exploração das tecnologias presentes no AVA como: a sugestão de materiais de estudos (livros, vídeos etc.) que apoiem a compreensão do problema; privilegiar as pautas do PBL ao recomendar discussões no AVA (chats, fóruns etc.) em grupo, com professor ou o tutor.

Na determinação do protótipo, destaca-se um ambiente propício para se trabalhar com o PBL e as tecnologias da Inteligência Artificial. O sistema desenvolve as orientações de apoio com base nas tendências da IA na educação a partir das vertentes dos sistemas especialistas, da aprendizagem de máquina e das interações com processamento de linguagem natural. A partir das incidências das interações, o sistema terá condições de aprender com situações inéditas e criar concepções de apoio para determinar as orientações. A arquitetura do protótipo destaca os múltiplos chatbots para definir otimizações coordenadas por um gerente aos assistentes especialistas de acordo com os passos do PBL. Essa integração entre os caminhos da IA na educação e uma arquitetura de desenvolvimento inovadora permite apresentar um protótipo ITS interativo com soluções adaptativas e personalizadas para as novas perspectivas que orientam as necessidades dos estudantes.

## **8.1 Trabalhos Futuros**

O presente trabalho considera que a constituição de trabalhos futuros poderia contribuir para gerar reflexões em investigações de naturezas técnicas e pedagógicas. As sugestões de naturezas técnicas estão relacionadas à expansão das funcionalidades e usabilidade do protótipo do sistema inteligente, para aprimorar a experiência de criação de novos projetos e disciplinas. As sugestões de naturezas pedagógicas implicam um estudo de campo para avaliar as percepções do uso da IA do Sistema de Tutoria Inteligente e plataforma interativa para trabalhar os desafios propostos nos projetos.

### **8.1.1 Interfaces para Publicação de novos Projetos e Disciplinas**

A característica da estrutura do Sistema de Tutoria Inteligente e Interativo (PBL-Tutor) permite trabalhar distintas áreas do conhecimento, além do case de projeto de lógica de programação. Professores de matemática, pedagogia ou química podem determinar projetos com PBL e conteúdo a ser trabalhados no ITS. Atualmente, para essa determinação, exige-se a necessidade de intervenção com programação de computador em componentes específicos do ITS, como ações no assistente inteligente especialista da disciplina. Houve significativa

evolução das plataformas de desenvolvimento, com a disponibilização de interfaces visuais programáveis, presentes no Google Dialogflow CS, IBM Watson *Assistant*, dentre outras. Contudo, programar componentes do ITS compreende uma tarefa complexa, geralmente desenvolvida entre programadores de sistemas e professores especialistas.

Nesse contexto, são sugeridos trabalhos futuros para desenvolver ferramentas autorais para descomplicar a inserção de novos de projetos e disciplinas. Aplicações que apresentem uma interface simples e de fácil manipulação, para atender às distintas necessidades dos professores e tutores na composição de módulos para distintas áreas do conhecimento. Considerações de ferramentas para gerenciamento integrado ao sistema PBL-Tutor, em interface que compartilhe uma experiência *user friendly*. Uma interface de publicação para que os professores possam facilmente configurar as informações e padronizar o Sistema de Tutoria Inteligente para suportar a publicação de novos projetos e disciplinas.

### **8.1.2 Estudo de Campo para Avaliação do Uso do Sistema**

O trabalho futuro de natureza pedagógica sugere um estudo de campo para desenvolver avaliações em relação às percepções e ao desempenho dos estudantes nas interações com o sistema inteligente. Desenvolver estudos para aplicação do PBL-Tutor no Ambiente Virtual de Aprendizagem de uma classe, grupo ou comunidade, em instituições educacionais, na modalidade de aprendizagem *online* (EAD). Sugerem-se estudos que possam envolver professores, tutores e estudantes, desde a concepção dos projetos com a metodologia do PBL até a avaliação das percepções de uso do sistema.

Um estudo de campo com essa magnitude poderia trazer importantes contribuições e aprimoramentos ao sistema. Melhorias poderiam ser propostas em distintos aspectos, relacionados à usabilidade da interface ou às vertentes que envolvem os processos de IA na Educação. Uma das vertentes relaciona-se à característica do sistema na capacidade de aprender a partir de uma ampla base de dados e com reconhecimento de padrões nas interações (QIN; CHIANG, 2019). O desenvolvimento de interações, a partir de grupos ou comunidades, poderia contribuir para otimizar o treinamento e a aprendizagem da IA do sistema. A capacidade do ITS em prover um ensino mais personalizado está diretamente relacionada entre a base de

conhecimento e o aprendizado com as interações. As sugestões de trabalhos futuros têm por finalidade trazer novas perspectivas que possam contribuir para as experiências de uso do sistema inteligente.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABED. Censo EAD.BR 2019-2020 Relatório analítico da aprendizagem a distância no Brasil. **Associação Brasileira de Educação a Distância**, 2019.

ABUSHAWAR, B.; ATWELL, E. ALICE Chatbot: Trials and Outputs. **Computación y Sistemas**, v. 19, n. 4, p. 625–632, 2015.

AKKOYUNLU, B.; SOYLU, M. Y. A Study of Student's Perceptions in a Blended Learning Environment Based on Different Learning Styles Buket. **Educational Technology & Society**, v. 11, n. 1, p. 183–193, 2008.

AL-ZUBAIDE, H.; ISSA, A. A. OntBot: Ontology based ChatBot. **2011 4th International Symposium on Innovation in Information and Communication Technology, ISICT'2011**, p. 7–12, 2011.

ALONSO, C. M.; GALLEGO, D. J.; HONEY, P. **Los Estilos de Aprendizaje: Procedimientos de Diagnóstico y Mejora**. 7. ed. Bilbao: Ediciones Mensajero, 2007.

AMARAL, S. F. DO; BARROS, D. M. V. Estilos de Aprendizagem no Contexto Educativo de Uso das Tecnologias Digitais Interativas. **LANTEC**, p. 1–32, 2007.

AMARAL, S. F. DO; GARBIN, M. Construção de um ambiente educacional interativo na internet: a Biblioteca Escolar Digital. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 45, n. 6, p. 1–11, 2008.

ANDERSON, G.; ARSENAULT, N. **Fundamentals of Educational Research**. New York: Routledge, 1998.

ASHFAQUE, M. W. et al. **A Review on Techniques, Characteristics and approaches of an intelligent tutoring Chatbot system**. 2020 International Conference on Smart Innovations in Design, Environment, Management, Planning and Computing (ICSIDEMPC). **Anais...2020**

AUCCAHUASI, W. et al. Interactive online tool as an instrument for learning mathematics through programming techniques, aimed at high school students. **ACM International Conference Proceeding Series**, p. 70–76, 2018.

BAGHOUSSE, M.; ZOUBIDA EL OUCHDI, I. The Implementation of the Project-Based Learning Approach in the Algerian EFL Context: Curriculum Designers' Expectations and Teachers' Obstacles. **Arab World English Journal**, v. 10, n. 1, p. 271–282, 2019.

BAKER, M. The roles of models in Artificial Intelligence and Education research: a prospective view. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 11, p. 122–143, 2000.

BARELL, J. Problem-based learning: The foundation for 21st Century skills. In: **BELLANCA, J. ; BRANDT, R. (Eds.), 21st Century skills: Rethinking how students learn**. Bloomington: Solution Tree Press, 2010. p. 175–200.

BARR, A.; FEIGENBAUM, E. A. **The Handbook of Artificial Intelligence**. 1. ed. Los Altos: Heuristech Press - William Kaufmann Inc., 1981.

BATES, A. W. **Teaching in a Digital Age: Guidelines for Designing Teaching and Learning**. Vancouver BC: Tony Bates Associates Ltd, 2015.

BEAUMONT, C.; LIN NORTON, EDGEHILLACUK; TAWFIK, H. Intelligent Tutoring Systems: How Well Can They Guide Students in Problem-Based Learning Scenarios? n. November, p. 28–29, 2011.

BENDER, W. N. **Aprendizagem Baseada em Projetos: Educação Diferenciada para o Século XXI**. Porto Alegre: Penso, 2014.

BERENDS, H.; BOERSMA, K.; WEGGEMAN, M. The structuration of organizational. v. 56, n. 200309, p. 1035–1056, 2003.

BOLZAN, W.; GIRAFFA, L. M. M. **Estudo comparativo sobre Sistemas Tutores Inteligentes Multiagentes WebTechnical Report Series - Faculdade de Informática - Pontifícia Universidade Católica - PUCRS**. Porto Alegre: [s.n.].

BRASIL. Resolução CNE/CEB nº 04/99. **Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Básica**, 1999.

BRASIL. Resolução CNE/CP nº 3, de 18 de dezembro de 2002. **Conselho Nacional de Educação. Conselho Pleno. Diário Oficial da União**, 2002.

BRASIL. Resolução CNE/CSE nº 5, de 16 de novembro de 2016. **Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. Diário Oficial da União.**, 2016.

BRAUN, V.; CLARKE, V. Using thematic analysis in psychology. **Qualitative Research in Psychology**, v. 3, n. 2, p. 77–101, 2006.

BRAVERMAN, H. **Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century**. 3. ed. New York: Monthly Review Press, 1974.

BROWN, J. S.; BURTON, R. R. SOPHIE - A pragmatic use of Artificial Intelligence in CAI. **Proceedings of the 1974 Annual ACM Conference, ACM 1974**, v. 2, p. 571–579, 1974.

BUCK INSTITUTE. **Aprendizagem baseada em projetos: guia para professores de ensino fundamental e médio**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed Editora S.A, 2008.

BUCK INSTITUTE. **Buck Institute for Education**. Disponível em: <<https://www.pblworks.org/>>. Acesso em: 1 jun. 2021.

CARBONELL, J. R. AI in CAI: An Artificial-Intelligence Approach to Computer-Assisted Instruction. **IEEE Transactions on Man-Machine Systems**, v. 11, n. 4, p. 190–202, 1970.

CHAVES, E. O. E. E M. DE C. **Tecnologia e Educação: O Futuro da Escola na Sociedade da Informação**. Campinas: Mindware, 1998.

CHEN, Y.; ZHANG, Y. Research on Intelligent Tutoring System Based on Data-Mining Algorithms. **Proceedings - 2019 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data and Smart City, ICITBS 2019**, p. 443–446, 2019.

CHIKURTEVA, A.; CHIKURTEV, D. Model of Project-Based Learning Platform. **2020 55th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, ICEST 2020 - Proceedings**, n. September, p. 81–84, 2020.

CHIKURTEVA, A.; SPASOVA, N.; BOGDANOV, S. Interactive platform for Project-Based Learning based on web technologies. **2021 30th International Scientific Conference Electronics, ET 2021 - Proceedings**, p. 1–4, 2021.

CHRYSAFIADI, K.; VIRVOU, M. Student modeling approaches: A literature review for the last decade. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 11, p. 4715–4729, 2013.

CHRYSAFIADI, K.; VIRVOU, M. **Intelligent Systems Reference Library 78 Advances in Personalized Web-Based Education**. New York: Springer International Publishing, 2015.

CIEB. **Inteligência Artificial na Educação Notas Técnicas #16 do Centro de Inovação para a Educação Brasileira (CIEB)**. [s.l: s.n.].

CIOLACU, M. et al. Education 4.0 - Artificial Intelligence Assisted Higher Education: Early recognition System with Machine Learning to support Students' Success. **2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging, SIITME 2018 - Proceedings**, n. MI, p. 23–30, 2019.

CLANCEY, W. J. **Knowledge-Based Tutoring: The GUIDON Program**. 1. ed. Cambridge: The MIT Press, 1987.

COMAN, C. et al. Online teaching and learning in higher education during the coronavirus pandemic: Students' perspective. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 24, p. 1–22, 2020.

COOPER, S.; NAM, Y. J.; SI, L. Initial results of using an intelligent tutoring system with Alice. p. 138, 2012.

CUI, L. et al. Superagent: A customer service chatbot for E-commerce websites. **ACL 2017 - 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Proceedings of System Demonstrations**, p. 97–102, 2017.

DALE, E. **Audio-Visual Methods in Teaching**. 3. ed. New York: Holt, Rinehart e Winston, 1969.

DIALOGFLOW. **Dialogflow**. Disponível em: <<https://cloud.google.com/dialogflow/>>. Acesso em: 2 fev. 2022.

DILLENBOURG, P.; SELF, J. A Framework for Learner Modelling. **Interactive Learning Environments**, 1992, v. 2, n. 2, p. 111–137, 1992.

DOU. **Portaria nº 2.117, de 6 de dezembro de 2019**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-2.117-de-6-de-dezembro-de-2019->

232670913>. Acesso em: 1 fev. 2022.

FREEDMAN, R. et al. Using Rule Induction to Assist In Rule Construction for a Natural-Language Based Intelligent Tutoring System. **wentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society, Madison**, p. 363–367, 1998.

FREEDMAN, R.; ALI, S.; MCROY, S. Links: what is an intelligent tutoring system? **Intelligence**, v. 11, n. 3, p. 15–16, 2000.

GARCIA, R. E.; CORREIA, R. C. M.; SHIMABUKURO, M. H. **Ensino de Lógica de Programação e Estruturas de Dados para Alunos do Ensino Médio**. Anais do XXVIII Congresso da SBC - WEI Workshop sobre Educação em Computação. **Anais...2008**

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOULART, R. R. V.; GIRAFFA, L. M. M. Arquiteturas De Sistemas Tutores Inteligentes. **Technical Report Series**, n. 011, p. 31, 2001.

GRANT, M. M. Getting a grip on project-based learning: Theory, cases and recommendations. **Meridian**, v. 5, n. 1, p. 1–17, 2002.

GREGÓRIO, J. L. **Proposta de um Sistema Tutor Inteligente para o Ensino de Lógica de Programação**. I SITEF Simpósio de Tecnologia da FATEC Jales. **Anais...2018**

GUIMARÃES, J. H. DOS N. DE O. **Método para manutenção de sistema de software utilizando técnicas arquiteturais (Dissertação Mestrado)**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, 2008.

GÜRSUL, F.; KESER, H. The effects of online and face to face problem based learning environments in mathematics education on student's academic achievement. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 1, n. 1, p. 2817–2824, 2009.

HAMIDAH, H. et al. **HOTS-Oriented Module: Project-Based Learning**. 1. ed. Jakarta: SEAMEO QITEP in Language, 2020.

HAREL, I.; PAPERT, S. Situating Constructionism. **Constructionism**, p. 1–16, 1991.

HASAN, M. A. et al. The Transition From Intelligent to Affective Tutoring System: A Review and Open Issues. **IEEE Access**, v. 8, p. 204612–204638, 2020.

HEFFERNAN, N. T. Intelligent tutoring systems have forgotten the tutor. **Doctoral Consortium**, v. 18, n. 23, p. 50–51, 1998.

HOLM, M. PROJECT-BASED INSTRUCTION: A Review of the Literature on Effectiveness in Prekindergarten through 12th Grade Classrooms. **Rivier Academic Journal**, v. 7, n. 2, p. 1–13, 2011.

HORN, M. B.; STAKER, H.; CHRISTENSEN, C. M. **Blended: Using Disruptive Innovation**

to **Improve Schools**. 1. ed. San Francisco: Jossey-Bass, 2015.

HUDDAR, A. et al. Dexter the College FAQ Chatbot. **2020 IEEE International Conference on Convergence to Digital World – Quo Vadis (ICCDW 2020) Dexter**, p. 1–5, 2020.

IBM. **Watson Assistant: um chatbot inteligente**. Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/cloud/watson-assistant>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

IKHSAN, R. B. et al. The determinants of students' perceived learning outcomes and satisfaction in BINUS online learning. **Proceedings of 2019 5th International Conference on New Media Studies, CONMEDIA 2019**, p. 68–73, 2019.

INEP. **Censo da Educação Superior 2019**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep>>.

JENKINS, T. A participative approach to teaching programming. **ACM SIGCSE Bulletin**, v. 30, n. 3, p. 125–129, 1998.

KALELIOGLU, F.; GULBAHAR, Y. The effects of teaching programming via Scratch on problem solving skills: A discussion from learners' perspective. **Informatics in Education**, v. 13, n. 1, p. 33–50, 2014.

KRISHNAMOORTHY, V.; APPASAMY, B.; SCAFFIDI, C. Using intelligent tutors to teach students how APIs are used for software engineering in practice. **IEEE Transactions on Education**, v. 56, n. 3, p. 355–363, 2013.

KURTZ, K. M.; BOLLEN, J. Usage Bibliometrics. **Annual Review Of Information Science And Technology**, v. 44, p. 3–64, 2010.

KUYVEN, N. L. et al. Chatbots na Educação: uma Revisão Sistemática da Literatura. **Novas Tecnologias na Educação**, v. 16, n. 1, p. 123–132, 2018.

LARMER, J.; MERGENDOLLER, J. R. Seven Essentials for Project-Based Learning. **Education Leadership**, v. 68, n. 1, p. 35–37, 2010.

LARMER, J.; ROSS, D.; MERGENDOLLER, J. R. **Project Based Learning (PBL) Starter Kit: To-the-Point Advice, Tools and Tips for Your First Project in Middle or High School**. 1. ed. Novato, CA: Buck Institute for Education, 2009.

LI, Z. et al. The research of classical learner models in intelligent tutoring systems. **ICCSE 2012 - Proceedings of 2012 7th International Conference on Computer Science and Education**, v. 3, n. 7, p. 1204–1207, 2012.

LUGER, G. F. **Inteligência Artificial**. 6. ed. Boston: Pearson Education, 2009.

MACIEL, C. **Educação a Distância: Ambientes Virtuais de Aprendizagem**. Cuiabá: EdUFMT - Editora da Universidade Federal de Mato Grosso, 2013.

MAKASI, T. et al. A Typology of Chatbots in Public Service Delivery. **IEEE Software (Early Access)**, p. 1–8, 2021.

- MALOTKY, N. T. VON; MARTENS, A. **Analyzing the Usage of the Classical ITS Software Architecture and Refining It.** (A. Coy, Y. Hayashi, M. Chang, Eds.) Intelligent Tutoring Systems. **Anais...** Cham: Springer International Publishing, 2019
- MARQUES, V. C.; AMARAL, S. F. DO. **CovidBoT** CampinasLANTEC - Laboratório de Inovação Tecnológica Aplicada na Educação, , 2020. Disponível em: <<https://www.unicamp.br/unicamp/cartilha-covid-19>>
- MARTIN, S. et al. New technology trends in education: Seven years of forecasts and convergence. **Computers and Education**, v. 57, n. 3, p. 1893–1906, 2011.
- MATTAR, J. **Games em Educação: Como os Nativos Digitais Aprendem.** 1. ed. São Paulo, SP: Pearson, Prentice Hall, 2010.
- MCTEAR, M.; CALLEJAS, Z.; GRIOL, D. Future Directions. In: **The Conversational Interface: Talking to Smart Devices.** Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 403–418.
- MENEZES, P. et al. Possibilidades da Inteligência Artificial na Educação. **Relatório Workshop IBM, PUC-SP e Instituto EducaDigital**, p. 1–30, 2017.
- MJ; UNB. RT Infraestrutura Tecnológica: Execução da Prova de Conceito – Banco de Dados. **Acordo de Cooperação Técnica Universidade de Brasília/UnB/CDT e Ministério da Justiça/SE Registro de Identidade Civil – Replanejamento e Novo Projeto Piloto**, 2015.
- MOURSUND, D. **Project-Based Learning Using Information Technology.** Eugene: International Society for Technology in Education (ISTE), 1999.
- MOZZAQUATRO, P. M.; MEDINA, R. D. Avaliação do Ambiente Virtual de Aprendizagem Moodle sob diferentes visões: aspectos a considerar. **Renote**, v. 6, n. 1, 2008.
- MURRAY, T. Authoring Intelligent Tutoring Systems: An analysis of the state of the art. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 10, p. 98–129, 1999.
- NI, L. et al. MANDY: Towards a smart primary care chatbot application. **Communications in Computer and Information Science**, v. 780, p. 38–52, 2017.
- NKAMBOU, R.; MIZOGUCHI, R.; BOURDEAU, J. **Advances in Intelligent Tutoring Systems.** Chennai: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
- NOORDIN, M. K. **Problem-Based Learning (PBL) and Project-Based Learning (PjBL) in engineering education: a comparison.** Proceedings of the IETEC'11 International Engineering and Technology Education Conference. **Anais...**Kuala Lumpur: 2011
- NOWELL, L. S. et al. Thematic Analysis: Striving to Meet the Trustworthiness Criteria. **International Journal of Qualitative Methods**, v. 16, n. 1, p. 1–13, 2017.
- NWANA, H. S. Intelligent tutoring systems: an overview. **Artificial Intelligence Review**, v. 4, n. 4, p. 251–277, 1990.

OKADA, A. L. P.; O., S. E. a Construção De Ambientes Virtuais De Aprendizagem : Por Autorias Plurais E Gratuitas No Ciberespaço. **Educação e Comunicação**, v. 16, p. 1–15, 2003.

OLIVEIRA, E. The Quest for Beneficial AI. **Proceedings of the 2019 IEEE 23rd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design**, p. 7281, 2019.

OSBORN, A. F. **Applied Imagination Principles and Procedures of Creative Thinking**. New York: Charles Scribner's Sons, 1953.

OTA, M. et al. Aprendizagem adaptativa online: uma experiência usando trilhas e chatbot para desenvolver competências básicas em língua portuguesa e matemática para o ensino superior. **Revista de Ensino de Ciências e Matemáticas - REnCiMa**, v. 10, n. 4, p. 56–69, 2019.

OTSUKI, M.; SAMEJIMA, M. An intelligent tutoring system for case-based e-learning on project management. **Proceedings - 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2013**, p. 3471–3476, 2013.

ÖZYURT, Ö. et al. Integration into mathematics classrooms of an adaptive and intelligent individualized e-learning environment: Implementation and evaluation of UZWEBMAT. **Computers in Human Behavior**, v. 29, n. 3, p. 726–738, 2013.

PALADINES, J.; RAMIREZ, J. A Systematic Literature Review of Intelligent Tutoring Systems With Dialogue in Natural Language. **IEEE Access**, v. 8, p. 164246–164267, 2020.

PAN, G. et al. An exploration into key roles in making project-based learning happen: Insights from a case study of a university. **Journal of International Education in Business**, v. 14, n. 1, p. 109–129, 2020.

PAPERT, S. Teaching Children Thinking. **Programmed Learning and Educational Technology**, v. 9, n. 5, p. 245–255, 9 set. 1972.

PAPERT, S. Constructionism: A New Opportunity for Elementary Science Education. **A Proposal to the National Science Foundation. Cambridge Massachusetts Institute of Technology (MIT), Media Laboratory, Epistemology and Learning Group.**, 1986.

PAPERT, S. **The Children's Machine: Rethinking School In The Age Of The Computer**. New York: Basic Books; Revised ed. edition, 1993.

PARK, O. Functional Characteristics of Intelligent Computer-Assisted Instruction: Intelligent Features. **Educational Technology**, v. 28, n. 6, p. 7–14, 1988.

PATEL, F. et al. Combating depression in students using an intelligent ChatBot: A cognitive behavioral therapy. **2019 IEEE 16th India Council International Conference, INDICON 2019 - Symposium Proceedings**, 2019a.

PATEL, N. P. et al. AI and Web-Based Human-Like Interactive University Chatbot (UNIBOT). **Proceedings of the 3rd International Conference on Electronics and Communication and Aerospace Technology, ICECA 2019**, p. 148–150, 2019b.

PEREIRA, A. T. C. et al. Ambientes Virtuais de Aprendizagem. In: **Ambientes Virtuais de Aprendizagem em Diferentes Contextos**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2007.

PIRES, E.; BETTENCOURT, T. **Learning to Programming Computers Through Visualization and Project Based Learning Methodology**. 11th International Technology, Education and Development Conference. **Anais...**Valencia, Spain: mar. 2017Disponível em: <<http://library.iated.org/view/PIRES2017LEA>>

PMI. **PMBOK: Um Guia para o Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos**. 6. ed. Chicago: Project Management Institute, Inc, 2017.

PRENSKY, M. **Aprendizagem Baseada em Jogos Digitais**. São Paulo: Senac São Paulo, 2012.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software: Uma Abordagem Profissional**. 7. ed. Porto Alegre: The McGraw-Hill, 2011.

QIN, S. J.; CHIANG, L. H. Advances and opportunities in machine learning for process data analytics. **Computers and Chemical Engineering**, v. 126, p. 465–473, 2019.

QUALLS, J. **Is Artificial Intelligence the Key to Personalized Education?** Disponível em: <<https://www.smithsonianmag.com/innovation/artificial-intelligence-key-personalized-education-180963172/>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

RESNICK, M. et al. Scratch: Programming for All. **Communications of the ACM**, v. 52, n. 11, p. 60–67, 2009.

RISSOLI, V. R. V.; GIRAFFA, L. M. M.; MARTINS, J. D. P. Sistema Tutor Inteligente baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa com acompanhamento Fuzzy. **Informática na educação: teoria & prática**, v. 9, n. 2, p. 35–48, 2006.

ROLL, I.; WYLIE, R. Evolution and Revolution in Artificial Intelligence in Education. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 26, n. 2, p. 582–599, 2016.

ROSA, J. L. G. **Fundamentos da Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda - GEN - Grupo Editorial Nacional, 2011.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. New Jersey: Prentice-Hall, 1995.

SAMUEL, A. L. Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. **IBM Journal of Research and Development**, v. 3, n. 3, p. 210–229, 1959.

SCHEZ-SOBRINO, S. et al. An Intelligent Tutoring System to Facilitate the Learning of Programming through the Usage of Dynamic Graphic Visualizations. **Applied Sciences**, v. 10, n. 4, 2020.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. 1. ed. São Paulo: Edipro, 2016.

SELDON, S. A.; ADIBOYE, O. **The Fourth Education Revolution: Will Artificial**

**Intelligence Liberate or Infantilise Humanity.** London: University of Buckingham Press, 2018.

SELF, J. The defining characteristics of intelligent tutoring systems research: ITSs care, precisely. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 10, n. 1998, p. 350–364, 1999.

SHUTE, V. J.; PSOTKA, J. Intelligent tutoring systems: past, present and future. In: JONASSEN, D. H. (Ed.). **Handbook of research for educational communications and technology**. 1. ed. New York: Macmillan, 1996. p. 570–600.

SILVA, I. C. DA. **Um modelo de sistema tutor inteligente para o ensino no domínio de lógica de programação (Dissertação Mestrado)**. [s.l.] UEMA - Universidade Estadual do Maranhão, 2016.

SKYLAR, A. A.; HIGGINS, K.; BOONE, R. Strategies for Adapting WebQuests. **Intervention in School and Clinic**, v. 43, n. 1, p. 20–28, 2007.

SLEEMAN, D.; BROWN, J. S. **Intelligent Tutoring Systems**. London. UK: Academic Press, 1982.

SMITH, C. et al. The History of Artificial Intelligence. **CSE P 590A Computer Science & Engineering - History of Computing - University of Washington**, p. 1–27, 2006.

SOFLANO, M.; CONNOLLY, T. M.; HAINEY, T. An application of adaptive games-based learning based on learning style to teach SQL. **Computers and Education**, v. 86, p. 192–211, 2015.

SOLOMON, C. et al. History of Logo. **Proceedings of the ACM on Programming Languages**, v. 4, n. HOPL, 2020.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 10. ed. São Paulo: Pearson Education, 2018.

SRIVASTAVA, P.; SINGH, N. Automatized Medical Chatbot (Medibot). **2020 International Conference on Power Electronics and IoT Applications in Renewable Energy and its Control, PARC 2020**, p. 351–354, 2020.

STEBBINS, R. A. **What Is Exploration? In: Exploratory Research in the Social Sciences**. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2011. v. 53

SUSI, T.; JOHANNESON, M.; BACKLUND, P. Serious Games – An Overview. **Elearning**, v. 73, n. 10, p. 28, 2007.

TAVARES, L. A.; MEIRA, M. C.; AMARAL, S. F. DO. Inteligência Artificial na Educação: Survey. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 48699–48714, 2020.

TEACHONLINE. **Ten Facts About Artificial Intelligence in Teaching and Learning**. Disponível em: <<https://teachonline.ca/tools-trends/ten-facts-about-artificial-intelligence>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

TURING, A. M. Computing Machinery and Intelligence. **Mind**, v. LIX, n. 236, p. 433–460, 1 out. 1950.

UNESCO. Artificial Intelligence in Education: Challenges and Opportunities for Sustainable Development. **UNESCO Education 2030**, v. 7, 2019.

VAIRA, L. et al. Mama bot: A system based on ML and NLP for supporting women and families during pregnancy. **ACM International Conference Proceeding Series**, p. 273–277, 2018.

VALENTE, J. A. **O Computador na Sociedade do Conhecimento**. Campinas, São Paulo: OEA\_NIED/UNICAMP, 1999.

VASSILEVA, J. et al. Lessons from Deploying I-Help. **Workshop on Agents and Internet Learning, AIL'2001 at the Autonomous Agents'2001**, p. 5–7, 2001.

VERAS, M.; RASQUILHA, L. **Educação 4.0 - O mundo, a escola e o aluno na década 2020-2030**. São Paulo, SP: Unitá-Editora, 2019.

VICARI, R. M. Sumário Executivo: Tendências em Inteligência Artificial na Educação de 2017 a 2030. **Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Serviço Social da Indústria (SESI)**, p. 1–55, 2017.

WALLER, L. Is your Kid's classroom connection high speed? Six easy ways to engage students with technology in reading! **Teacher's Workshop Newsletter**, v. 4, n. 1, p. 1–3, 2011.

WEIZENBAUM, J. ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine. **Communications of the ACM**, v. 9, n. 1, p. 36–45, 1966.

WENGER, E. **Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge**. Los Altos: Morgan Kaufmann Publishers - Elsevier Inc, 1987.

WOOLF, B. P. **Building Intelligent Interactive Tutors: Student centered strategies for revolutionizing e-learning**. Burlington: Morgan Kaufmann Publishers - Elsevier Inc, 2009.

YANG, F.-J. The ideology of intelligent tutoring systems. **ACM Inroads**, v. 1, n. 4, p. 63, 2012.

ZHAO, R.; ROMERO, O. J.; RUDNICKY, A. Sogo: A social intelligent negotiation dialogue system. **Proceedings of the 18th International Conference on Intelligent Virtual Agents, IVA 2018**, p. 239–246, 2018.

## APÊNDICES

### I Apêndice - Artigos <https://pbltutor.com/apendice-1>

### II Apêndice - Principais Áreas de Pesquisa

Figura 63 -Principais áreas de pesquisa



Fonte: Autor

### III Apêndice - Principais Fontes de Publicações

Figura 64 - Principais fontes de publicações



Fonte: Autor

# ANEXOS

## I Anexo – Plano de Ensino Lógica de Programação

Curso Técnico em Informática para Internet Médio à Distância <sup>57</sup>		
	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO	Campus São João da Boa Vista
1- IDENTIFICAÇÃO: Curso: Técnico em Informática para Internet		
Componente curricular: Lógica de Programação		Código: M1LOP
Ano/ Semestre: 1º Módulo		Nº Horas semanais: 10
Total de Semanas: 6		Total de horas: 60
2 - EMENTA: Nesta disciplina trata-se da introdução aos algoritmos e às técnicas de programação, aplicadas a linguagens aderentes ao paradigma de programação estruturado, visto que este paradigma é a base para outros paradigmas, sendo o orientado a objetos o mais importante. Inicialmente apresenta-se o conceito de algoritmos e sua importância e em seguida faz-se uma introdução à linguagem de programação estruturada escolhida, ao seu ambiente de desenvolvimento, além dos conceitos de programa armazenado, compilador, linguagens de alto e de baixo nível e do processo de compilação (conversão de código fonte em código de máquina). Retoma-se o conceito de entrada/processamento/saída, apresentando como isso é feito em um programa através de comandos de entrada e saída. Introduce-se o conceito de variáveis e de operações em variáveis e das estruturas sequenciais, mostrando a execução de algoritmos simples. Trata-se então das estruturas condicionais e de repetição pertinentes à linguagem de programação escolhida, além de arrays e matrizes (arrays bidimensionais). Por fim, apresenta-se o conceito de modularização de código, usando o conceito de funções e/ou procedimentos, unidades básicas de programação de linguagens estruturadas.		
3 - OBJETIVO: Fornecer subsídios ao aluno sobre os conceitos e aplicações de técnicas de desenvolvimento de lógica de programação de computadores. Desenvolver o raciocínio lógico do aluno modelado às técnicas e práticas recomendadas e atuais para desenvolvimento de programação de computadores.		
4 - CONTEUDO PROGRAMATICO: Introdução aos algoritmos; Introdução à linguagem de programação estruturada; Programa armazenado; Compilador e processo de compilação; Entrada e saída padrão; Variáveis e operações; Estruturas condicionais; Operadores lógicos e relacionais; Estruturas de repetição; Arrays e matrizes; Funções.		
5 - METODOLOGIAS: O fio condutor do processo de ensino-aprendizagem é o material impresso. O formador desmembra o conteúdo em tópicos e constrói atividades que são oferecidas ao aluno por meio do ambiente virtual de aprendizagem (AVA). Cada atividade é constituída por vários objetos de aprendizagem e é intermediada pelo tutor virtual que é o principal responsável pela interação aluno-professor. Os conteúdos ministrados em encontros presenciais utilizam: aulas expositivas, apoio audiovisual, atividades em grupos, pesquisa, discussões, todas intermediadas pelo formador.		
6 - RECURSOS DIDATICOS: Os recursos que serão utilizados nos encontros presenciais envolvem recursos multimídia, aulas expositivas, laboratórios diversos e biblioteca. Nas atividades virtuais serão utilizadas animações, páginas internet, ambiente virtual de aprendizagem, caderno da disciplina vídeo aula.		
7 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO: A Nota do Componente Curricular, NC, será calculada como a média das notas da avaliação da apresentação de listas de exercício, de resumos e trabalhos produzidos individual e em grupo e das Provas da parte teórica a serem aplicadas ao longo do semestre.		
8 - BIBLIOGRAFIA BÁSICA: ASCENCIO, A. F. G. Fundamentos da programação de computadores: algoritmos, Pascal e C/C++. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002. ZIVIANI, N. Projeto de algoritmos com implementações em Pascal e C. 2. ed. São Paulo: Thomson, 2004. DAMAS, L. Linguagem C. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.		
8 – BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR SZWARCFITER, J. L.; MARKEZON, L. Estruturas de dados e seus algoritmos. Rio de Janeiro: LTC, 1997. FARRER, H. et al. Programação estruturada de computadores: algoritmos estruturados. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.		

<sup>57</sup> Curso Técnico em Informática para Internet Médio à Distância - Plano de Ensino de Lógica de Programação: <http://ead.ifsp.edu.br/tecnico-em-informatica-para-internet>

## II Anexo – Plano de Ensino Programação de Computadores

Engenharia de Computação Superior - Plano de Ensino Programação de Computadores <sup>58</sup>		
	UNIVERSIDADE VIRTUAL DO ESTADO DE SÃO PAULO	UNIVESP
<p>Curso: Engenharia de Computação            Disciplina: Programação de Computadores            Código: ILP001            Carga Horária: 80</p>		
<p><b>EMENTA:</b>            Conceitos Básicos de Organização de Computadores; Construção de Algoritmos e sua Representação em Pseudocódigo e Linguagens de Alto Nível; Desenvolvimento Sistemático e Implementação de Programas; Estruturação, Depuração, Testes e Documentação de Programas; Resolução de Problemas.</p>		
<p><b>OBJETIVO DA DISCIPLINA:</b>            Apresentar lógica de programação aplicada, usando a linguagem Java para a parte prática, de forma a familiarizar os estudantes com os diferentes conceitos e estruturas necessários para o desenvolvimento de programas de computador.</p>		
<p><b>CONTEUDO PROGRAMATICO:</b> 1. Introdução à programação de computadores 2. Problemas e algoritmos 3. Computadores e linguagens de programação 4. Linguagens de programação e um primeiro programa 5. Operações aritméticas e variáveis 6. Divisão inteira, tipos numéricos e constantes 7. Métodos e parâmetros 8. Métodos e memória, atributos 9. Condicionais e variáveis booleanas 10. Condicionais aninhados e operadores lógicos 11. Switch e Laços While 12. While Aninhado, Do While 13. Laço For 14. Arranjos 15. Caracteres e arranjos de caracteres 16. Arranjos de arranjos e matrizes 17. Matrizes 18. Orientação a objetos e classes 19. Classes 20. Construtores 21. Arranjos de objetos e string 22. Busca sequencial e binária 23. Ordenação 24. Entrada, exceções e arquivos 25. Entrada e saída com arquivos, operadores bit-a-bit</p>		
<p><b>BIBLIOGRAFIA:</b>            Bibliografia Básica            DEITEL, H. M., DEITEL, P. J. C: como programar. São Paulo: Pearson, 2011. 848 p. ISBN 9788576059349.            FARRER, H. et al. Algoritmos estruturados. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 304 p. ISBN 9788521611806.            GUIMARÃES, A. M.; LAGES, N. A. C. Algoritmos e estrutura de dados. Rio de Janeiro: LTC, 1994. 232 p. ISBN 9788521603788.            Bibliografia Complementar            FEIJÓ, B.; CLUA, E.; SILVA, F. S. C. Introdução à ciência da computação com jogos: aprendendo a programar com entretenimento. São Paulo: Elsevier, 2009. 288 p. ISBN: 9788535234190.            FEOFILOFF, P. Algoritmos em linguagem C. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 232 p. ISBN 9788535232493.            KON, F.; GOLDMAN, A; SILVA, P. J. S. Introdução à ciência de computação com Java e orientação a objetos. São Paulo:            IME/USP, 2004. 1.ed. 192 p. ISBN: 8588697106. Disponível gratuitamente em:            &lt;<a href="http://ccsl.ime.usp.br/files/books/intro-java-cc.pdf">http://ccsl.ime.usp.br/files/books/intro-java-cc.pdf</a>&gt;.            MEDINA, M., FERTIG, C. Algoritmos e programação: teoria e prática. São Paulo: Novatec, 2005. 384 p. ISBN 9788575220733.            PUGA, S., RISSETTI, G. Lógica de programação e estruturas de dados. São Paulo: Pearson, 2009. 288 p. ISBN 9788576052074.</p>		
<p><b>CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO</b>            A avaliação da disciplina é formativa e somativa. Os alunos devem entregar as resoluções de atividades e/ou exercícios no Ambiente Virtual de Aprendizagem semanalmente e realizar, ao final do período letivo, uma prova presencial aplicada nos polos Univesp.</p>		

<sup>58</sup> Engenharia de Computação Superior - Plano de Ensino Programação de Computadores  
<https://univesp.br/sites/ProgComputadores.pdf>