

Alexander Robert Kutzke

**Informática educacional e a mediação do erro
na educação: um estudo teórico-crítico e uma
proposta de instrumento computacional**

Brasil

2015

Alexander Robert Kutzke

**Informática educacional e a mediação do erro na
educação: um estudo teórico-crítico e uma proposta de
instrumento computacional**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Informática como re-
quisito parcial para obtenção do título de
Doutor em Informática, Setor de Ciências
Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Universidade Federal do Paraná

Departamento de Informática

Programa de Pós-Graduação

Orientador: Alexandre I. Direne

Brasil

2015

Kutzke, Alexander Robert

Informática educacional e a mediação do erro na educação: um estudo teórico-crítico e uma proposta de instrumento computacional / Alexander Robert Kutzke . – Curitiba, 2015

195 f. : il.; tabs., grafs.

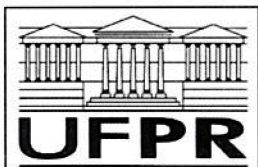
Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Informática.

Orientador: Alexandre I. Direne

Bibliografia: p.174-180

1. Informática na educação. 2. Pedagogia crítica. 3. Tecnologia Educacional. I. Direne, Alexandre I. II. Título

CDD 004

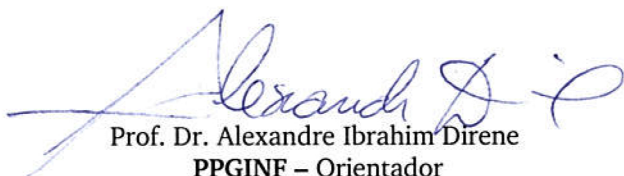


Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Informática


PARECER

Nós, abaixo assinados, membros da Comissão Examinadora da defesa do(a) aluno(a) de Doutorado em Ciência da Computação, Alexander Robert Kutzke, avaliamos a de tese de doutorado intitulado “Informática educacional e a mediação do erro na educação: um estudo teórico-crítico e uma proposta de instrumento computacional”, cuja defesa pública, foi realizada no dia 25 de setembro de 2015. Após avaliação, decidimos pela: (X) **Aprovação** do(a) candidato(a). () **Reprovação** do(a) candidato(a).


Curitiba, 25 de setembro de 2015.




Prof. Dr. Alexandre Ibrahim Direne
PPGINF – Orientador



Prof. Dr. Robinson Vida Noronha
UTFPR – Membro Externo



Prof. Dr. Wilson Silva
SMCC – Membro Externo



Prof. Dr. Marcos Alexandre Castilho
PPGINF – Membro Interno



Prof. Dr. André Luiz Pires Guedes
PPGINF – Membro Interno



Este trabalho é dedicado aos meus pais, Aldecir e Helenir, aos meus irmãos, Alessandra e John, e à minha esposa, Ana.

Agradecimentos

Aos meus pais e irmãos pelo seu carinho e apoio incondicional durante toda minha vida e por terem proporcionado e incentivado meus estudos.

À minha querida esposa Ana que esteve presente em todos os passos dessa caminhada (muitas vezes, um passo à frente). Agradeço, especialmente, por sua cumplicidade e dedicação nos momentos em que precisei de ajuda e incentivo; por ter me propiciado o estudo de uma visão crítica do mundo; pela sua insistência em certos comentários que, ao final, deram forma a este trabalho; pela sua paciência em ler, reler e corrigir o texto; e, claro, por me mostrar sempre que, ao seu lado, os problemas da vida, que embora possam parecer grandes, não são nada perto da alegria de ter sua companhia.

A todos meus familiares, diretos e indiretos, por todo o carinho e pelo incentivo durante este trabalho.

Ao meu incansável orientador Alexandre Direne. Muito mais do que um orientador, sempre disponível para conversar sobre qualquer questão. Acolheu com sabedoria e imparcialidade minhas intenções para este trabalho e me guiou, mesmo por períodos difíceis, com extrema dedicação. Agradeço por ter tido o privilégio de ter aprendido e convivido com esse excelente professor e formidável ser humano.

À Profa. Graziela Lucchesi e a todos os integrantes do grupo de pesquisa de Violência Escolar do Departamento de Psicologia da Universidade Federal do Paraná, por terem me acolhido em seu grupo e propiciado vivência e aprofundamento nos estudos da Psicologia Histórico-Cultural e da Pedagogia Histórico-Crítica. Agradeço, em particular, à Profa. Graziela pela sua contribuição através da leitura crítica desse trabalho e por seus comentários pertinentes.

Ao colega Diego Marczal por ter disponibilizado parte da sua própria pesquisa para que eu iniciasse o presente estudo. Obrigado, também, pelo incentivo e pelos comentários.

Aos meus amigos pelos incontáveis momentos de diversão e alegria e pelo apoio sempre presente.

A todos que acreditaram em mim e me apoiaram.

A todas as pequenas coisas da vida que me fazem feliz e que me guiaram até aqui.

*Se as coisas são inatingíveis... ora!
Não é motivo para não querê-las...
Que tristes os caminhos, se não fora
A presença distante das estrelas!*
Mario Quintana - Poema “Das utopias”;

“Portanto, o que não é garantido pela natureza tem que ser produzido historicamente pelos homens, e aí se incluem os próprios homens. Podemos, pois, dizer que a natureza humana não é dada ao homem, mas é por ele produzida sobre a base da natureza biofísica. O trabalho educativo é o ato de produzir direta e intencionalmente, em cada indivíduo singular, a humanidade que é produzida histórica e coletivamente pelo conjunto dos homens. Assim, o objeto da educação diz respeito, de um lado, à identificação dos elementos culturais que precisam ser assimilados pelos indivíduos da espécie humana para que eles se tornem humanos e, de outro lado e concomitantemente, à descoberta das formas mais adequadas para atingir esse objetivo” (SAVIANI, 2012, p. 13).

Resumo

O problema central da mediação do erro na educação escolar e possíveis contribuições da Informática Educativa são expostos de maneira crítica. Embora inúmeras pesquisas e abordagens pedagógicas salientem o importante papel do erro na educação, pouco, ainda, se faz a partir deste na prática. Em um ambiente como o da educação pública no Brasil, onde professores são sobrecarregados, ainda que os registros dos erros não sejam perdidos ou deixados de lado, o volume e o caráter esparsos e caóticos dos registros mantidos impossibilitam a análise por parte do professor. Dessa forma, salienta-se que, sem a mediação do erro, professores não possuem condições ideais para refletir sobre seu próprio método de ensino, e os alunos, por sua vez, ficam sem acesso aos seus erros e da mediação dos mesmos pelo professor. Nesse sentido, para que se garanta um posicionamento teórico-crítico condizente com a abordagem escolhida, uma breve revisão dos conceitos fundamentais da Filosofia da Educação é apresentada. A problemática do erro e sua mediação na educação escolar é explorada em detalhes. Para tanto, a partir das bases da Psicologia Histórico-Cultural, analisa-se a importância do erro no processo de formação de conceitos científicos do aluno e constata-se a sua indispensabilidade nesse processo. Por meio desse estudo, constata-se a predominância da chamada visão tradicional do erro no ideário docente, para a qual o erro é a expressão de uma displicência do aluno com os estudos, ou ainda, de sua incapacidade psico-biológica. Ressalta-se, então, a participação de tal concepção para a perpetuação do fenômeno do fracasso escolar e suas consequências, as quais geram resultados devastadores para o desenvolvimento humano dos estudantes. A resenha literária de informática educativa faz uma crítica à visão clássica construcionista, e argumenta como os trabalhos existentes se alinham às chamadas pedagogias do “aprender a aprender”. Aponta-se, também, que os atuais sistemas educacionais na informática não proporcionam uma análise aprofundada das conexões existentes entre os erros apresentados por alunos. Assim, o presente trabalho, fundamentado nas bases da Pedagogia Histórico-Crítica e da Psicologia Histórico-Cultural propõe um arcabouço de sistema para a manipulação de registros de erros que promova a mediação do erro com participação efetiva do professor, tendo como objetivo central instrumentalizar professores e alunos no trabalho educativo para a superação da visão tradicional do erro. Uma implementação deste arcabouço para o ensino de programação de computadores, a qual dá origem a ferramenta chamada FARMA-ALG, é descrita em detalhes. Relatam-se resultados de experimentos realizados através do uso da ferramenta FARMA-ALG em ambientes reais de ensino. De acordo com tais resultados, apontam-se indícios de que a ferramenta e, por consequência, o arcabouço proposto, podem agir positivamente para a mediação do erro no trabalho educativo e na superação da visão tradicional do erro. Diferentes contribuições obtidas para a comunidade científica são ressaltadas.

Palavras-chave: Mediação do erro; Informática Educativa; Pedagogia Histórico-Crítica; Psicologia Histórico-Cultural; Programação de computadores; Sistemas recomendadores; Mineração de dados educacionais.

Abstract

The central problem of error mediation in school education and possible Educational Informatics' contributions are exposed in a critical manner. Although numerous research and pedagogical approaches emphasize the error's important role of in education, very little, is done from it in practice. In an environment such as the public education in Brazil, where teachers are overloaded, even though the error records are not lost or left aside, the volume and the sparse and chaotic nature of the kept records make it impossible to process all this information. Thus, it is noted that without the error of mediation, teachers do not have ideal conditions to reflect on their own method of teaching, and the students, in turn, are left without access to their mistakes and the proper mediation by the teacher. In this sense, in order to guarantee a theoretical and critical position, consistent with the chosen approach, a brief review of the fundamental concepts of the Philosophy of Education is displayed. The problem of error and mediation in school education is explored in detail. Therefore, from the Historical-Cultural Psychology's knowledge, the importance of the error in the process of student's scientific concepts formation is examined and its indispensability in this process is outlined. By this study, it verified the predominance of the so-called traditional error vision, for which the error is an expression of the student's indifference with the studies, or of his psycho-biological incapacity. It is highlighted, then, the participation of such view for the perpetuation of school failure phenomenon and its consequences, which generate devastating results for students' human development. The educational informatics literary review criticizes the constructionism classical view, and argues that existing works are aligned with the "learning to learn" pedagogies. This work also points out that the current educational systems do not provide an examination of the existing connections between the different errors made by students. In this context, the teacher generally has little access to error logs, and the remediation and the error analysis occurs individually (without relations between different errors) and automatically (without the teacher's mediation). Thus, this study, based on the historical-critical pedagogy and historical-cultural psychology proposes a system framework for handling error records that promotes error mediation with effective teacher participation, having as central goal instrumentalize teachers and students in educational work to overcome the error's traditional view. An implementation of this framework for computer programming education, which gives rise to the tool called FARMA-ALG, is described in detail. Results of experiments carried out through the use of FARMA-ALG tool in real learning environments are exposed. According to these results, it is verified the existence of evidences that the tool, consequently, the proposed framework, can act positively to the error of mediation in the educational work and in overcoming the error's traditional view. Different contributions obtained for the scientific community are highlighted. Finally, possible future work and new experiments are indicated.

Keywords: Error mediation; Educational Informatics; Historical-Critical Pedagogy; Historical-Cultural Psychology; Computer programming; Recommender systems; Educational data mining.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Organização dos componentes do arcabouço.	95
Figura 2 – Representação gráfica do processo de geração de recomendações de respostas.	98
Figura 3 – Exemplo de execução do algoritmo para propagação de tags.	103
Figura 4 – Protótipo para visualização do grafo de similaridade.	104
Figura 5 – Protótipo para visualização de linha do tempo.	105
Figura 6 – Tela inicial da ferramenta FARMA-ALG (professor).	107
Figura 7 – Esquema de funcionamento da ferramenta FARMA (Fonte: Marczal (2014)).	112
Figura 8 – Esquema de funcionamento da ferramenta FARMA-ALG.	115
Figura 9 – Ícone para visualização rápida de respostas.	116
Figura 10 – Exemplo de quadro de visualização rápida de resposta.	117
Figura 11 – Exemplo de busca.	120
Figura 12 – Busca através de trecho de código fonte.	120
Figura 13 – Filtros disponíveis para busca.	121
Figura 14 – Exemplo de recomendação exibida para o professor.	122
Figura 15 – Visualização da listagem de mensagens recebidas.	123
Figura 16 – Visualização de mensagem (professor).	124
Figura 17 – Visualização de mensagem (aluno).	124
Figura 18 – Mecanismo para classificação de resposta.	125
Figura 19 – Tela para manipulação de classificações.	126
Figura 20 – Tela para manipulação de classificações automáticas.	126
Figura 21 – Visualização rápida de aresta.	127
Figura 22 – Comparação de respostas.	128
Figura 23 – Comparação de resultados obtidos para caso de teste.	128
Figura 24 – Visualização do grafo de similaridade.	129
Figura 25 – Grafo de manipulação vazio com barra de busca.	130
Figura 26 – Opções de inserção de registro no grafo de manipulação.	130
Figura 27 – Inserção de respostas semelhantes no grafo de manipulação.	131
Figura 28 – Inserção de componente conexa no grafo de manipulação.	131
Figura 29 – Grafo de manipulação com arestas de peso maior ou igual a 0.4.	132
Figura 30 – Grafo de manipulação com arestas de peso maior ou igual a 0.7.	132
Figura 31 – Linha do tempo com respostas agrupadas por dia.	133
Figura 32 – Exibição de respostas em forma de linha do tempo.	134
Figura 33 – Visualização completa de resposta (professor).	135
Figura 34 – Visualização completa de resposta (aluno).	136

Figura 35 – Tela inicial (aluno).	136
Figura 36 – Visualização de informações específicas sobre as resposta de um aluno.	137
Figura 37 – Visualização de informações específicas sobre as respostas de um aluno para um OA.	137
Figura 38 – Sumário sobre as respostas de uma turma para um OA.	138
Figura 39 – Dispersão das notas obtidas (pré-teste e média final) pelo grupo GC.	145
Figura 40 – Dispersão das notas obtidas (pré-teste e média final) pelo grupo GE.	146
Figura 41 – Comparação das notas obtidas (pré-teste e média final) pelos grupos GC e GE.	147
Figura 42 – Dispersão das notas obtidas (prova 1 e média final) pelo grupo GC.	149
Figura 43 – Dispersão das notas obtidas (prova 1 e média final) pelo grupo GE.	150
Figura 44 – Comparação das notas obtidas (prova 1 e média final) pelos grupos GC e GE.	151
Figura 45 – Quantidade de visualizações de respostas por semana.	154
Figura 46 – Sumário das respostas para a primeira pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.	155
Figura 47 – Sumário das respostas para a segunda pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.	155
Figura 48 – Sumário das respostas para a terceira pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.	155
Figura 49 – Sumário das respostas para a quarta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.	156
Figura 50 – Sumário das respostas para a quinta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.	156
Figura 51 – Sumário das respostas para a sexta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.	157
Figura 52 – Sumário das respostas para a sétima pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.	157
Figura 53 – Sumário das respostas para a oitava pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.	158
Figura 54 – Sumário das respostas para a primeira pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).	159
Figura 55 – Sumário das respostas para a segunda pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).	159
Figura 56 – Sumário das respostas para a terceira pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).	159
Figura 57 – Sumário das respostas para a quarta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).	160

Figura 58 – Sumário das respostas para a quinta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).	160
Figura 59 – Sumário das respostas para a sexta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).	160
Figura 60 – Sumário das respostas para a sétima pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).	161
Figura 61 – Sumário das respostas para a oitava pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).	161
Figura 62 – Sumário das respostas para a primeira pergunta do questionário para alunos sobre as impressões da ferramenta FARMA-ALG.	162
Figura 63 – Sumário das respostas para a segunda pergunta do questionário para alunos sobre as impressões da ferramenta FARMA-ALG.	162
Figura 64 – Sumário das respostas para a terceira pergunta do questionário para alunos sobre as impressões da ferramenta FARMA-ALG.	163
Figura 65 – Sumário das respostas para a quarta pergunta do questionário para alunos sobre as impressões da ferramenta FARMA-ALG.	163
Figura 66 – Dados de recomendação obtidos para diferentes quantidades de respostas incorretas.	166
Figura 67 – Número de CC's obtidas para diferentes valores de Θ	167
Figura 68 – Número de recomendações obtidos para diferentes valores de Θ	168

Lista de tabelas

Tabela 1 – Notas do Grupo de Controle (GC)	142
Tabela 2 – Notas do Grupo Experimental (GE)	143
Tabela 3 – Tabela ordenada do histórico da taxa de desistência para a disciplina de Algoritmos e Estruturas de Dados I	152
Tabela 4 – Dados de uso da ferramenta FARMA-ALG coletados durante o expe- rimento	153
Tabela 5 – Sessão de testes 1	164
Tabela 6 – Sessão de testes 2	166

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos	23
1.1.1	Gerais	23
1.1.2	Específicos	23
1.2	Hipótese de Pesquisa	24
1.3	Organização do Trabalho	24
2	FUNDAMENTOS DA EDUCAÇÃO E INFORMÁTICA EDUCATIVA	25
2.1	Breve Histórico das Teorias Pedagógicas	26
2.1.1	Teorias Não-Críticas	27
2.1.1.1	Pedagogia Tradicional	27
2.1.1.2	Pedagogia Nova	28
2.1.1.3	Pedagogia Tecnicista	29
2.1.2	Teorias Crítico-Reprodutivistas	31
2.1.2.1	Teoria do Sistema de Ensino como Violência Simbólica	31
2.1.2.2	Teoria da Escola como Aparelho Ideológico de Estado	32
2.1.2.3	Teoria da Escola Dualista	33
2.2	Pedagogia Histórico-Crítica	33
2.2.1	Pressupostos Teóricos da Pedagogia Histórico-Crítica	34
2.2.2	Natureza e Especificidade da Educação segundo a Pedagogia Histórico-Crítica	37
2.3	Fundamentação Pedagógica na Literatura de Informática Educativa	41
3	MEDIAÇÃO DO ERRO E O PROCESSO DE FORMAÇÃO DE CONCEITOS CIENTÍFICOS	51
3.1	Perspectivas Históricas de Erro	52
3.1.1	Perspectiva Tradicional	52
3.1.2	Perspectiva da Escola Nova	53
3.1.3	Perspectiva Tecnicista	54
3.1.4	Perspectiva de Erro Presente na Prática Docente Contemporânea	56
3.1.5	Fracasso Escolar e Culpabilização do Aluno	59
3.2	Psicologia Histórico-Cultural e Desenvolvimento Humano	63
3.2.1	Diferenças Individuais e de Grupo	64
3.2.2	Desenvolvimento do Psiquismo Humano	70
3.3	O Papel do Erro na Formação de Conceitos Científicos	75

4	ARCABOUÇO DE SISTEMA PARA AUXÍLIO À MEDIAÇÃO DO ERRO	81
4.1	Resenha Literária	82
4.1.1	Histórico e Taxonomia de Sistemas da Informática Educativa	83
4.1.2	Trabalhos Relacionados	85
4.2	A mediação do erro e a Informática Educativa	90
4.3	Arcabouço Proposto	93
4.3.1	Conceitos Fundamentais	93
4.3.2	Armazenamento	95
4.3.3	Recuperação	96
4.3.3.1	Derivação do grafo de similaridade de alunos	98
4.3.3.2	Definição das questões potencialmente relevantes	99
4.3.3.3	Definição das respostas mais representativas	100
4.3.4	Manipulação	100
4.3.4.1	Algoritmo para Propagação de Tags	102
4.3.5	Visualização Semântica dos Dados	103
4.3.6	Cenários de Uso	105
4.3.6.1	Uso básico do Aluno	105
4.3.6.2	Uso básico do Professor	106
5	FARMA-ALG: SISTEMA PARA A PROMOÇÃO DA MEDIAÇÃO DO ERRO NO ENSINO DE PROGRAMAÇÃO DE COMPUTADORES	107
5.1	Especificidades do Ensino de Programação de Computadores	108
5.2	FARMA-ALG	111
5.2.1	Ferramenta para ensino de conceitos matemáticos: FARMA	111
5.2.2	Visualização rápida de respostas	114
5.2.3	Armazenamento	116
5.2.3.1	Máquina de similaridade	116
5.2.3.2	Grafo de similaridade	118
5.2.4	Recuperação	119
5.2.4.1	Busca	119
5.2.4.2	Recomendação	121
5.2.5	Manipulação	123
5.2.5.1	Classificação	124
5.2.5.2	Controle das relações de similaridade	126
5.2.6	Visualização	128
5.2.6.1	Grafo	129
5.2.6.2	Linha do Tempo	133
5.2.6.3	Visualização de respostas	133

5.2.6.4	Outras visualizações	134
6	EXPERIMENTOS E RESULTADOS	139
6.1	Avaliação dos impactos da ferramenta FARMA-ALG	139
6.1.1	Detalhes do experimento	140
6.1.2	Pré-teste	141
6.1.3	Análise dos resultados obtidos	141
6.1.3.1	Verificação 1: Pré-testes GC e GE	143
6.1.3.2	Verificação 2: Pré-teste e pós-teste GC	144
6.1.3.3	Verificação 3: Pré-teste e pós-teste GE	145
6.1.3.4	Verificação 4: Pós-testes GC e GE	146
6.1.4	Análise alternativa dos resultados (Prova 1 como Pré-teste)	147
6.1.4.1	Verificação alternativa 1: Prova 1 GC e GE	147
6.1.4.2	Verificação alternativa 2: Prova 1 e pós-teste GC	148
6.1.4.3	Verificação alternativa 3: Prova 1 e pós-teste GE	148
6.1.5	Discussão dos resultados	149
6.1.6	Dados coletados	152
6.2	Visão dos alunos sobre a mediação do erro	154
6.3	Impressões dos alunos sobre o uso do FARMA-ALG	162
6.4	Verificação do Algoritmo de Recomendação de Respostas	164
6.5	Contribuições alcançadas	169
6.5.1	Publicações	170
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	171
7.1	Resultados alcançados	172
7.2	Trabalhos Futuros	173
	REFERÊNCIAS	175
	ANEXOS	182
	ANEXO A – PRÉ-TESTE	183
	ANEXO B – PROVA 1	188
	ANEXO C – PROVA 2	189
	ANEXO D – PROVA 3	190
	ANEXO E – QUESTIONÁRIO MEDIAÇÃO DO ERRO - ALUNOS	192

ANEXO F – QUESTIONÁRIO FARMA-ALG	195
---	------------

1 Introdução

No Relatório de Desenvolvimento divulgado em 2013 pelo PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), no ano de 2012, o Brasil teve a terceira maior taxa de abandono escolar entre os 100 países com maior IDH (Índice de Desenvolvimento Humano). Concluiu-se que um em cada 4 alunos que iniciavam o ensino fundamental abandonaria a escola antes do último ano.

A questão da evasão de alunos da escola, exposta pelo relatório do PNUD, é apenas uma das faces de um fenômeno maior chamado fracasso escolar. Tema de inúmeras pesquisas nos campos de pedagogia e psicologia da educação, esse fenômeno tem diferentes origens. Desde condições precárias para o trabalho educativo até consequências impostas por certas concepções filosóficas contribuem para a manifestação do fracasso de alunos durante o período escolar. Entretanto, como destacado por [Aquino \(1997b\)](#), uma propriedade clara sobre este fenômeno é a sua relação com o *erro* apresentado por alunos durante as atividades educativas. Segundo este autor, o insucesso escolar de alunos é uma consequência direta do excesso de erros por eles cometidos.

Porém, muito ao contrário do que se pode interpretar, não é o *errar* do aluno que contribui para o seu fracasso, mas sim a falta de atenção dada ao seu erro. Em outras palavras, *quando não mediado ou problematizado*, o efeito cumulativo do erro é o próprio fracasso do estudante. Portanto, o aluno que erra e que permanece no erro por diversas razões, entre elas a falta de mediação apropriada pelo professor, é o indivíduo que sofre o fracasso na escola.

O aluno que erra tem, ainda, que enfrentar mais um problema: a culpabilização por seu erro. A concepção de erro presente no ideário de professores segue os traços básicos de uma visão negativa pautada em princípios da Pedagogia Tradicional. Segundo a qual, o erro é a expressão de uma displicência do aluno com os estudos, ou ainda, de sua incapacidade psico-biológica. Diferentes estudos como [Patto \(1996\)](#), [Machado \(1997\)](#), [Oliveira \(1997\)](#), [Tuleski e Eidt \(2007\)](#) clarificam que, ao menor sinal de dificuldades de aprendizagem, alunos são enviados para uma “avaliação psicológica” com o objetivo de encontrar o porquê de suas “dificuldades”. Em geral estes são desviados do processo “normal” e são rotulados como “alunos diferentes”. Sujeitos a análises apressadas e imprecisas, fazem número ao (imenso) conjunto de alunos diagnosticados com supostos “distúrbios de aprendizagem”, tornando-se alvos do crescente movimento de medicalização de crianças e adolescentes.

Portanto, fazem-se imprescindíveis estudos que visem a apresentação de alternativas para que o erro seja melhor entendido, observado e trabalhado por professores e

alunos. Em outras palavras, é importante que promovam a *mediação do erro na educação escolar*. Nesse contexto, mediar o erro significa torná-lo objeto de uma atividade de ensino. Problematizá-lo. Colocá-lo como elemento de um processo de desenvolvimento.

Ao se considerar a problemática do erro na educação e suas consequências, como o fracasso escolar, tem-se claro de que suas implicações extrapolam os muros das escolas. Uma série de questões sócio-políticas fazem parte da discussão em prol da mediação do erro. Dessa maneira, para que uma investigação coerente seja formulada, é preciso, antes de atacar o referido problema, concentrar-se de maneira breve no campo da Filosofia da Educação. Somente através deste estudo prévio é que se pode tomar uma posição perante as inúmeras variáveis que surgem no transcorrer dessa temática. Dessa forma, é imprescindível, a tomada de consciência de posicionamento teórico. Pois, a não fundamentação, intencional ou não, implica na escolha e aceitação da concepção hegemônica de educação presente na sociedade. Tal aceitação inclui a concordância com o projeto de sociedade definido por essa concepção, bem como seus pressupostos políticos e filosóficos. Isto posto, toma-se a abordagem histórico-crítica (linha teórica baseada nos preceitos do materialismo histórico-dialético, descrita em detalhes na sequência deste trabalho) como norteadora das análises pedagógicas do presente estudo.

Nessa perspectiva, sabe-se que, nas últimas décadas, muito se tem estudado acerca do papel e da utilização de erros (por exemplo, exercícios resolvidos de maneira incorreta) nos processos de ensino e aprendizagem. Pesquisas como as apresentadas por [Aquino \(1997a\)](#), [Pinto \(2000\)](#) e [Nogaro e Granella \(2012\)](#) são exemplos de trabalhos que reforçam a contribuição positiva do uso do erro na educação.

Embora teorias pedagógicas comumente presentes no ideário dos professores, como o construtivismo, destaquem a importância do “errar” durante o processo de ensino e aprendizagem, muitos professores, no decorrer de sua prática, mantêm uma visão tradicional do erro. Tal visão aponta o erro como um resultado imediato da incapacidade intelectual do aluno ou sua displicência com os estudos. Dessa forma, professores deixam de problematizar o erro e, pelo contrário, apresentam indiferença quanto a ele e à sua análise, ou se mostram completamente intolerantes ao mesmo. Nesse sentido, [Serconek \(2006, p. 111\)](#) tece comentários sobre a intolerância com o erro:

“A postura intolerante com o erro é fruto de seu entendimento enquanto indicador do oposto ao conhecimento verdadeiro e necessário ao indivíduo, conforme a sociedade e, conseqüentemente, a escola julga como tal. Essa intolerância com o erro provém, também, de sua análise isolada do contexto em que se integra, ou seja, do fato de desconsiderar as condições concretas em que é produzido. O erro é percebido simplesmente enquanto produto direto das atitudes do aluno: sua falta de empenho, sua desatenção, sua preguiça e o pouco exercitar as atividades escolares necessárias para ‘dominar’ os conteúdos propostos pela instituição. A visão intolerante do erro não é resultado de uma construção abstrata de um determinado professor, mas está sedimentada sobre o

movimento real e histórico de um conjunto de sujeitos sociais envolvidos no processo educativo do indivíduo, que, por sua vez, faz parte de uma estrutura social e econômica que determina as condições cotidianas de vida, de trabalho, de ensino e de aprendizagem.”

Essa falta de problematização do erro e, por conseguinte, a indiferença ou intolância com o mesmo, não provém diretamente da falta de interesse ou da formação de um ou outro professor, mas sim de um contexto mais complexo. Serconek (2006) deixa evidente que a análise de erros é uma tarefa árdua na educação escolar. Professores são responsáveis, na maioria dos casos, por um número de alunos muito além do ideal, sendo impossibilitada a análise individual dos erros dos alunos. Neste caso, os educadores acabam adotando procedimentos de correção em grupo, como quando a resposta correta é exposta no quadro negro e os alunos devem corrigir seus próprios erros. Assim, os alunos acabam por não sanar suas dúvidas, além de não desenvolver consciência de seus erros e permanecer sem reorientação por parte do professor. Em geral, as correções dos erros se baseiam, apenas, na reexecução da tarefa incorreta.

Com relação às avaliações, pouco se retorna aos alunos sobre suas dificuldades. Apenas alguns sinais indicando se a resposta está correta ou não, com pouquíssimos, ou nenhum, comentários. Sobre o processo de avaliação, Serconek (2006, p. 131) afirma que:

“[...] textos de avaliação, bem como outras atividades desenvolvidas em sala, servem apenas para verificar a quantidade de erros e acertos e para classificar o aluno em aprovado ou reprovado. Cadernos de produção textual e atividades em folhas avulsas (provas) são retidos, pois servem, também, como material de comprovação da capacidade/incapacidade dos alunos durante um conselho de classe ou perante os pais quando questionam sobre a aprendizagem de seus filhos. [...] dar um visto e ‘fechar o caderno’ não colaboram para o processo de aprendizagem; é estagnar o movimento do conhecimento que necessariamente caminha de um saber mais simples a um mais complexo por meio da mediação planejada do professor.”

Assim, ainda que os registros dos erros não sejam perdidos ou deixados de lado, o volume e o caráter esparso e caótico dos registros mantidos impossibilitam a análise por parte do professor. Neste contexto, reforçando a motivação para esta pesquisa, a autora Serconek (2006, p. 150, grifo nosso) relata sobre a mediação do erro na sala de aula:

“Apesar dos esforços das professoras, comumente as respostas aos exercícios e as produções realizadas pelos alunos ficavam sem verificação e, conseqüentemente, estagnava-se o processo de conhecimento em devir. A carência de feedback às atividades realizadas impedia uma oportunidade de oferecer aos alunos condições de conhecer o que e porque erraram. *Procedimentos de identificação do erro e reconhecimento de suas condições concretas de produção e superação instrumentalizam, junto com outros procedimentos de ensino e aprendizagem, professores e alunos no processo contínuo de transpor conhecimentos prévios e simples para alcançar conhecimentos cada vez mais complexos, prática pouco observada no locus de nossa pesquisa.*

Quando havia correção de atividades, prevalecia a estratégia coletiva. Dificilmente as professoras corrigiam todos os (mais de 30) cadernos ou livros individualmente. Destacaram-se duas modalidades de correção coletiva: aquela em que a professora registrava no quadro as respostas e resultados pretendidos a partir de duas ou três colocações de seus alunos; ou a professora chamava ao quadro alguns alunos para responderem às questões ou operações dadas. Ambas as estratégias de correção coletiva não envolviam discussões ou reflexões sobre os resultados expostos; o aluno, por conta, deveria identificar seus erros e corrigi-los imediatamente.”

Sem uma análise do erro, professores não possuem condições ideais para refletir sobre seu próprio método de ensino, dificultando aprimoramentos, e ficando “reféns” da avaliação somativa como única métrica de qualidade de seu trabalho. Os alunos, por sua vez, ficam sem acesso aos seus erros e da mediação dos mesmos pelo professor, e, portanto, acabam por reduzir a reflexão sobre seu próprio processo de aprendizagem.

Tendo sido expostas, por um lado, a importância da mediação do erro no trabalho educativo e, por outro, as condições adversas enfrentadas por professores e alunos para a efetivação dessa mediação, ressalta-se que pesquisas em Informática Educativa podem contribuir positivamente nesse contexto. Diante disso, verifica-se que boa parte dos problemas materiais que impedem ou dificultam essa mediação são referentes à falta de acesso à informação. Ou as informações são perdidas, ou estão desorganizadas, caóticas, ou são ininteligíveis devido à sua quantidade. Para que haja a mediação, o professor deve estar atento ao erro do aluno. É preciso ter acesso ao contexto em que o erro aconteceu. Enfim, é preciso ter informações sobre o erro e maneiras de tratá-lo. Da mesma forma, é preciso que o aluno possa ver e conhecer seu erro, entender onde e por que errou. E isso é possível através da mediação do professor.

Nesse sentido, ao se analisar os sistemas computacionais existentes envolvidos na problemática do erro na educação, percebe-se uma abordagem diferente. Estes sistemas estão, em sua maioria, em concordância com as pedagogias que valorizam o “aprender a aprender”, as quais, voluntária ou involuntariamente, acabam por diminuir a participação do professor e assumem uma tendência de valorização da aprendizagem em detrimento da transmissão do conhecimento. Além disso, poucos sistemas procuram instrumentalizar o professor em prol de uma prática de superação das condições materiais existentes. Constata-se, ainda, que os atuais sistemas educacionais na informática não proporcionam uma análise aprofundada das conexões existentes entre os erros apresentados por alunos. Nesse contexto, o professor, em geral, tem pouco acesso aos registros de erro, e a remediação ou análise do erro acontece de maneira individual (sem relações entre erros diferentes) e automática (sem a mediação do professor).

De acordo com o problema exposto, vê-se necessário facilitar o acesso aos registros de erros tanto para professores quanto para alunos, com objetivo final na superação da

visão tradicional do erro e na promoção de sua mediação efetiva, proposta por [Serconek \(2011, p. 16\)](#):

“Propõe-se assim, uma mediação dialética do erro, pautada na concepção de ciência do materialismo histórico que critica o estabelecimento de verdades eternas e imutáveis, que recusa a visão formal do certo e do errado e que preconiza o método dialético de apreensão da realidade. A lógica dialética incorpora, portanto, toda a história do conhecimento, suas determinações e relações.”

Tal forma de mediação é fundamentada nas bases da Pedagogia Histórico-Crítica e na Psicologia Histórico-Cultural. A última, linha teórica da Psicologia, é composta pelos estudos da conhecida “Escola de Vigotski”, tendo como seus principais autores os soviéticos Vigotski, Leontiev e Luria. Constituída sobre as concepções do Materialismo Histórico-Dialético, de Karl Marx, tem como principal objeto de estudo o *desenvolvimento social do psiquismo humano*.

A Pedagogia Histórico-Crítica, proposta por [Saviani \(1997\)](#), apresenta uma abordagem pedagógica pautada nas mesmas bases da Psicologia Histórico-Cultural. Nela, a educação é entendida como “o ato de produzir, direta e intencionalmente, em cada indivíduo singular, a humanidade que é produzida histórica e coletivamente pelo conjunto dos homens” ([SAVIANI, 2012](#)).

Ambas as abordagens citadas buscam superar as visões naturalistas e biologizantes do psiquismo, muito presentes nos campos da psicologia e da pedagogia na atualidade. Tal superação é alcançada através da compreensão do ser humano em sua constituição histórica, social e cultural.

Dessa forma, a mediação do erro, se caracteriza não pela remoção do erro, mas por entendê-lo como parte integrante do processo de formação de conceitos. Sobre este processo, vale ressaltar que, para Vigotski, o desenvolvimento humano é composto pela unidade dialética entre o Nível de Desenvolvimento Real e o Nível de Desenvolvimento Próximo ([MARTINS, 2013](#)). O primeiro, é referente ao desenvolvimento já alcançado pelo aprendiz, ou seja, às capacidades intelectuais já consolidadas, atividades que o aprendiz já é capaz de realizar sozinho. O nível de desenvolvimento próximo refere-se às funções psicológicas que estão em processo de desenvolvimento, determinadas através das atividades que o aprendiz não consegue realizar sozinho, mas somente com a orientação de um adulto ou companheiros mais capazes. Assim, a Zona de Desenvolvimento Próximo, ou ZDP, é definida como a distância entre o nível de desenvolvimento real e o nível de desenvolvimento próximo.

Nesse contexto, o aluno, através da ação pedagógica do professor sobre a zona de desenvolvimento próximo, é capaz de superar um conceito simplificado já formado,

composto por generalizações potencialmente incorretas, em direção a conceitos cada vez mais complexos, num processo contínuo de ampliação do conhecimento.

Entretanto, para que este processo de mediação do erro seja possível e para que produza impactos realmente relevantes no desenvolvimento humano dos alunos, é necessário uma mudança nas condições materiais de professores e alunos. Esta mudança deve ocorrer no sentido de permitir que o acesso aos registros de erros, acumulados durante o processo de ensino, seja facilitado. Como já apresentado, o atual cenário educacional dificulta em muito a análise dos registros de erro. Muitos deles nem são acessíveis, e quando são, é praticamente impossível para o professor analisá-los individualmente.

Através das carências apontadas, este trabalho propõe um arcabouço de sistema fundamentado na Pedagogia Histórico-Crítica e na Psicologia Histórico-Cultural, para a manipulação de registros de erros que promova a mediação do erro com participação efetiva do professor. Busca-se, assim, por meio de uma ação efetiva a partir da informática educativa, o desenvolvimento de concepções que superam a visão tradicional do erro e a culpabilização do aluno.

O arcabouço proposto permite ao professor visualizar e manipular registros de respostas e suas relações. Para tanto, desenvolve-se o conceito de grafo de similaridade entre respostas, sobre o qual, com participação ativa do professor, o sistema provê funcionalidades como: classificação semi-automática de respostas, recomendação de respostas para grupo de alunos e diferentes tipos de visualização dos dados armazenados. Com este instrumento, possibilita-se ao professor uma análise do processo de formação de conceitos do aluno de uma maneira mais concreta e sintética em detrimento de uma visão imediatista e empírica.

A partir de uma análise específica do processo de ensino e aprendizagem de programação de computadores, o presente trabalho expõe, também, uma implementação do arcabouço proposto, dando origem à ferramenta FARMA-ALG. Diferentes experimentos realizados para validar as contribuições obtidas por meio do uso da ferramenta em situações reais de ensino são descritos. Como consequência, é possível formular hipóteses com relação à qualidade do arcabouço de sistema apresentado nessa tese e suas contribuições positivas para a mediação do erro.

Diante do exposto, conclui-se que este trabalho justifica-se, de maneira inicial, pela ausência de sistemas desse tipo na literatura de informática educativa do Brasil e Internacional. Os autores desconhecem qualquer abordagem semelhante a esta até a data de escrita deste trabalho. Além da contribuição por se tratar de um sistema computacional diferenciado, que proporciona a manipulação de erros de uma maneira ainda não explorada, o presente trabalho é, para os autores, o primeiro a fundamentar-se em uma abordagem histórico-crítica para a criação de um sistema computacional voltado para a educação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Gerais

O objetivo central desta pesquisa é instrumentalizar professores e alunos na busca da mediação do erro durante o trabalho educativo. Assim, promove-se o uso do erro como parte integrante da dinâmica de formação e desenvolvimento de conceitos científicos dos alunos.

Tal objetivo é alcançado através da definição de um arcabouço de sistema para manipulação de registros de respostas, o qual permite a professores e alunos o armazenamento e o acesso facilitado a registros de erros, abrindo portas para sua mediação.

1.1.2 Específicos

- Instrumentalizar professores e alunos para o auxílio na mediação do erro;
- Permitir o armazenamento e a recuperação facilitada de registros de respostas;
- Promover a mediação do erro na educação escolar;
- Reduzir o esforço de professores na análise dos erros;
- Fornecer uma ferramenta para classificação de erros de forma semi-automática;
- Permitir uma visualização semântica de registros de respostas;
- Desenvolver um sistema de recomendação de erros capaz de oferecer recomendações relevantes de registros de respostas para alunos e professores;
- Permitir meios para tomada de ações pedagógicas pelos professores para a superação das condições adversas impostas à mediação do erro;
- Implementar o arcabouço proposto nessa pesquisa para o domínio de ensino de programação de computadores;
- Aproximar a Pedagogia Histórico-Crítica e a Psicologia Histórico-Cultural da literatura de Informática Educativa;
- Apresentar uma revisão dos conceitos da Filosofia da Educação relevantes para pesquisas da Informática Educativa;
- Promover a superação da visão tradicional do erro no processo de ensino e aprendizagem;
- Constatar a relevância da mediação do erro na formação de conceitos durante a educação escolar por meio da análise dos processos psíquicos envolvidos nesse processo;

- Aplicar o sistema desenvolvido em escolas e universidades;
- Coletar dados sobre o uso do sistema para análise e sua adequação;
- Validar a proposta através de dados coletados durante a aplicação do sistema em ambientes de ensino;
- Produzir (através da aplicação do sistema) um banco de dados de exercícios e respostas (e suas possíveis classificações) do domínio de programação de computadores, e disponibilizá-lo para pesquisas futuras.

1.2 Hipótese de Pesquisa

A hipótese central desse estudo é: um sistema computacional capaz de prover o armazenamento, a recuperação, a visualização e a manipulação de registros de respostas e quando disponibilizado como instrumento para professores e alunos promove a mediação do erro na educação escolar. Proporciona, inclusive, a superação da visão negativa comumente aplicada ao erro durante o trabalho educativo em direção à formulação da concepção da mediação do erro como elemento indispensável no processo de formação de conceitos científicos de alunos.

1.3 Organização do Trabalho

A organização do restante desse trabalho é a seguinte: para proporcionar um aprofundamento crítico da presente discussão, o próximo Capítulo exhibe uma breve revisão sobre os principais conceitos e linhas teóricas da Filosofia da Educação, bem como a explicitação da abordagem tomada como norteadora dessa pesquisa. O Capítulo 3 descreve em detalhes as características do processo de mediação do erro. Para tanto, apresenta-se um levantamento das concepções sobre o erro na educação escolar, como também as peculiaridades da visão contemporânea e suas consequências pedagógicas e sócio-políticas. Na sequência, realiza-se um estudo sobre a linha da Psicologia conhecida como Histórico-Cultural, a qual provê bases para a definição de qual é a participação do erro durante o processo de formação de conceitos dos alunos. O Capítulo 4, por sua vez, descreve em detalhes o arcabouço proposto por este estudo com objetivo na promoção da mediação do erro na educação escolar. A ferramenta FARMA-ALG, criada a partir do arcabouço proposto nesse trabalho, é exposta no Capítulo 5. Experimentos realizados, resultados obtidos e contribuições alcançadas são apresentados no Capítulo 6. E por fim, o Capítulo 7 conclui o trabalho reunindo suas principais contribuições.

2 Fundamentos da Educação e Informática Educativa

São dois os principais objetos de estudo desta tese: a análise do papel do erro e de sua mediação no processo de formação de conceitos científicos do aluno; e a proposição de uma ferramenta computacional para auxílio de tal mediação. Nesse sentido, ao examinar tais objetivos, o que se conclui é que, em última instância, este estudo trata do processo educativo e de suas especificidades.

Portanto, faz-se necessário, antes de analisar o referido problema, concentrar-se de maneira breve no campo da educação. Mais especificamente, no campo da Filosofia da Educação e suas principais orientações teóricas.

No que diz respeito à educação, é imprescindível a tomada consciente de posicionamento. Ou seja, a não fundamentação, intencional ou não, implica na escolha e aceitação da concepção hegemônica de educação presente na sociedade. Tal aceitação inclui a concordância com o projeto de sociedade definido por essa concepção, bem como seus pressupostos políticos e filosóficos.

Por essa razão, conhecer quais são os diferentes posicionamentos possíveis no campo educacional é fundamental. Pode-se, dessa forma, produzir uma pesquisa de base sólida e coerente com os pressupostos filosóficos adotados.

A fim de compor uma breve análise crítica do campo da Filosofia da Educação, este Capítulo inicia-se com a descrição das principais linhas pedagógicas desenvolvidas no decorrer da sociedade capitalista. Esta descrição tem por base o livro “Escola e Democracia” de Dermeval [Saviani \(1997\)](#), o qual classifica e expõe de maneira crítica as principais teorias identificadas pelo autor.

Na sequência, é dada atenção especial à teoria pedagógica tomada como norteadora para o presente trabalho: a Pedagogia Histórico-Crítica. Como mencionado, a escolha de um referencial teórico implica a corroboração com seus diferentes pressupostos. Portanto, a descrição da Pedagogia Histórico-Crítica apresentada neste Capítulo inclui o estudo de seus principais conceitos e concepções. Isso dá subsídios para garantir que os argumentos apresentados nos Capítulos seguintes desta tese estejam em coerência com o referencial escolhido pela presente pesquisa.

Dessa forma, o restante desse Capítulo está organizado como segue: a Seção [2.1](#) descreve o histórico das principais teorias não-críticas e crítico-reprodutivistas, destacadas por [Saviani \(1997\)](#). A Seção [2.2](#) apresenta uma descrição detalhada da Pedagogia Histórico-Crítica adotada como norteadora desta tese. São abordados, na referida Seção,

os pressupostos teóricos dessa linha pedagógica, bem como sua concepção de educação. Por fim, a Seção 2.3 apresenta um estudo crítico da fundamentação pedagógica comumente encontrada na literatura de Informática Educativa.

2.1 Breve Histórico das Teorias Pedagógicas

A presente Seção expõe um breve histórico das principais linhas pedagógicas desenvolvidas no decorrer da sociedade capitalista. O livro “Escola e Democracia” de Dermeval Saviani (1997) é utilizado como base dessa exposição devido a sua reconhecida relevância no campo de estudo da filosofia e história da educação. Dessa maneira, em primeiro lugar, são descritas as pedagogias pertencentes ao grupo denominado “Teorias não-críticas”, do qual fazem parte: Pedagogia Tradicional, Pedagogia Nova e Pedagogia Tecnicista. Em segundo lugar, são apresentadas as pedagogias integrantes do conjunto “Teorias crítico-reprodutivistas”. Neste grupo, as seguintes teorias são expostas: Teoria do Sistema de Ensino como Violência Simbólica, Teoria da Escola como Aparelho Ideológico do Estado e Teoria da Escola Dualista.

No referido livro, Saviani (1997, p. 3) se utiliza do conceito de marginalidade para clarificar as teorias pedagógicas. Dessa forma, ao tratar do problema da marginalidade relativa ao fenômeno da escolarização, o autor afirma que as teorias educacionais podem ser divididas em dois grupos: as teorias que observam na educação um instrumento para a equalização social, ou seja, para a superação da marginalidade; e, no outro grupo, as teorias que entendem o oposto, isto é, que a educação é um instrumento de marginalização por exercer uma discriminação social.

Claramente, os dois grupos diferem radicalmente na maneira em que entendem as relações entre educação e sociedade. De maneira geral, por um lado, as teorias presentes no primeiro grupo consideram que a sociedade possui uma essência harmoniosa. A marginalidade nesse caso é apenas um desvio na conduta social que pode ser corrigido através da educação. Assim, a educação constitui “uma força homogenizadora que tem por função reforçar os laços sociais, promover a coesão e garantir a integração de todos os indivíduos do grupo social” (SAVIANI, 1997, p. 4). Nesse sentido, considera-se que a educação possui uma vasta autonomia em relação à sociedade e suas relações. A educação, então, por ser autônoma, não sofre da questão da marginalidade e, pelo contrário, possui a capacidade de interferir positivamente nessa questão. Saviani (1997) denomina este grupo de teorias de “Teorias não-críticas”, pois “encaram a educação como autônoma e buscam compreendê-la a partir dela mesma” (SAVIANI, 1997, p. 4).

Por outro lado, o segundo grupo apresenta uma concepção de sociedade diferente. Para estas teorias, a divisão de classes antagônicas está no âmago da sociedade. Assim, a marginalidade é um fenômeno inerente à própria estrutura social, pois a classe que detém

maior força, dita dominante, se apropria dos resultados da produção social, e relega os demais, os dominados, à condição de marginalizados. Dessa maneira, por ser perpassada pela luta de classes, a educação se origina nessa mesma estrutura social, sendo um instrumento de reprodução da *marginalidade social* através da produção da *marginalidade cultural*. Esse grupo é denominado por Saviani (1997) como “Teorias crítico-reprodutivistas”, pois são críticas ao demonstrar que a educação está atrelada às relações sociais. Entretanto, são reprodutivistas, visto que entendem que a função básica da educação é a de reprodução dessas relações.

A seguir são descritas as características marcantes das teorias mais representativas de cada grupo.

2.1.1 Teorias Não-Críticas

Esta Seção destaca os principais pontos do primeiro grupo definido por Saviani (1997), as Teorias Não-Críticas. Como visto anteriormente, as teorias não-críticas baseiam-se no ideal de que a educação possui independência das relações sociais. Assim, a escola é tida como redentora, ou seja, que pode trazer solução aos problemas da sociedade. Nesse sentido, as teorias descritas a seguir são: Pedagogia Tradicional, Pedagogia Nova e Pedagogia Tecnicista.

2.1.1.1 Pedagogia Tradicional

De acordo com Saviani (1997), as grandes mudanças provocadas pela ascensão da classe burguesa em meados do século XIX suscitaram a criação dos primeiros “sistemas nacionais de ensino”. A nova classe, com o objetivo de superar o “Antigo Regime” de opressão em direção a uma democracia burguesa, baseada na “liberdade” dos indivíduos, criou novas demandas. Era necessário que servos e súditos se tornassem cidadãos esclarecidos. Sendo assim, a educação passa a ser vista como direito de todos e dever do Estado.

Neste contexto, a escola surge como instrumento para encerrar a ignorância. “Seu papel é difundir a instrução, transmitir os conhecimentos acumulados pela humanidade e sistematizados logicamente” (SAVIANI, 1997, p. 6). Assim, a organização da escola era realizada em classes guiadas por um professor que expunha lições e exercícios, seguidos, disciplinadamente, pelos alunos.

Embora tenha gerado um certo entusiasmo no início, os problemas não tardaram a surgir. Além de não ser capaz de garantir educação a todos, os que eram bem-sucedidos nem sempre concordavam com o projeto de sociedade vislumbrado. Dessa forma, em pouco tempo, desenvolveram-se críticas a essa metodologia, denominada desde então de escola tradicional, ou pedagogia tradicional (SAVIANI, 1997).

2.1.1.2 Pedagogia Nova

Saviani (1997) ressalta que, ao fim do século XIX uma série de críticas eram lançadas à pedagogia tradicional e ao seu modelo de escola. Uma dessas críticas deu origem a uma nova teoria denominada Pedagogia Nova, ou “escolanovismo”. Ainda com bases na pedagogia tradicional, essa teoria manteve a crença de que a escola é um instrumento de equalização social. Contudo, apontava que o tipo de escola implantado pela pedagogia tradicional era a origem do fracasso até então apresentado.

O referido autor explica que a Pedagogia Nova argumenta que marginalizado não é o indivíduo ignorante, mas sim o rejeitado pela sociedade. Essa teoria surge com bases em experiências pedagógicas com crianças ditas “anormais”, e pretendeu aplicar os mesmos procedimentos pedagógicos nos sistemas de ensino escolar. A partir daí houve uma biopsicologização da sociedade, da educação e da escola.

Em consonância com os testes de inteligência, de personalidade e outros que surgiam na época, adicionou-se ao conceito de “anormalidade biológica”, a ideia de “anormalidade psíquica”, dando origem à descoberta das diferenças individuais. Assim, a pedagogia nova advoga que os homens não são iguais. Os indivíduos são únicos e não se repetem. Produz-se dessa maneira a ideia de que a marginalidade, ou a anormalidade, não é um fenômeno negativo em si, mas é, sim, apenas uma diferença. Dessa forma, a escola só será um instrumento de equalização social se contribuir para a criação de uma sociedade de indivíduos que aceitam mutuamente suas diferenças e que se respeitam na sua individualidade específica. Nesse sentido, a respeito das características da escola nova, Saviani (1997, p. 9) acrescenta:

“Compreende-se, então, que essa maneira de entender a educação, por referência à pedagogia tradicional, tenha deslocado o eixo da questão pedagógica do intelecto para o sentimento; do aspecto lógico para o psicológico; dos conteúdos cognitivos para os métodos ou processos pedagógicos; do professor para o aluno; do esforço para o interesse; da disciplina para a espontaneidade; do diretivismo para o não-diretividade; da quantidade para a qualidade; de uma pedagogia de inspiração filosófica centrada na ciência da lógica para uma pedagogia de inspiração experimental baseada principalmente nas contribuições da biologia e da psicologia. Em suma, trata-se de uma teoria pedagógica que considera que o importante não é aprender, mas aprender a aprender”.

Percebe-se, pelas palavras de Saviani (1997), que a pedagogia nova, ao ser comparada com a pedagogia tradicional, promoveu uma mudança de foco da educação. Os conteúdos ensinados seriam menos importantes do que o processo de aprendizagem. O aluno e as especificidades de sua aprendizagem passam ao primeiro plano, enquanto o professor e seu conhecimento se tornam secundários.

Entretanto, para a aplicação de tal teoria, a escola tradicional precisava de mudanças. No lugar de classes em que professores dominavam grandes áreas do conhecimento,

deveria-se agrupar os alunos de acordo com áreas de interesse decorrentes de sua atividade livre. Nesse contexto, o professor teria a função de um estimulador, um orientador da atividade, cuja iniciativa deveria partir primordialmente do aluno. Para tanto, professores deveriam trabalhar com poucos alunos e o ambiente deveria ser estimulante, com materiais didáticos, bibliotecas etc. Partiria-se de uma escola tida como sombria e disciplinada para uma escola alegre e colorida (SAVIANI, 1997).

Por um lado, devido aos altos custos demandados por esse modelo de escola, sua aplicação efetiva não atingiu significativamente o sistema escolar tradicional, restringindo-se a pequenos grupos de elite. Por outro, o ideário “escolanovista”, amplamente divulgado, alcançou facilmente educadores e professores. Tal fato causou consequências mais negativas do que positivas para a escola tradicional. Pois tentou-se aplicar os ideais escolanovistas em um ambiente escolar não preparado para isso. Assim, gerou-se o afrouxamento da disciplina e a despreocupação com a transmissão do conhecimento. Portanto, uma das principais consequências dessa ação foi a atenuação do único acesso das camadas mais populares ao conhecimento, o qual era obtido na escola através da transmissão do saber (SAVIANI, 1997).

Saviani (1997) assinala que, de maneira contraditória, a escola nova acabou por agravar o problema da marginalidade e produziu impactos sociais. Acabou por afastar a discussão do problema escolar das questões políticas e dissimulou ainda mais o vínculo da educação com as relações sociais. Ao reduzir as discussões políticas e valorizar as questões internas da escola, a pedagogia nova teve um papel importante na propagação das relações de dominação da sociedade capitalista. Sobre isso, Saviani (1997, p. 10) conclui:

“ao enfatizar a ‘qualidade do ensino’ ela [a escola nova] deslocou o eixo de preocupação do âmbito político (relativo à sociedade em seu conjunto) para o âmbito técnico-pedagógico (relativo ao interior da escola), cumprindo ao mesmo tempo uma dupla função: manter a expansão da escola em limites suportáveis pelos interesses dominantes e desenvolver um tipo de ensino adequado a esses interesses. É a esse fenômeno que denominei de “mecanismo de recomposição da hegemonia da classe dominante””

O ideário escolanovista foi difundido amplamente pelo mundo. Seu impacto pôde ser mais claramente percebido nos países da América Latina, a partir do século XX.

2.1.1.3 Pedagogia Tecnicista

Segundo Saviani (1997), com uma série de esperanças levantadas pelo escolanovismo que não foram alcançadas, ao final do século XX, esta teoria já apresentava claros sinais de exaustão.

Embora a escola nova tenha se tornado dominante como concepção teórica, ou seja, suas ideias estavam presentes no ideário da grande maioria dos profissionais de educação,

sua impossibilidade de implantação gerou um campo fértil para o surgimento de uma nova teoria, a Pedagogia Tecnicista. Tal teoria, apoia-se nos pressupostos da neutralidade científica e é inspirada nos princípios de racionalidade, eficiência e produtividade. Tem como ponto chave estruturar o processo educativo de maneira objetiva e operacional (SAVIANI, 1997).

A pedagogia tecnicista busca organização racional do ensino para diminuir falhas e interferências subjetivas, sempre em busca de eficiência. Ocasionalmente, assim, a proliferação de propostas pedagógicas com o enfoque sistêmico (microensino, telensino, instrução programada, máquinas de ensinar etc.) nessa pedagogia. É visível o parcelamento do trabalho pedagógico em busca da padronização do sistema de ensino.

Nesse âmbito, o elemento central não é nem o professor, como na pedagogia tradicional, nem o aluno, como na escola nova. Desta vez, o elemento principal passa a ser a organização racional dos meios, secundarizando professor e alunos, os quais se tornam apenas executores de um projeto concebido e organizado por especialistas supostamente habilitados, neutros, objetivos e imparciais (SAVIANI, 1997).

Essa teoria pedagógica gerou mudanças no trabalho educativo semelhantes às ocasionadas pela transformação do trabalho artesanal em trabalho fabril durante o processo de industrialização da sociedade (SAVIANI, 1997). Neste processo, o trabalhador, ao invés de dominar e utilizar os instrumentos de trabalho a seu favor, deve se adaptar aos instrumentos utilizados no processo e participar de uma pequena parcela de produção do produto final. Assim, o trabalhador torna-se alienado¹ do produto final de seu trabalho. Em outras palavras, o produto final da educação, isto é, o saber objetivo, é apenas uma decorrência da organização do processo. Alunos e professores são meros participantes do método educativo. Dessa forma, a garantia da eficiência vem da organização do ensino, a qual, teoricamente, reduz deficiências do professor e maximiza sua intervenção. Professores e alunos devem se adaptar ao processo, e não apenas fazer uso dele. O processo comanda o ensino.

A partir desta concepção, o marginalizado é, então, o ineficiente, o improdutivo. A educação reduzirá a marginalidade se formar indivíduos produtivos e eficientes, que contribuirão para a sociedade executando suas tarefas de maneira satisfatória.

A base de sustentação teórica da educação passa a ser a psicologia behaviorista, a engenharia comportamental, a ergonomia, informática, cibernética etc, as quais se assemelham pela inspiração filosófica neopositivista e o método funcionalista. Saviani (1997, p. 14) coloca que, “do ponto de vista pedagógico, conclui-se que, se para a pedagogia tradicional a questão central é aprender e para a pedagogia nova, aprender a aprender, para a pedagogia tecnicista o que importa é aprender a fazer”.

¹ Mais sobre alienação em (MARX, 2004) e (MÉSZÁROS; TAVARES, 2007)

A tentativa de aproximar a escola de um sistema de produção fabril acaba por gerar uma grande burocratização do ensino e da formação de professores (SAVIANI, 1997). Instruções minuciosas de como proceder são descritas e impostas às escolas e seus integrantes. É sabido que tais práticas geraram vários problemas que persistem até os dias de hoje, especialmente, em países subdesenvolvidos. Por exemplo, nestes países, a aplicação de programas internacionais de implantação de tecnologias de ensino, tão indicadas pelas ideias tecnicistas, claramente tinham interesses para além da educação, como a venda de artefatos tecnológicos obsoletos para sociedades em desenvolvimento (SAVIANI, 1997).

2.1.2 Teorias Crítico-Reprodutivistas

Enquanto as teorias presentes no primeiro grupo, não-críticas, consideram que apenas a educação tem o poder de agir sobre a estrutura social e suas relações, as teorias crítico-reprodutivistas apoiam a ideia contrária. Isto é, as teorias crítico-reprodutivistas postulam não ser possível compreender a educação senão a partir dos seus condicionantes sociais.

Tais teorias partilham da ideia de que a educação está em direta dependência das relações da sociedade onde está inserida. Concluem, a partir disso, que a própria educação consiste na reprodução da sociedade e suas relações. Saviani (1997) elege três teorias como as mais representativas deste grupo: teoria do do sistema de ensino como violência simbólica, teoria da escola como aparelho ideológico do estado e teoria da escola dualista. Abordam-se de maneira breve cada uma delas nas seções seguintes.

2.1.2.1 Teoria do Sistema de Ensino como Violência Simbólica

Teoria apresentada pelos autores P. Bourdieu e J. -C. Passeron na obra “A Reprodução: elementos para uma teoria do sistema de ensino”, de 1975. Nessa obra, os autores expõem uma série de proposições logicamente articuladas que desenvolvem, a partir de um esquema analítico-dedutivo, uma “explicitação das condições lógicas de possibilidade de toda e qualquer educação para toda e qualquer sociedade de toda e qualquer época e lugar” (SAVIANI, 1997, p. 17). Assim, sempre a partir de um enunciado universal, verdade a-temporal, os autores geram uma aplicação lógica de tal enunciado no campo educacional.

O ponto inicial da teoria consiste de que “toda e qualquer sociedade estrutura-se como um sistema de relações de força material entre grupos e classes” (SAVIANI, 1997, p. 18). Sendo assim, a partir desta força material surge (de maneira involuntária) um sistema de forças, ou violências simbólicas, que tem por função reforçar, por dissimulação, as relações de força material.

Dentre as muitas formas de manifestação da violência simbólica (formação de

opinião por meios de comunicação, religião, literatura etc.) está o sistema escolar. Dessa maneira, os autores explicam a ação pedagógica institucionalizada, ou seja, a escola, “como imposição arbitrária da cultura dos grupos e classes dominantes aos grupos e classes dominados” (SAVIANI, 1997, p. 19).

Em relação a essa teoria, os marginalizados se identificam com os indivíduos dos grupos e classes dominados, pois não possuem nem força material (capital econômico) e nem força simbólica (capital cultural). Conseqüentemente, a classe dominada está à mercê da educação que irá reproduzir a marginalidade imposta pelas relações sociais. Qualquer tentativa de utilização da educação como instrumento para equalização social irá resultar, invariavelmente, em fracasso. Em vista disso, Snyders, ao criticar a teoria de Bourdieu-Passeron, a resume como: “Bourdieu-Passeron ou a luta de classes impossível” (SNYDERS; ALBARRAN, 1977 apud SAVIANI, 1997, p. 21). Em suma, a teoria da violência simbólica implica em uma dominação absoluta do grupo ou classe dominante, sendo impossível a superação deste cenário, muito menos através da educação.

2.1.2.2 Teoria da Escola como Aparelho Ideológico de Estado

Segundo Althusser, Aparelhos Ideológicos de Estado (AIE's) são uma materialização da ideologia corrente (ALTHUSSER, 1985 apud SAVIANI, 1997, p. 22). Desse modo, tais aparelhos funcionam como instrumentos da classe dominante para perpetuar sua dominação.

Dentre os vários AIE's citados por Althusser, como AIE religioso, AIE político, AIE familiar, entre outros, situa-se o AIE escolar, o qual foi colocado como dominante em formações capitalistas maduras. Este torna-se o mais acabado instrumento de reprodução das relações de produção do tipo capitalista ao tomar “todas as crianças de todas as classes sociais e inculca-lhes durante anos a fio de audiência obrigatória “saberes práticos” envolvidos na ideologia dominante” (SAVIANI, 1997, p. 23). Os indivíduos que participam do processo educativo dividem-se em 3 grupos: trabalhadores que concluem apenas a escolaridade básica, pequenos burgueses com escolarização média e os “agentes da exploração” que concluem a educação integral.

Ao considerar o problema da marginalidade nesta teoria, Saviani (1997) conclui que os marginalizados são os integrantes da classe trabalhadora. Esta classe surge da expropriação dos trabalhadores através da ação e dominação dos capitalistas. Embora Althusser reconheça a luta de classes e que a educação, junto aos demais AIE's, seja o local para uma possível luta em direção a superação das condições sociais, ele mesmo nomeia essa luta como heróica, sem chance de êxito, em vista do peso da dominação burguesa e de seus inúmeros AIE's.

2.1.2.3 Teoria da Escola Dualista

A teoria elaborada por C. Baudelot e R. Establet, em 1971, apresentada no livro “L’École Capitaliste en France”, conclui que a escola é dividida em duas redes que correspondem à divisão da sociedade capitalista: burguesia e proletariado. Fazendo uso da ideia de AIE’s de Authursser, os autores enunciam uma série de proposições fundamentais, das quais entendem que a escola é apenas um instrumento de reprodução das relações de exploração do capitalismo.

A partir das proposições enunciadas, os autores concluem que, além de contribuir para a formação da força de trabalho, a escola, ao mesmo tempo, tem por função a inculcação da ideologia burguesa. Nesse processo, existem duas ações: a disseminação explícita da ideologia burguesa; e o recalçamento, a sujeição e o disfarce da ideologia proletária.

Saviani (1997) salienta que a diferença desta teoria está em considerar que existe, sim, uma ideologia proletária. Entretanto, esta se encontra fora da escola (está nas relações de produção e de trabalho). A ideologia burguesa é a única presente e disseminada pelos AIE’s. Conseqüentemente, a escola fica distante de ser um instrumento de equalização social e se torna um fator duplo de marginalização, posto que, além de expor a ideologia dominante a todos, a escola acaba por afastar os trabalhadores da própria ideologia proletária.

Apesar de considerarem a luta de classes, os autores dessa teoria não consideram a escola como um local e alvo dessa luta. A escola é vista como um instrumento exclusivo da burguesia na luta ideológica contra o proletariado. Para os autores, a classe proletária é capaz de gerar sua própria ideologia independentemente da escola. Dessa forma, “por referência ao aparelho escolar, a luta de classes revela-se inútil” (SAVIANI, 1997, p. 29).

As teorias críticos-reprodutivistas expostas geraram, durante a década de 1970, novamente com clareza na América Latina, uma série de estudos críticos com relação ao sistema de ensino. Entretanto, produziram também um clima de pessimismo e desânimo entre os educadores, o que dificultou ainda mais a superação dos problemas do sistema educacional.

2.2 Pedagogia Histórico-Crítica

Na presente Seção é apresentado um panorama geral da Pedagogia Histórico-Crítica. Esta teoria pertence ao grupo de pedagogias que se convencionou chamar de *Progressistas*, ou contra-hegemônicas, e possui bases no método materialista histórico-dialético, elaborado por Karl Marx e Friedrich Engels. Em busca de um posicionamento crítico no campo da educação, tomou-se a Pedagogia Histórico-Crítica como referencial

teórico norteador dessa pesquisa. Sendo assim, a fim de clarificar e justificar tal escolha, esta Seção apresenta os pressupostos básicos desta teoria, bem como sua concepção de educação e sua especificidade.

Diferentemente das teorias crítica-reprodutivistas, as teorias progressistas são baseadas, em sua maioria, nos pressupostos marxistas, e buscam ir além da tomada de consciência do caráter político da educação. Para tanto, se apropriam das críticas apresentadas pelos críticos-reprodutivistas, mas propõem uma nova concepção de educação. Uma concepção que surge, sobretudo, da relação entre educação e transformação social (ARANHA, 2006). Pautadas nessa nova concepção, as teorias progressistas observam a educação atravessada pelas relações sociais de dominação, mas também como instrumento de ruptura e superação dessas relações.

Dentre os principais representantes das teorias progressistas, podemos citar George Snyders, Antonio Gramsci, Pistrak, Makarenko, Vásquez entre outros. No contexto brasileiro temos Moacir Gadotti, Paulo Freire e Dermeval Saviani.

Dermeval Saviani foi o principal articulador e precursor da teoria pedagógica conhecida como Pedagogia Histórico-Crítica. Nesta, Saviani busca compreender o papel mediador da educação no processo de transformação social. Entretanto, ao contrário das teorias não-críticas, não entende que a educação pode, por si só, produzir a democratização da sociedade. Essa mudança deve ocorrer de forma mediatizada, através da transformação das consciências (ARANHA, 2006). Para que se possa entender como ocorre essa transformação, faz-se necessário conhecer os pressupostos teóricos da Pedagogia Histórico-Crítica, bem como sua concepção de natureza da educação e suas especificidades.

2.2.1 Pressupostos Teóricos da Pedagogia Histórico-Crítica

Os pressupostos teóricos presentes na Pedagogia Histórico-Crítica são de base marxista. Por essa razão, para ter, de maneira clara, qual é o posicionamento dessa linha pedagógica, é mister conhecer os fundamentos básicos da teoria de Karl Marx. Portanto, essa Seção aborda tais fundamentos. Em primeiro lugar, é descrito o conjunto de ideias que formam a corrente filosófica denominada de Materialismo Histórico-Dialético. Em segundo lugar, apresenta-se o conceito marxista de trabalho, bem como a importância desse conceito no desenvolvimento histórico humano, caracterizada pela relação dialética entre objetivação e apropriação.

Segundo Chauí (2012), Karl Marx e Friedrich Engels observaram a correlação entre a transformação da consciência humana e o modo de produção de cada momento histórico. Os autores descobriram que as condições materiais de produção e reprodução da existência promovem transformações no modo como a consciência interpreta, compreende e representa a realidade. Dessa maneira, “Marx e Engels afirmaram que ao contrário do

que se pensa, não são as ideias humanas que movem a história, mas são as condições históricas que produzem as ideias” (CHAUI, 2012, p. 480).

Esta forma de conceber a realidade descrita por Marx e Engels, segundo a qual a matéria antecede a ideia, é denominada *Materialismo Histórico-Dialético*. **Materialismo**², pois, em oposição ao idealismo, as condições materiais determinam nosso ser e pensar. **Histórico**, visto que a cultura humana não surge naturalmente, ou decorre de eventos divinos, mas depende apenas da ação concreta dos seres humanos no tempo. E, por fim, **dialético**, porque afirma que o processo histórico não é um processo linear, mas sim “um processo de transformações sociais determinadas pelas contradições entre os meios de produção (a forma da propriedade) e as forças produtivas (o trabalho, seus instrumentos, as técnicas)” (CHAUI, 2012, p. 481).

No centro do materialismo histórico-dialético temos, como fundamento base, a categoria *trabalho*. Trabalho é a atividade vital humana. É onde nascem as propriedades, as necessidades, as possibilidades e os limites do homem (MARTINS, 2013). Assim, trabalho é a relação dos seres humanos, na produção de sua existência, com a natureza e entre si (CHAUI, 2012). Através do trabalho, o homem modifica a natureza para satisfazer suas necessidades e, dialeticamente, resulta-se modificado. Em outras palavras, “pelo trabalho, os seres humanos não consomem diretamente a natureza nem se apropriam diretamente dela, mas a transformam em algo humano também” (CHAUI, 2012, p. 486). É nesse processo que ocorre, quando as propriedades naturais já não bastam, a complexificação do psiquismo.

No mesmo sentido, Duarte (2011, p. 139) aponta que o trabalho é sintetizado, na obra de Marx, através da “dinâmica essencial do processo de produção e reprodução da cultura humana”. Dito de outra forma, tal dinâmica é a dialética entre objetivação e apropriação. Esta relação dialética toma forma na relação homem-natureza, na qual, através do trabalho, na sua atividade transformadora, o homem se apropria da natureza incorporando-a à sua prática social. Na mesma medida, ocorre um processo de objetivação

² “A noção de *materialismo* surge, pela primeira vez, na filosofia grega. As escolas estoica e epicurista afirmaram, contra Platão, Aristóteles e neoplatônicos que só existem corpos ou a matéria. Os epicuristas, retomando ideias dos pré-socráticos atomistas (Leucipo e Demócrito), afirmaram que o espírito era átomo material sutil diáfano. Nos séculos XVII e XVIII, reagindo contra o espiritualismo cristão, muitos filósofos se disseram materialistas, querendo com isso dizer que só existe a natureza e que esta é matéria (átomos, movimento, massa, figura, etc.). Como vivemos em sociedades cristãs (mesmo que haja outras religiões minoritárias), o materialismo sempre foi considerado blasfêmia e heresia porque nega a existência de puros espíritos, a imortalidade da alma e a separação entre Deus e natureza. O senso comum social, absorvendo a crítica espiritualista, fala em “materialismo” para referir-se a pessoas que só acreditam nesta vida terrena, egoístas e ambiciosas, sem preocupação com a salvação eterna e com o bem e a salvação do próximo. O “materialista” é o que gosta de prazeres, riquezas e luxo (rigorosamente, portanto, dever-se-ia dizer que os burgueses são “materialistas”, embora se digam cristãos espiritualistas). Quando Marx fala em “materialismo”, a matéria a qual se refere não são os corpos físicos, os átomos os seres naturais, e sim as *relações sociais de produção econômica*. Seu materialismo visa opor-se ao idealismo espiritualista hegeliano, para o qual a força que move a história é a ideia, o espírito, a consciência” (CHAUI, 2012, p. 481).

da consciência humana sobre a natureza, criando uma realidade objetiva, portadora de características humanas. Ou seja, uma natureza humana.

Diferentemente dos animais que apenas consomem os recursos naturais, o homem transforma a natureza de acordo com suas necessidades para garantir sua sobrevivência. Nesse processo, ao se objetivar sobre a natureza uma nova realidade é produzida. Tal realidade, a fim de ser apropriada, exige transformações subjetivas, ou seja, a superação por incorporação, pela nova apropriação, da realidade apropriada anteriormente. Destaca-se aqui o termo “incorporação” em oposição a “exclusão”, visto que, no movimento de superação, não se descarta a realidade anterior, mas sim apropria-se dela em um novo nível qualitativo. A nova consciência que se tem da realidade, isto é, a nova apropriação, entra em contradição com a apropriação anterior, a qual é, então, reelaborada para compor os novos elementos da consciência. Consequentemente, a nova realidade produzida através da objetivação é tanto objetiva (material) quanto subjetiva (psíquica). E, dessa maneira, produz necessidades de um novo tipo, exclusivamente sócio-culturais. Por conseguinte, a finalidade da atividade vital do homem, ou seja, a finalidade do trabalho, acaba por se distanciar cada vez mais de suas necessidades naturais imediatas, contudo, sem descartá-las. Estas necessidades de novo tipo, levam o homem a novas objetivações e novas apropriações num processo sem fim. Acontece, assim, um desenvolvimento histórico (DUARTE, 2011).

Essa dinâmica se expressa de forma clara na produção de instrumentos (não necessariamente objetos físicos, mas também não-físicos como a linguagem, comunicação etc). O instrumento é, no início, um conjunto de elementos puramente naturais, que seguem a lógica natural. Por exemplo, um graveto é apenas um graveto, sem funções aparentes a não ser a sua função natural. Assim, a partir de uma necessidade, o homem se apropria desses elementos naturais (graveto) e, através do trabalho, objetiva sua consciência. Dessa forma, o objeto passa a ter outros significado, passa a ser um meio para o alcance de determinada finalidade no interior da prática social. Em nosso exemplo, o graveto passa a ter uma outra função para o ser humano. Ou seja, torna-se um instrumento e, portanto, possui agora uma “lógica humana”, possui um novo significado. Entretanto, este significado não é arbitrário, natural. Para o instrumento ser apropriado pelos demais homens, seu significado, sua função, deve fazer parte da prática social. Tem-se, aqui, a expressão fundamental da educação, pois, a produção humana deve ser transmitida de maneira que seja apropriada pelo conjunto dos homens.

Nesse processo, de transformação de um objeto em instrumento, é necessário ao homem conhecer anteriormente as propriedades naturais inerentes ao objeto. Enfim, conhecer sua “lógica natural”. Não importa se tal conhecimento seja incompleto, impreciso ou obtido de maneira empírica. Qualquer que seja sua forma, este conhecimento prévio é necessário. Logo, na medida em que o homem complexifica sua atividade e, por consequên-

cia, complexifica seus instrumentos, seu conhecimento sobre a realidade também se torna mais complexo. Assim, eventualmente, com o desenvolvimento social, o conhecimento adquiriu autonomia em relação à utilidade prática dos objetos. Exemplo disso é a ciência que “permite, cada vez mais, conhecer a natureza na sua legalidade própria, interna, legalidade essa que, em sua origem, não é resultado de nenhum tipo de ato consciente” (DUARTE, 2011, p. 142).

É possível concluir, então, que não haveria um desenvolvimento histórico se a apropriação humana se restringisse a um conjunto fechado de instrumentos para satisfação de um conjunto também fechado de necessidades. É a geração de necessidades de novos tipos oriundas da relação dialética entre objetivação e apropriação que permite o desenvolvimento histórico do homem. Daí considerar que esta relação é a dinâmica fundamental da historicidade do homem. O homem é, assim, um ser histórico e social. Nesse sentido, nada se torna histórico se não for apropriado pela prática social, isto é, pelo conjunto de indivíduos, e esta (a prática social), por sua vez, não se torna histórica se não objetivar suas apropriações.

A partir dos pressupostos apresentados (materialismo histórico-dialético, trabalho e a dialética entre objetivação e apropriação) é possível compreender como ocorre o processo de desenvolvimento histórico da consciência humana. É em consonância com essas concepções que se estrutura a Pedagogia Histórico-Crítica. Através delas, Saviani concebe o que é trabalho educativo, ou seja, qual é a natureza da educação e qual é a sua especificidade.

2.2.2 Natureza e Especificidade da Educação segundo a Pedagogia Histórico-Crítica

Em rigor, toda pedagogia possui uma definição de educação originada da sua base filosófica e que guia suas práticas. Dessa forma, esta Seção analisa, segundo a Pedagogia Histórico-Crítica, a natureza da atividade educativa, a qual se caracteriza pela categoria marxista de trabalho não-material, e a especificidade do trabalho educativo, que se identifica com a socialização do saber sistematizado.

De acordo com Saviani (2012), ao considerar a educação um fenômeno próprio dos seres humanos, tem-se que sua natureza deriva da compreensão da natureza humana. Nesse contexto, segundo os pressupostos teóricos da Pedagogia Histórico-Crítica, sabe-se que a educação, enquanto atividade exclusivamente humana, está relacionada com o conceito de trabalho.

Como descrito na Seção 2.2.1, o trabalho é a atividade vital humana. Tal atividade se adéqua a finalidades antecipadas mentalmente pelo indivíduo. Logo, é uma atividade intencional. Dessa forma, dizer “que educação é um fenômeno próprio dos seres humanos

significa afirmar que ela é, ao mesmo tempo, uma exigência do e para o processo de trabalho, bem como é, ela própria, um processo de trabalho” (SAVIANI, 2012, p. 11).

Nesse sentido, por um lado, para assegurar o processo de existência humana, temos a produção de bens materiais que garantem a subsistência dos indivíduos. A atividade de produção desses bens materiais pode ser classificada como “trabalho material”. Por outro lado, para a execução do trabalho material é necessário a representação mental dos objetos reais, a fim de possibilitar a antecipação das finalidades da atividade. Ou seja, possibilitar o planejamento da atividade. Tal representação mental exige conhecimentos das propriedades do mundo, os quais são oriundos de um outro tipo de produção, chamado de “trabalho não material”. Inclui-se aqui a produção de ideias, conceitos, valores, símbolos, hábitos, atitudes, habilidades. Em outras palavras, “trata-se da produção do saber, seja do saber da natureza, seja do saber sobre a cultura, isto é, o conjunto da produção humana” (SAVIANI, 2012, p. 12).

O trabalho não material, por sua vez, pode ser dividido em duas classes menores no que diz respeito à separação entre produto e produtor. Em primeiro lugar, quando ocorre a separação entre produto e produtor (primeira classe), existe, também, um intervalo entre a produção e o consumo. Por exemplo, ao se escrever um livro, a atividade em questão refere-se a ideias (são ideias postas no papel através da linguagem), logo é caracterizada como trabalho não material. Entretanto, a produção do livro ocorre em um momento anterior ao seu consumo. Ou seja, o livro é produzido e somente em um segundo momento tem suas ideias lidas e apropriadas por outra pessoa. Em segundo lugar, no tipo de trabalho não material em que o produto não se separa do produtor (segunda classe) não há este intervalo. Produção e consumo se sobrepõe. A educação situa-se neste segundo tipo de trabalho não material. Saviani (2012, p. 12) exemplifica este tipo de trabalho não material exatamente com o caso da educação:

“Exemplificando: se a educação não se reduz ao ensino, é certo, entretanto, que ensino é educação e, como tal, participa da natureza própria do fenômeno educativo. Assim, a atividade de ensino, a aula, por exemplo, é alguma coisa que supõe, ao mesmo tempo, a presença do professor e a presença do aluno. Ou seja, o ato de dar aula é inseparável da produção desse ato e de seu consumo. A aula é, pois, produzida e consumida ao mesmo tempo (produzida pelo professor e consumida pelos alunos).”

Ao analisarmos o excerto acima, concluí-se que a atividade de ensino, embora esta não represente a educação em sua completude, compõe o fenômeno educativo. Dessa forma, a exemplo de uma aula, a produção do ensino (pelo professor) não se separa do seu consumo (pelos alunos). Tem-se, assim, que a natureza da educação, segundo a Pedagogia Histórico-Crítica, é um trabalho não material em que o produto não se separa do produtor.

Caracterizada a natureza da educação de acordo com os pressupostos teóricos, segue-se, então, para a definição da sua especificidade. Nesse sentido, a produção do

trabalho não material (ideias, valores, conceitos etc.) ao ser considerada em si mesma, de maneira externa ao homem e sua natureza, interessa, como objeto de estudo, ao campo das ciências humanas. Em contrapartida, na perspectiva da pedagogia, enquanto ciência da educação, tal produção interessa a partir do instante em que os homens devem assimilá-la com objetivo final na constituição da natureza humana. Em outras palavras, no momento em que a apropriação do trabalho não material se torna um elemento chave na formação humana de cada indivíduo, a produção deste trabalho se torna, então, objeto de estudo da pedagogia.

Diante disso, como visto anteriormente, é necessário que as objetivações humanas sejam apropriadas pelos demais indivíduos para que se tornem históricas e façam parte da prática social. Em suma, a produção histórica humana não é dada pela natureza aos homens. Igualmente, a natureza humana, isto é, a cultura, não é fornecida ao indivíduo ao nascer. É necessário que o que não é provido pela natureza seja produzido pelos homens, e nisso se incluem os próprios homens. Conclui-se, então, que a própria natureza humana deve ser produzida historicamente. Isto posto, define-se que, segundo a Pedagogia Histórico-Crítica, o trabalho educativo, ou a própria educação, é: “o ato de produzir, direta e intencionalmente, em cada indivíduo singular, a humanidade que é produzida histórica e coletivamente pelo conjunto dos homens” (SAVIANI, 2012, p. 13).

Ao partir dessa definição de educação, Saviani (2012) coloca que o objeto do trabalho educativo diz respeito a dois aspectos. O primeiro é a identificação dos elementos culturais que precisam ser assimilados. Ou seja, a definição de quais conhecimentos são essenciais para a produção da natureza humana nos indivíduos³. O segundo aspecto, por sua vez, refere-se à descoberta das formas adequadas de desenvolvimento do trabalho pedagógico. Isto é, diz respeito ao estudo da “organização dos meios (conteúdos, espaço, tempo e procedimentos) através dos quais, progressivamente, cada indivíduo singular realize, na forma de segunda natureza, a humanidade produzida historicamente” (SAVIANI, 2012, p. 13).

Para definir, então, a especificidade da educação, Saviani (1997), coloca em evidência a educação escolar⁴. Ao longo da História, a forma de educar foi alterada, sempre de acordo com os modos de produção de cada época, até chegar à sua forma atual predominante: a educação escolar. Este tipo de educação nada mais é do que a própria institucionalização do trabalho educativo. Exigência de um momento histórico que corresponde ao surgimento e ao desenvolvimento da sociedade capitalista.

Para Saviani (2012, p. 14), o objetivo da instituição escolar, ou apenas escola, é a socialização do saber sistematizado. Este saber constitui o conhecimento elaborado, em

³ Aqui se destaca a definição de “clássico” como algo que se firmou como essencial.

⁴ Entende-se aqui como educação escolar não apenas os primeiros anos de ensino, da educação primária ao ensino médio, mas sim todo o processo educativo e seu carácter institucional, o qual inclui a educação superior.

oposição ao conhecimento espontâneo; constitui o conhecimento científico em oposição ao conhecimento “natural”, ou senso comum. Assim, a escola existe para “propiciar a aquisição dos instrumentos que possibilitam o acesso ao saber elaborado (ciência), bem como o próprio acesso aos rudimentos desse saber”. Reside aí a especificidade da educação: a socialização do saber sistematizado.

Entretanto, para que a escola exerça sua função, é preciso viabilizar as condições para a existência do ensino, como coloca [Saviani \(2012, p. 17\)](#), ao definir “saber escolar”:

“Vê-se, assim, que para existir a escola não basta a existência do saber sistematizado. É necessário viabilizar as condições de sua transmissão e assimilação. Isso implica dosá-lo e sequenciá-lo de modo que a criança passe gradativamente do seu não domínio ao seu domínio. Ora, o saber dosado e sequenciado para efeitos de sua transmissão-assimilação no espaço escolar, ao longo de um tempo determinado, é o que nós convençamos chamar de “saber escolar”.”

Isto posto, sabe-se que, para ter garantida a especificidade da educação, isto é, a socialização do saber sistematizado, as formas de transmissão do saber e a sua organização devem ser aprimoradas e desenvolvidas. É necessário, então, que este saber seja, antes de tudo, objeto de estudo. Nesse sentido, [Saviani \(2012\)](#) aponta quais são as três tarefas que a Pedagogia Histórico-Crítica tem por dever cumprir a fim de proporcionar a socialização do saber sistematizado:

1. Identificação das formas mais desenvolvidas em que se expressa o saber objetivo produzido historicamente, reconhecendo as condições de sua produção e compreendendo as suas principais manifestações, bem como as tendências atuais de transformação;
2. Conversão do saber objetivo em saber escolar, de modo que se torne assimilável pelos alunos no espaço e tempo escolares;
3. Provimento dos meios necessários para que os alunos não apenas assimilem o saber objetivo enquanto resultado, mas apreendam o processo de sua produção, bem como as tendências de sua transformação.” ([SAVIANI, 2012, p. 8](#))

Por alinhar-se com as tarefas acima citadas e com o projeto de sociedade preconizado pela Pedagogia Histórico-Crítica, é que o presente trabalho tem como base de sua fundamentação a teoria em questão. Este estudo está em consonância com o propósito de superação da atual sociedade dividida em classes antagônicas, ou seja, de superação do capitalismo. Isto posto, entende-se que a Pedagogia Histórico-Crítica é a linha teórica que mais se identifica com os objetivos desta tese.

Diante do exposto até aqui, concluí-se que um projeto de Informática Educativa, baseado na Pedagogia Histórico-Crítica, que se proponha a facilitar o trabalho educativo, deve estar atento ao conjunto de tarefas levantadas por [Saviani \(2012\)](#). Deve, também,

estar de acordo com seus pressupostos, mantendo um posicionamento coerente com a teoria.

Uma vez definida a fundamentação teórica para esta tese, é possível então, realizar um levantamento crítico das principais teorias presentes em seu campo de estudo, a Informática Educativa. Este levantamento é importante para que se conheça qual é o posicionamento pedagógico predominante no momento histórico atual e para que se entendam as suas causas e efeitos. Por essa razão, na próxima Seção, são analisadas de maneira crítica as concepções pedagógicas predominantemente presentes, de forma intencional ou não, nos trabalhos recentes da literatura de Informática Educativa.

2.3 Fundamentação Pedagógica na Literatura de Informática Educativa

Ao analisar estudos recentes, em especial o trabalho apresentado por [Ferreira e Duarte \(2012\)](#) intitulado “O lema aprender a aprender na literatura de informática educativa”, pode-se concluir que existe uma corrente ideológica predominante nos trabalhos presentes na literatura de Informática Educativa (IE). Esta corrente é nomeada pelos referidos autores de “pedagogias de aprender a aprender”. Seus pressupostos estão contidos nas principais referências utilizadas nos trabalhos de IE, como o construtivismo, de Jean Piaget, e o construcionismo, de Seymour Papert. Em vista disso, a presente Seção busca constatar tal posicionamento, expor as suas principais características e apontar suas consequências.

O estudo de [Ferreira e Duarte \(2012\)](#), apresenta uma análise atual das concepções pedagógicas presentes na literatura nacional de IE sob o aporte da Pedagogia Histórico-Crítica. Os autores demonstram que a orientação hegemônica presente na literatura de IE pode ser denominada como “pedagogia do aprender a aprender” ([DUARTE, 2011](#)). Apesar das nuances que as distinguem, é uma reunião das especificidades de pedagogias como o construtivismo, construcionismo, pedagogia dos projetos e da pedagogia das competências. São, de maneira geral, teorias e práticas oriundas do escolanovismo e que tem se renovado nos últimos anos.

É importante notar aqui o conceito de *hegemonia*. A definição de hegemonia trata de um processo de “condução”. Assim, uma ideia hegemônica significa um conceito dominante que está presente nas relações da sociedade e que guia as ações e os pensamentos dos indivíduos. Entretanto, esse processo de condução é, muitas vezes, mascarado, não claro. Dessa forma, uma ideia hegemônica nem sempre é seguida de maneira consciente pelos indivíduos, mas sim, está subentendida, apoiada pela ideologia dominante. Nesse sentido, [Saviani \(1980, p. 2\)](#) descreve sobre os efeitos da concepção hegemônica:

“Com efeito, a concepção de mundo hegemônica é exatamente aquela que, mercê de sua expressão universalizada e seu alto grau de elaboração, logrou obter o consenso das diferentes camadas que integram a sociedade, vale dizer, logrou converter-se em senso comum. É nesta forma, isto é, de modo difuso, que a concepção dominante (hegemônica) atua sobre a mentalidade popular articulando-a em torno dos interesses dominantes e impedindo ao mesmo tempo a expressão elaborada dos interesses populares, o que concorre para inviabilizar a organização das camadas subalternas enquanto classe.”

Duarte (2011) defende que as pedagogias do aprender a aprender fazem parte de uma ideologia de desvalorização da transmissão do saber objetivo, do saber sistematizado, e da descaracterização da escola e do papel do professor. Tratam-se de teorias que visam preparar os indivíduos para aprenderem o que é exigido no processo de adaptação às alienadas e alienantes relações sociais do capitalismo contemporâneo.

Segundo o autor, o lema “aprender a aprender” carrega consigo quatro posicionamentos valorativos, a saber:

- a aprendizagem que o indivíduo realiza por si mesmo, nas quais está ausente a transmissão, por outros indivíduos, de conhecimentos e experiências, é tida como mais desejável;
- é mais importante o aluno desenvolver um método de aquisição, elaboração, descoberta, construção de conhecimentos, do que aprender os conhecimentos que foram descobertos e elaborados por outras pessoas;
- a atividade do aluno, para ser verdadeiramente educativa, deve ser impulsionada e dirigida pelos interesses e necessidades da própria criança;
- a educação deve preparar os indivíduos para acompanharem a sociedade dinâmica em acelerado processo de mudança, onde os antigos (tradicionais) métodos de ensino já não são suficientes para preparar tais indivíduos para que sejam adaptativos às exigências sociais que enfrentarão.

A título de exemplo, mostramos aqui o posicionamento de Piaget sobre o que seria necessário mudar no ensino de ciências:

“A primeira dessas condições é naturalmente o recurso aos métodos ativos, conferindo-se especial relevo à pesquisa espontânea da criança ou do adolescente e exigindo-se que toda verdade a ser adquirida seja reinventada pelo aluno, ou pelo menos reconstruída e não simplesmente transmitida. Ora, dois frequentes mal-entendidos reduzem bastante o valor das experiências realizadas até agora neste sentido. O primeiro é o receio (e, para alguns, a esperança) de que se anule o papel do mestre, em tais experiências, e que, visando ao pleno êxito das mesmas, seja necessário deixar os alunos totalmente livres para trabalhar ou brincar

segundo melhor lhes aprouver. Mas é evidente que o educador continua indispensável, a título de animador, para criar as situações e armar os dispositivos iniciais capazes de suscitar problemas úteis à criança, e para organizar, em seguida, contra-exemplos que levem à reflexão e obriguem ao controle das soluções demasiado apressadas: o que se deseja é que o professor deixe de ser apenas um conferencista e que estimule a pesquisa e o esforço, ao invés de se contentar com a transmissão de soluções já prontas.” (DUARTE, 1998 apud PIAGET, 1984).

Não se trata de ignorar os importantes avanços apresentados por Piaget e por outras teorias do lema “aprender a aprender”, mas sim, de determinar quais são as bases e os eventuais efeitos desse posicionamento. Tais pedagogias apresentam uma concepção negativa sobre o ato de ensinar (DUARTE, 1998), segundo a qual a aprendizagem realizada pelo próprio indivíduo seria preferível à transmissão do conhecimento. Em oposição a essa concepção, retoma-se, então, a definição de trabalho educativo proposta pela Pedagogia Histórica-Crítica (descrita anteriormente na Seção 2.2.2 e reproduzida aqui por conveniência), como sendo “o ato de produzir, direta e intencionalmente, em cada indivíduo singular, a humanidade que é produzida histórica e coletivamente pelo conjunto dos homens” (SAVIANI, 2012, p. 13). A partir dessa definição, nota-se o caráter ativo e intencional do trabalho educativo. Conseqüentemente, o trabalho educativo é uma atividade intencionalmente dirigida por fins. O que o diferencia das formas espontâneas de educação (como a aprendizagem realizada pelo próprio aluno), nas quais o fim não é produzir a humanidade no indivíduo.

Outras pesquisas, como a apresentada por Medeiros, Silva e Aranha (2013), corroboram com a conclusão de que a orientação hegemônica nos trabalhos de IE é a das pedagogias do aprender a aprender. Os referidos autores apresentam um caso pequeno, porém expressivo. Ao analisar a produção científica sobre o ensino de programação através de jogos digitais no Brasil, os autores observaram que, de 17 artigos considerados relevantes para o tema, 4 tem fundamentação construtivista, 3 tem fundamentação na Taxonomia de Bloom, 1 tem fundamentação na teoria de aprendizagem significativa e 9 não apresentaram a utilização de alguma teoria pedagógica para elaborar sua metodologia de ensino de programação. As três teorias encontradas possuem especificidades do aprender a aprender. Além disso, o fato de 9 pesquisas (a grande maioria) não apresentarem nenhuma fundamentação teórica reforça que a orientação hegemônica possui um caráter tão dominante que não é necessário nem ao menos sua definição. É como se só existisse uma única teoria, um conjunto de ideias que é consensual e que não apresenta implicações políticas e sociais.

Nesse sentido, Ferreira e Duarte (2012) apresentam um panorama geral das concepções pedagógicas presentes na literatura nacional de IE. As duas mais representativas são: *construtivismo* e *construcionismo*. A primeira, refere-se à corrente pedagógica baseada na epistemologia genética de Jean Piaget e “defende que o conhecimento é construído

pelo sujeito no processo de interação com o objeto cognoscível” (FERREIRA; DUARTE, 2012, p. 1020). A segunda, por sua vez, estabelecida por Seymour Papert, pesquisador influente na área, é por ele assim sintetizada: “dando-se às crianças boas coisas para se fazer elas poderão ‘aprender fazendo’ muito melhor do que [aprendiam] antes” (PAPERT, 1980, parte 1). Os autores definem, então, construcionismo como “o processo pelo qual o sujeito adquire um conhecimento, usando-o para ‘construir’ algo” (FERREIRA; DUARTE, 2012, p. 1021).

Para Ferreira e Duarte (2012), a prática pedagógica que se origina do lema “aprender a aprender” é a de que a escola deve assegurar as condições necessárias para o aluno aprender autonomamente. Assim, não pode submeter o aluno ao ensino ou como polo receptivo de uma transmissão de conhecimentos. Em geral, de acordo com os autores, o aprender a aprender é confrontado contra uma abordagem de ensino dita tradicional, ou instrucionismo, sendo a primeira, aprender a aprender, identificada como a mais afinada a uma prática educacional democrática.

A contraposição entre ensino e aprendizagem existente na literatura da IE é um ponto chave nesta discussão. Uma primeira evidência dessa contraposição são os *três estágios* da aprendizagem definidos por Papert, os quais seriam estágios na relação entre o indivíduo e o conhecimento. Para Papert, no primeiro estágio, durante a idade inicial do indivíduo, a aprendizagem seria autodirigida, no sentido de que a criança começaria a explorar o ambiente ao seu redor sem a participação dos pais, os quais poderiam até pensar que estariam ensinando algo à criança, mas, ao contrário, o ensino nesse estágio seria algo de pouca importância.

Já o segundo estágio teria seu auge na escola onde a criança pararia de aprender por conta própria, e iniciaria o processo de aprendizagem através do ensino dos adultos. Tal processo interromperia a capacidade de aprender da criança. Entretanto, nesse momento, podem surgir o que Papert chama de “sobreviventes” da escola: crianças que aprenderiam certas habilidades, como ler e usar uma biblioteca, e manteriam, assim, sua capacidade de aprender.

Por fim, no terceiro estágio, seria o momento em que o adulto volta a aprender de maneira parecida àquela do primeiro. Este estágio seria marcado, como na idade inicial, por uma aprendizagem muito mais ativa, pelo fazer, e menos verbal, em contraposição ao segundo estágio. Dessa forma, para Papert, a tecnologia na educação pode dispensar o segundo estágio, e em consequência, o processo de escolarização que seria “traumático, perigoso e precário” (PAPERT, 2000, parte 1). Apesar de deliberadamente adotar um tom polêmico para tratar da relação ensino/aprendizagem, Papert deixa claro sua percepção de que o ensino é prejudicial a aprendizagem dita autônoma (FERREIRA; DUARTE, 2012).

Outros autores como Fagundes, Maçada e Sato (1999) seguem a mesma linha de

pensamento, e chegam a questionar: “Quando iremos nos dar conta de que o processo *natural* de desenvolvimento do ser humano é ‘atropelado’ pela escola e pelas equivocadas práticas de ensino?” (FAGUNDES; MAÇADA; SATO, 1999, p. 18, grifo nosso). Ferreira e Duarte (2012) demonstram com clareza que ideias como a de que aprendizagem deve ser alcançada pela iniciativa do aluno, e não pela transmissão, são, praticamente, uma unanimidade nos trabalhos de IE. Outro ponto de grande aceitação na literatura de IE, apontado pelos autores, é a negação de tudo que se possa relacionar com a escola dita “tradicional”, como “a passividade do aluno, a disposição das carteiras, a transmissão de conhecimento, e etc” (FERREIRA; DUARTE, 2012, p. 1024).

Ferreira e Duarte (2012) esclarecem que não rejeitam a crítica sobre o ensino tradicional, feita, entre outros, pelo movimento escolanovista. Para os autores, tal crítica contém aspectos de inegável pertinência. Entretanto, como já havia salientado Saviani (1997), o questionamento deve ser que “em nome dessa crítica, se desvalorize a transmissão de conhecimento historicamente elaborado e se negue o papel da escola na seleção de conteúdos a serem ensinados” (FERREIRA; DUARTE, 2012, p. 1025).

Nesse sentido, Ferreira e Duarte (2012) realizam uma análise crítica do ideário presente na literatura de IE. O primeiro ponto é com relação aos três estágios definidos por Papert. Os autores atentam para o fato de que, no primeiro estágio, Papert acaba por identificar aprendizagem espontânea com aprendizagem autodirigida. Deve-se notar que aprendizagem autodirigida é um processo autoconsciente, o que não ocorre com os bebês. Assim, para que a aprendizagem do bebê, ou a exploração do mundo, seja efetiva, e até segura, esta deve ser mediada por adultos. Dessa maneira, determinadas experiências serão estimuladas, por serem consideradas proveitosas, enquanto outras serão impedidas, como no caso de ingestão de produtos prejudiciais à saúde da criança. Os autores salientam ainda que o uso de utensílios por adultos nas atividades do dia a dia acaba por ensinar a criança a se relacionar com objetos socialmente criados. Isto é, outras formas de ensino estão presentes durante o processo de desenvolvimento da criança. Assim, “desde o primeiro dia de vida de um ser humano, suas aprendizagens são mediadas pelas relações com outras pessoas” (FERREIRA; DUARTE, 2012, p. 1025). Fato esse apoiado nas pesquisas de Vigotski, Leontiev e Luria, e demonstrado por Martins (2013) (detalhes sobre o processo de ensino e aprendizagem são descritos no Capítulo 3).

Em suma, Ferreira e Duarte (2012) caracterizam a visão de Papert como um reducionismo do ensino, o qual ignora outras formas de ensino além da que ocorre dentro da escola. Para os autores, “há muitas formas de se ensinar e muitos níveis de consciência acerca do processo de ensino, tanto por parte de quem ensina como por parte de quem aprende” (FERREIRA; DUARTE, 2012, p. 1026).

De forma geral, as posições hegemônicas presentes na literatura de IE tendem a aproximar a aprendizagem a um processo de investigação científica. Para Saviani (1997),

transformar o ensino em um processo de pesquisa seria artificializá-lo. Nesse sentido, Saviani (1997, p. 47) considera que:

“[...] o desconhecido só se define por confronto com o conhecido, isto é, se não se domina o já conhecido, não é possível detectar o ainda não conhecido, a fim de incorporá-lo, mediante a pesquisa, ao domínio do já conhecido [...]. Qualquer pesquisador sabe que ninguém chega a ser pesquisador, a ser cientista, se ele não domina os conhecimentos já existentes na área em que ele se propõe a ser investigador, a ser cientista.”

Vale apontar aqui a relação dialética entre criatividade e reprodução. Como tratou-se na Seção 2.2.1, a dinâmica do trabalho é a relação dialética entre os processos de apropriação e objetivação. Todavia, esta relação dinâmica não surge apenas quando o ser humano cria algo absolutamente novo. A repetição da produção de um instrumento também é um processo de apropriação e objetivação (DUARTE, 2011). Na produção de algo já existente, pode-se descobrir novos aspectos que culminarão no seu desenvolvimento, ou ainda, pode-se descobrir novas formas de sua utilização. À vista disso, não se pode separar, ou dicotomizar, os processos de reprodução e criatividade. Ambos possuem uma relação dialética, ou seja, são interdependentes. Por essa razão, para desenvolver a criatividade, o trabalho educativo não precisa e não deve ser concebido como incompatível com a reprodução da cultura existente.

Um exemplo interessante da tendência de aproximar a aprendizagem a uma investigação científica está contido na seguinte afirmação: o atual acesso massivo às tecnologias de informação (internet, TV, radio etc.) permite que alunos busquem por si mesmos o conhecimento. Para analisar este ponto, é necessário retomar as contradições presentes na sociedade capitalista. Nessa sociedade, o trabalhador é privado da propriedade dos meios de produção. Segundo Saviani,

“se o saber objetivo constitui parte dos meios de produção, ele também se encontra perpassado, na sociedade capitalista, pela contradição entre a socialização do trabalho e a apropriação privada dos meios de produção, contradição essa que só pode ser superada com a superação do capitalismo”(DUARTE, 2011, p. 51).

Por essa razão, acreditar que o simples acesso às tecnologias de informação garantiria o acesso ao conhecimento historicamente produzido aos alunos é acreditar que o capitalismo está socializando os meios de produção. A simples vontade (que também deve ser intencionalmente produzida) dos alunos não garante a produção do conhecimento.

O próximo ponto analisado por Ferreira e Duarte (2012) é o **projeto de sociedade** que orienta as pedagogias do aprender a aprender. Aqui, ao analisar novamente as ideias de Papert, os autores apontam a identificação entre habilidade de competir e habilidade de aprender descrita de maneira clara na seguinte passagem (PAPERT, 1994, p. 13):

“Hoje, nos países industrializados, a maioria das pessoas tem empregos que não existiam na época em que muitos nasceram. A habilidade mais determinante do padrão de vida de uma pessoa é a capacidade de aprender novas habilidades, assimilar novos conceitos, avaliar novas situações, lidar com o inesperado. Isso será cada vez mais verdadeiro no futuro: a habilidade para competir tornou-se a habilidade de aprender.”

Assim, prosseguem os autores,

“Embora Papert não faça uma defesa clara e explícita de uma sociedade baseada na competição entre indivíduos e entre nações, ele toma esse tipo de sociedade como algo dado e não sujeito à problematização, e simplesmente afirma: ‘a habilidade para competir tornou-se a habilidade de aprender’; e esta é a questão determinante ao ‘padrão de vida de uma pessoa’ ” (FERREIRA; DUARTE, 2012, p. 1026).

O projeto de educação que faz apelos à criatividade e à autonomia de pensamento e que forma indivíduos competitivos para uma sociedade competitiva, descrita por Papert, promove a reprodução dos ideais capitalistas de suporte às relações de dominação (FERREIRA; DUARTE, 2012). Além disso, em uma sociedade competitiva que promove a formação de “vencedores” está posta, também, a existência de “perdedores”. Situação esta, facilmente demonstrada pela história dos últimos séculos.

Assim como nas relações de exploração da sociedade capitalista, do ponto de vista educacional, o lema “aprender a aprender” provoca um esvaziamento do sujeito. No lugar de formar indivíduos com conhecimento, que sabem algo, formam-se sujeitos predispostos a aprender aquilo que seja interessante para sua adaptação à vida social (mercado). Dessa forma, o conhecimento aprendido possui menos valor do que a forma como é aprendido. Essa forma deve produzir o “aprender a aprender”.

No que se refere aos problemas com a caracterização imprecisa do ensino tradicional presente na literatura de IE, Ferreira e Duarte (2012) destacam o que seria, de uma maneira geral, a presença constante de um certo senso comum de ensino tradicional. Este representa a falta de uma análise histórica e teoricamente bem fundamentada do que seja uma educação “tradicional”. Assim, os autores descrevem a análise histórica feita por Saviani (1997), apoiada em Gramsci e Snyders, a respeito da escola tradicional. Nesta análise, Saviani (1997) define três teses em contraposição ao ideário escolanovista.

A primeira tese visa contrapor a ideia de que a escola nova seria revolucionária, enquanto a escola tradicional seria conservadora. Aqui, Saviani (1997) esclarece que a escola tradicional foi defendida pela burguesia no momento em que esta se apresentava como classe revolucionária na luta contra o feudalismo. Em contrapartida, no momento em que a burguesia desempenhava papel de classe dominante, em busca da manutenção das condições vigentes, inicia-se a defesa pela escola nova.

A segunda tese de Saviani (1997) versa sobre a visão de que o método proposto pela escola nova seria científico, enquanto o proposto pela escola tradicional seria oriundo de um pensamento pré-científico. Neste ponto o autor argumenta que, enquanto a escola tradicional centrava seu método na transmissão do produto do pensamento científico, a escola nova confundia ensino com pesquisa. Assim, Ferreira e Duarte (2012, p. 1030) colocam:

“A verdadeira pesquisa científica é aquela que avança no que é desconhecido pela sociedade e isso só pode ser realizado por pessoas que dominam aquilo que já é socialmente conhecido. Ao desconsiderar a importância da transmissão do conhecimento científico já existente, a escola nova estaria colocando-se numa posição não científica, ao contrário do que seus defensores alegavam.”

Por fim, a terceira tese de Saviani (1997) questiona a ideia de que a escola nova seria democrática e a escola tradicional seria autoritária e antidemocrática. Como consequência das outras duas teses, Saviani (1997) conclui que, apesar de adotar procedimentos apontados como autoritários, a escola tradicional teria sido mais democrática, uma vez que apoiava-se na transmissão do conhecimento já existente na sua socialização. Por outro lado, a escola nova teria sido antidemocrática ao negar a transmissão do conhecimento aos alunos, embora tenha adotado formas de relacionamento entre professores e alunos ditos democráticos.

Neste ponto, Ferreira e Duarte (2012) reiteram que nem Gramsci, Snyders ou Saviani pretenderam apoiar a adoção da escola tradicional como a mais adequada para uma perspectiva crítica sobre a sociedade capitalista. Mas sim,

“coerentemente com a categoria de historicidade, tão cara ao marxismo, seus argumentos pretenderam simplesmente superar as visões estigmatizantes da escola tradicional e situá-la no movimento da história, o qual aponta para a necessidade da superação tanto da escola tradicional, como das pedagogias do aprender a aprender.” (FERREIRA; DUARTE, 2012, p. 1030).

Os autores salientam que as distorções do que realmente significa a concepção pedagógica tradicional acabam por dificultar o diagnóstico correto da realidade, afetando negativamente discussões e soluções acerca de problemas educacionais, inclusive dos usos de novas tecnologias.

Ferreira e Duarte (2012) apontam, também, uma falsa contraposição entre transmissão e construção de conhecimento. Como salientado anteriormente, pedagogias do aprender a aprender acabam por valorizar a construção do conhecimento em detrimento da sua transmissão. Em alguns trabalhos presentes na literatura de IE existe, inclusive, uma separação tácita entre transmissão e conhecimento. Muitas vezes, a transmissão é vinculada com informação, enquanto construção à conhecimento.

Neste sentido, os autores salientam o papel da mediação no processo de desenvolvimento humano e a presença da unidade dialética entre ensino e aprendizagem, como no trecho a seguir:

“Quando o indivíduo é levado, pelo ensino, a realizar uma atividade mental em relação a esse conhecimento socialmente existente, ele se apropria da atividade intelectual acumulada e estruturada no conhecimento que esteja sendo objeto do trabalho educativo. Para que o ensino alcance sua finalidade, é preciso que a aprendizagem ocorra e, para que isso aconteça, é necessário que o aluno reproduza, por sua atividade intelectual, a essência da atividade intelectual acumulada no conhecimento que lhe está sendo transmitido” (FERREIRA; DUARTE, 2012, p. 1032).

Por último, os autores defendem o papel da transmissão do conhecimento no processo de desenvolvimento humano. Dessa maneira, argumentam que, embora concordem que pode haver ensino sem aprendizagem, isso não significa que a oposição entre ensino e aprendizagem seja necessária ou correta. Dessa forma, para a superação da transmissão de conhecimentos estáticos deve-se realizar a transmissão de conhecimentos na suas formas mais desenvolvidas (mais ricas, mais elaboradas), como preconizado pela Pedagogia Histórico-Crítica. Nessa concepção, novos conhecimentos não se afirmam por pura e simples negação do conhecimento vigente, mas pelo processo dialético de superação por incorporação. Isto posto, os autores reafirmam o papel primordial da escola nesse processo, tanto da seleção de conteúdos, como na busca pelos melhores meios de transmissão para viabilizar a apropriação por parte do aluno, uma vez que nenhuma outra instância social irá cumprir este papel.

Em vista do que foi apresentado, pretendeu-se obter subsídios para a tomada de um posicionamento teórico-crítico no campo pedagógico a fim de nortear a presente tese. Em primeiro lugar, foi formado um panorama geral do processo de produção da educação através da análise das principais teorias pedagógicas na sociedade capitalista. Em segundo lugar, descreveu-se mais detalhadamente, a teoria escolhida como base da presente tese, a Pedagogia Histórico-Crítica. A partir da análise dos seus pressupostos teóricos, evidenciou-se a concepção de mundo alinhada a essa teoria, bem como a definição de educação e da especificidade do trabalho educativo de acordo com a teoria em questão.

Embora a fundamentação teórica pedagógica exposta de maneira clara seja rara nos trabalhos de IE, defende-se aqui que, apesar de implicar em uma complexificação das discussões, esta deve estar presente em todas pesquisas deste campo. Preconiza-se assim, que os fundamentos da educação se tornem uma questão predominante na literatura de IE. Como apresentado, um posicionamento filosófico no campo educacional representa a aceitação de um conjunto de ideias e conceitos que o acompanham e que perpassam questões políticas e sociais. Dessa maneira, a ausência de um posicionamento claro implica na corroboração dos ideais hegemônicos, bem como todas as suas implicações. Ideais que não são apoiados por esta pesquisa.

O próximo Capítulo aborda em detalhes a problemática do erro dos alunos durante o processo de ensino e aprendizagem. Através dos fundamentos teóricos aqui expostos, forma-se uma análise crítica das concepções de erro existentes em busca de um entendimento do real papel do erro no trabalho educativo. Para tanto, tomam-se a Psicologia Histórico-Cultural e a Pedagogia Histórico-Crítica, como unidade teórica norteadora da sequência desse estudo.

3 Mediação do Erro e o Processo de Formação de Conceitos Científicos

Uma vez definida a base teórica pedagógica para que fundamenta este trabalho, pode-se dar continuidade à análise do principal objeto de estudo deste: o erro apresentado por alunos durante o processo de ensino e aprendizagem e suas características.

Sabe-se que a problemática do erro — isto é, respostas tidas como incorretas, ou insuficientes, diferentes das esperadas pelo professor ou pela instituição — e de seu papel no processo de ensino e aprendizagem perpassa uma série de questões pedagógicas. Desde a simples concepção do que o erro representa nesse processo e qual a sua relação com o conhecimento até a análise de sua participação nos processos psicológicos de apreensão da realidade.

Nesse sentido, o presente Capítulo faz uma análise dos vários pontos que concernem ao uso do erro como instrumento pedagógico. Porém, entende-se que tal uso só pode ser compreendido se analisado sob uma ótica de totalidade, de movimento. Em outras palavras, argumenta-se neste trabalho que a unidade de análise do uso do erro na educação não deve ser o erro por si só, isolado, mas sim, a sua *mediação*. É no processo de mediação do erro que se pode capturar e compreender a dinâmica do erro na produção do conhecimento.

Para tanto, em consonância com a Pedagogia Histórico-Crítica e a Psicologia Histórico-Cultural, sob os fundamentos do materialismo histórico-dialético, inicia-se o Capítulo pela descrição das diferentes concepções históricas de erro e de conhecimento existentes no campo da pedagogia. Em seguida, analisa-se, com apoio em estudos recentes, como professores entendem e encaram os erros de seus alunos atualmente. A partir dessa investigação, destaca-se a existência de uma visão predominantemente negativa com relação ao erro na prática dos profissionais da educação. A fim de identificar e compreender quais são as causas materiais e históricas de tal visão, expõe-se a relação entre a noção negativa do erro e a questão do fenômeno do *fracasso escolar*, tendo como ponto-chave a análise da culpabilização do aluno por seu insucesso na escola.

Por fim, investiga-se, com um enfoque psicológico, o papel do erro no processo de ensino-aprendizagem. Dessa forma, são abordados os diferentes posicionamentos existentes no campo da psicologia com relação a origem das diferenças individuais e culturais manifestadas pelos seres humanos. Conclui-se o Capítulo com a descrição da Psicologia Histórico-Cultural e de seus principais preceitos, em busca de uma compreensão do papel do erro no processo de apreensão do conhecimento.

3.1 Perspectivas Históricas de Erro

O que significa o erro em relação ao conhecimento? É algo produtivo, ou apenas representa o insucesso de um processo educativo? Indica problemas do aluno? Essas e muitas outras questões são lançadas quando o erro de alunos se torna objeto de estudo. E, para respondê-las, diferentes concepções de erro foram desenvolvidas. Algumas delas se tornaram representativas de diferentes teorias pedagógicas.

Portanto, antes de se posicionar perante a questão do erro, de suas causas e efeitos, é necessário compreender diferentes concepções acerca desta temática. À vista disso, a seguir descrevem-se três importantes perspectivas oriundas de diferentes linhas pedagógicas já expostas no Capítulo 2: tradicional, escolanovista e tecnicista. Para cada uma delas, apresenta-se uma análise da relação entre erro e conhecimento defendida pela concepção em questão e quais os seus impactos para a prática pedagógica.

3.1.1 Perspectiva Tradicional

Para [Serconek \(2011\)](#), a concepção de conhecimento presente na pedagogia tradicional surge do contexto histórico de sua formação. Como apresentado no Capítulo 2, com a ascensão da classe burguesa, novas necessidades de educação emergem na sociedade. Passa-se então a apreciar a aquisição de valores universais, reais e úteis, como os conhecimentos de ciência, física, mecânica etc., em oposição a educação cavaleiresca da Idade Média. Nessa perspectiva, o conhecimento é exaltado como o elemento primordial para o progresso e a felicidade humana. Já o erro é tido “como oposto ao conhecimento, ou seja, o erro é o elemento causador do retrocesso e da infelicidade” ([SERCONEK, 2011, p. 4](#)).

Os procedimentos da pedagogia tradicional consideram que o aluno possui uma capacidade (inata) inesgotável de adquirir novos conhecimentos. A produção do conhecimento identifica-se, assim, com o próprio processo de memorização. Dessa forma, um conhecimento aprendido é aquele que pode ser reproduzido com exatidão, sem erros. Tem-se então, nesta perspectiva, um sentimento de intolerância ao erro, pois, se o aluno nasce com uma capacidade interminável de aprender, o erro aponta para uma falha no próprio aluno: preguiça, pouco empenho, falta de atenção, pouca prática, entre outras.

A culpabilização do aluno pelo erro implica que a correção da falha dependa apenas de atitudes tomadas por ele mesmo. Consequentemente, não é o professor que deve rever seus métodos ou reelaborar a forma como transmitiu o conhecimento, mas sim, é o aluno que deve se esforçar mais. O máximo de intervenção oferecida pelo professor é apenas a indicação do erro ao aluno. Nesse caso, o método de correção disponibilizado é, em geral, a repetição exaustiva.

Durante a avaliação dos alunos, ou seja, no momento de verificação da aprendiza-

gem, apenas erros e acertos são contabilizados. Pouco se faz além da repreensão dos alunos e da exposição do que seria o resultado correto, esperado pelo professor. O aluno acaba por aceitar o erro como seu fracasso pessoal, sem nenhuma reflexão sobre o conhecimento.

Serconek (2011) salienta a visão do erro como pecado na perspectiva tradicional. O erro é o oposto ao conhecimento e deve ser repreendido pelo professor. Iohannes Amos Comenius, considerado o pai da didática tradicional, é bastante claro nas passagens de seu livro “Didática Magna”: se “o aluno esquecer ou inverter alguma coisa [...] todo o estudo de algum modo será comprometido”, ou ainda, “[quando um saber] for conhecido diferente do que é, não haverá conhecimento, mas erro” (COMENIUS, 1997 apud SERCONEK, 2011, p. 5 e 6).

À vista do que foi posto, conclui-se que a visão tradicional do erro, isto é, aquela exposta pela pedagogia tradicional, advoga que o erro é um empecilho na formação do conhecimento e deve ser extirpado do processo. Uma vez que o aluno é o único culpado por seu fracasso e a superação do erro implica na exigência de sua maior aplicação aos estudos, bem como na denúncia e repreensão do erro.

3.1.2 Perspectiva da Escola Nova

Com as críticas feitas pelo movimento escolanovista em relação aos métodos da pedagogia tradicional, novas visões sobre o erro e seu significado surgiram no meio pedagógico. Em essência, a divulgação do método ativo, originou a ideia de que o erro é parte do processo de aquisição do conhecimento.

Segundo Serconek (2011, p, 7), uma das bases do pensamento escolanovista é a teoria de Jean Piaget, cujo método denominado de ativo corresponde aquele que “se organiza exclusivamente na atividade do aluno sob orientação e estímulo do professor”. Dessa maneira, cabe ao professor analisar a forma de raciocínio do aprendiz e propor problemas adequados. Muda-se, assim, o foco do trabalho docente: este não se resume mais à transmissão do conhecimento, mas sim, torna-se um processo de estudo da aprendizagem do aluno.

A teoria de Piaget preconiza que o verdadeiro conhecimento é aquele que se constrói pela própria experiência do aluno, em um ambiente estimulante e social. Assim, a “aquisição do conhecimento se dá por meio de um sistema de ações exploratórias e reflexivas entre sujeito e objeto” (SERCONEK, 2011, p. 7). É na atuação autônoma sobre o ambiente que o aluno constrói seu conhecimento, reelaborando suas próprias percepções e conclusões da realidade.

Essa concepção de conhecimento conota uma noção de movimento, de construção. O conhecimento não é nem inato ao sujeito e nem pertence exclusivamente ao objeto. Pelo contrário, surge da ação recíproca entre ambos. Nesse movimento, de um conhecimento

simples em direção ao complexo, o erro se apresenta como um estágio temporário. Por essa razão, segundo [PIAGET \(2006\)](#), deve-se incentivar a reflexão dos alunos sobre seus próprios erros, a fim de corrigir e reorientar a construção do seu conhecimento.

Nessa perspectiva, a epistemologia de Piaget advoga que o desenvolvimento cognitivo é comparável ao crescimento orgânico, posto que como este, direciona-se ao equilíbrio ([PIAGET, 2006](#)). Isto é, as capacidades de aprendizagem do aluno dependem do grau de maturidade de suas estruturas cognitivas. Logo, o erro é considerado um indicador de que, ou o aluno não está pronto (não possui a maturidade biológica) para desenvolver a atividade proposta, ou, então, que o trabalho não foi apresentado de maneira a gerar o desequilíbrio necessário à aprendizagem.

A correção dos erros parte, portanto, do professor ao encorajar os alunos a exporem suas hipóteses ao grupo e confrontá-las entre si. Essa discussão permitiria aos alunos refletirem sobre seus erros a partir de visões diferentes das suas. Durante avaliações, o professor, ao invés de apenas marcar as respostas incorretas, deve propor comentários relevantes que produzam um desequilíbrio nas concepções do aluno e proporcionem uma oportunidade de reflexão. O objetivo é tornar o erro algo “construtivo”.

Em suma, na linha da escola nova, sob os preceitos do construtivismo, o erro surge ao professor como instrumento de análise do processo de construção do conhecimento do seu aluno. A partir do erro, o professor pode reorientar sua prática e propor novas atividades condizentes com o nível de desenvolvimento do aprendiz. Este, por sua vez, através dos comentários do professor e da reflexão sobre sua própria atividade, pode perceber onde e porque errou. Dessa forma, ao contrário da perspectiva tradicional, segundo a qual o erro deve ser eliminado, pois é algo contrário ao conhecimento, algo indesejável, a perspectiva escolanovista busca mudar a noção negativa do erro e indicando-o como elemento constituinte do processo de construção do conhecimento.

3.1.3 Perspectiva Tecnicista

As premissas da pedagogia tecnicista, também apresentadas no [Capítulo 2](#), correspondem ao sistema de produção industrial em expansão na segunda metade do Século XX. Dessa forma, assim como na indústria, o processo de ensino passou a ter um caráter metódico. Com objetivo de produzir mais, com um custo cada vez menor e em menos tempo, os métodos pedagógicos começaram a seguir modelos de planejamento, execução e supervisão rígidos.

Apoiada na psicologia comportamentalista de Burrhus Frederic Skinner, essa perspectiva considera que um comportamento é uma reação do indivíduo ao ambiente ([SER-
CONEK, 2011](#)). Tal ambiente promove, através da imposição de suas condições, a programação dos comportamentos. Nesse sentido, o conhecimento é caracterizado como um

conjunto de comportamentos complexos necessários nas situações cotidianas do indivíduo. Logo, o conhecimento (comportamento) é adquirido por experiências vividas no decorrer da história do sujeito. Comportamentos que geram resultados ruins são eliminados e os que produzem bons resultados são mantidos.

Partindo dessa concepção, entende-se o “erro como uma forma ineficiente e irresponsável de compatibilizar-se com as necessidades sociais”(SERCONEK, 2011, p. 11). A partir de um bom repertório de comportamentos, o indivíduo é capaz de agir de forma coerente, guiando com sucesso a sua prática cotidiana. Portanto, o papel da escola é ensinar (reforçar) comportamentos/conhecimentos úteis à vida, que atendam de maneira satisfatória as necessidades da sociedade.

Segundo Serconek (2011), para produzir tais resultados, o currículo escolar deve ser composto de pequenos passos. Ou seja, o conteúdo ensinado deve ser fragmentado e absorvido em sequência pelos alunos, seguindo o cronograma estipulado pelos manuais de ensino. Dessa maneira, as tarefas propostas aos alunos são suficientemente pequenas e simples para reduzir a probabilidade da geração de erros.

Durante o processo de correção, em caso de erro, o processo de ensino deve ser interrompido e a resposta correta apresentada. O aluno precisa, então repetir a resposta correta até que esta seja automatizada. Uma vez que o comportamento esperado seja estabelecido, o processo pode continuar. Já em caso de acerto, deve-se reforçar o comportamento do aluno com elogios e premiações. De modo geral, o professor tem de refletir para encontrar maneiras de o aluno produzir a resposta certa e então reforçar tal comportamento (SERCONEK, 2011).

Portanto, com base em uma correção pautada na repetição, o processo avaliativo, na perspectiva tecnicista, não apresenta muitas alternativas. Não se buscam a origem ou os tipos de erros para guiar a ação pedagógica. O aproveitamento do aluno é medido apenas pelo índice de respostas certas. A presença de erro indica falha, ineficácia, improdutividade. Isto é, o aluno não está apto a prosseguir e o processo deve ser repetido.

Em síntese, as três perspectivas apresentadas, tradicional, escolanovista e tecnicista expõem diferentes concepções de conhecimento e de erro durante o trabalho educativo. Em primeiro lugar, a pedagogia tradicional repudia o erro e visa a sua eliminação através de mudanças de atitude do seu único culpado, o aluno. A perspectiva escolanovista, por sua vez, trouxe uma nova visão, apresentando o erro como parte importante no processo de construção do conhecimento. Através do erro o professor pode investigar a forma de raciocínio e a estrutura cognitiva do aluno, e este, por meio da orientação do professor, é capaz de refletir sobre seus próprios erros e reorganizar suas ações. E, por fim, a pedagogia tecnicista exhibe uma visão racional do erro sobre o processo de produção de comportamentos. Nessa perspectiva, o erro significa falha e a ineficácia do aluno. Isto é, respostas incorretas representam comportamentos que devem ser extintos e dar lugar a outros que

apresentem resultados de acordo com o esperado.

Cada uma das perspectivas descritas representam o ideário hegemônico de seu momento histórico. Portanto, atendem às exigências políticas, econômicas e sociais demandadas pelos modos de produção de tais momentos. Desta maneira, para formar um panorama geral da perspectiva contemporânea de erro, a próxima Seção investiga a forma de pensamento predominante na prática docente atual e quais são suas consequências para a definição da visão de erro apresentada por professores.

3.1.4 Perspectiva de Erro Presente na Prática Docente Contemporânea

Embora se tenha tratado das perspectivas apresentadas na Seção anterior com um tom histórico, de passado, é necessário notar que traços de todas as três abordagens podem ser observadas no ideário e na prática pedagógica contemporânea. Como apresentado, a concepção de erro é formada por uma série de peculiaridades existentes no seu contexto histórico, bem como de experiências vividas pelos indivíduos no decorrer de sua prática. Isto é, um conjunto de ideias, moldado pela ideologia dominante, dá bases para a formação dos conceitos de certo e errado e de suas causas e consequências.

Nesse sentido, Duarte (2011) denuncia que o momento atual, especificamente no campo da educação, é composto por um pensamento caracterizado como neoliberal e/ou pós-moderno. Ao analisar as características e implicações desse tipo de pensamento, o autor ressalta que o solipsismo¹ e o relativismo são fortes componentes dessa corrente ideológica.

Atravessada pelas contradições do capitalismo, a concepção pós-moderna da realidade traz consigo um relativismo epistemológico e cultural. Isso permite uma miscelânea teórica no ideário docente e produz um legitimação do imediatismo. Para o autor em questão, os estudos e pesquisas atuais na educação, em geral, apresentam com clareza as características do universo pós-moderno no momento em que rompem com o cientificismo dito ultrapassado. Isso ocorre em prol da negação da razão e da verdade através da valorização do saber cotidiano e fragmentado. Em suas palavras:

“E não estamos falando aqui apenas dos estudos normalmente classificados no campo da história da educação, estamos falando dos estudos e pesquisas na educação em geral, em qualquer de suas áreas e subáreas. Em nome de romper com o cientificismo herdado de paradigmas ultrapassados ou em crise, adotam-se a descrição e a narrativa pseudoliterária de casos e memórias individuais, crônicas pobres e fragmentadas de um cotidiano pobre e fragmentado. Veja-se, por exemplo, a importância cada vez maior que vem sendo dada à chamada troca de experiência profissional de cada professor, o que acaba por existir é a legitimação do imediatismo, do pragmatismo e da superficialidade que caracterizam o cotidiano alienado” (DUARTE, 2011, p. 93).

¹ Teoria filosófica segundo a qual nada existe fora do pensamento individual, sendo a percepção (das coisas e/ou das pessoas) uma impressão sem existência real.

Em consonância com as colocações de Duarte (2011) estão as conclusões do estudo apresentado por Serconek (2006). Em seu estudo, a autora procurou caracterizar o conceito e a abordagem do erro na prática docente atual. Um conjunto de 7 professoras de séries iniciais do ensino fundamental foram observadas e entrevistadas no decorrer da pesquisa. Os resultados permitiram o entendimento de que existe um relativismo no que diz respeito ao conceito de erro, suas causas e consequências e às ações efetivamente tomadas para a mediação deste (erro) durante a prática docente. O que se observou foram diferenças drásticas entre as concepções contidas nas teorias pedagógicas declaradas como base pelas professoras (5 das 7 professoras se declararam construtivistas) e as práticas tomadas em sala de aula.

Ao apresentar tais resultados, Serconek (2006) deixa claro a necessidade de se compreender a concepção das professoras através de uma análise mais completa. Ciente da existência de um contexto mais amplo, a autora salienta que as relações sociais e de trabalho fazem parte da concepção de erro expostas pelas professoras observadas:

“Assim, toda declaração expressa pelas professoras entrevistadas revela muito mais do que “sua” visão de erro, integra fenômenos históricos concernentes às relações sociais. A visão de erro farta de incertezas, preocupações, ansiedades e contradições se situa numa interação do homem sobre o meio e do meio sobre o homem, ou seja, as circunstâncias são modificadas pelos homens e os homens são modificados pelas circunstâncias e, desse movimento, os agentes da educação não estão isentos.” (SERCONEK, 2006, p. 99)

O estudo apresentado por Serconek (2006) pode ser entendido como pontual se levado em conta que expõe apenas o âmbito das séries iniciais do ensino fundamental. Porém, quando se consideram conclusões semelhantes expostas em outros trabalhos, como as apresentadas na coletânea de Aquino (1997a), nota-se que os resultados obtidos pela autora encontram ressonância em outros campos da educação. Portanto, seus achados apontam para características que podem ser consideradas gerais no que diz respeito à conceituação do erro e de sua mediação na prática docente atual.

Sobre a conceituação do erro observada na prática das professoras, Serconek (2006), identificou 3 pontos-chave. São eles: (1) erro como sinônimo de fracasso; (2) visão bipolar de erro: indiferença e intolerância; e (3) diferentes conotações do erro nos processos de ensino e de aprendizagem.

Similar às perspectivas tradicionais de erro, o primeiro ponto, “erro como sinônimo de fracasso”, é composto pela percepção de que o erro do aluno representa sua inaptidão às necessidades da sociedade. Caso não seja corrigido, implicará no seu fracasso pessoal e profissional. A culpa do erro é, então, depositada no aluno, o qual não foi capaz de absorver o conteúdo transmitido. Tal concepção é vista com clareza na fala de uma das professoras:

“Os erros, a curto prazo, se não forem sanados ao logo do ano letivo, podem ocasionar a exclusão do aluno, a reprova. E, ao longo da vida, esses erros podem ocasionar a exclusão social desse aluno, pois o impedirá de competir em igualdade de condições com os que estão preparados.” (SERCONEK, 2006, p. 102)

Dessa forma, o par erro/fracasso aparece com características de causa e efeito. O erro implica no fracasso, logo deve ser evitado. Segundo a autora, essa concepção, presente de maneira imperativa tanto no discurso quanto na prática escolar, deriva de uma perspectiva imediatista, reducionista e preconceituosa do erro.

O segundo ponto salientado por Serconek (2006), “visão bipolar de erro: indiferença e intolerância”, descreve uma perspectiva marcada por variações de discurso no transcorrer da prática das professoras. Em um dado momento o erro é tratado com indiferença e em outro, pelo contrário, recebe ares de intolerância. Nesse caso, por um lado, o erro é por vezes considerado como algo natural, que faz parte do processo de maturação dos alunos. Entretanto, em oposição do que preconiza o construtivismo, esse erro acaba por não ser trabalhado, problematizado, e é deixado de lado pois irá desaparecer com o prosseguimento do aprendizado. Considera-se que o aluno irá superar esse erro apenas com o seu desenvolvimento biológico. Por outro lado, a prática das mesmas professoras expõe traços de incomplacência perante os erros apresentados pelos alunos. Práticas como repreensão em público e o uso da repetição para correção dos erros foram encontradas com frequência nas observações da autora. Nota-se assim, mais uma vez, um misto de diferentes perspectivas: uma versão reducionista de erro construtivo no momento em que o erro é naturalizado e uma visão conservadora quando este é tido como intolerável.

Por fim, o terceiro ponto, “diferentes conotações do erro nos processos de ensino e aprendizagem”, refere-se às interpretações feitas pelas professoras do que o erro representa nos processos de ensino e aprendizagem. De maneira geral, o discurso das professoras exibe uma concepção de que o erro indica “dificuldades” do aluno, aquilo que ele “não sabe”, e que pode ser utilizado para uma revisão/correção da própria prática docente. No entanto, na prática das professoras, Serconek (2006) notou a visão de que o erro indica somente problemas no processo de aprendizagem do aluno, e não do ensino. Raramente os alunos são reorientados. O que existe, com frequência, é a simples reavaliação dos alunos. Mais uma vez, a utilização de métodos de correção pautados na repetição são constatados.

Ao questionar quais seriam as causas dos erros na visão das professoras, Serconek (2006) expõe que a visão predominante é aquela em que o professor é, de certa forma, imaculado no processo de ensino e aprendizagem e que o erro deriva de outras instâncias, como o aluno, a família e a escola.

O aluno é culpabilizado pelas mais diferentes razões. Desde sua inaptidão e dedicação aos estudos, até problemas de ordem biológica e/ou psicológica. A família, por sua

vez, é apontada como uma instituição que contribui para os problemas dos alunos. Seus problemas de relacionamento, pais ausentes, condições culturais e sócio-econômicas são exemplos de causas do erro levantadas nas entrevistas. Por fim, os professores acabam por culpabilizar a própria estrutura e a organização escolar, como excesso de alunos, falta de materiais e estrutura física precária (SERCONEK, 2006).

As duas últimas causas, família (ambiente social) e escola, certamente integram a questão do erro. Entretanto, o que se defende aqui, e pela autora, é que essas componentes não podem ser analisadas de maneira isolada. Muito menos devem ser tomadas como causas imóveis, impossíveis de superação. O trabalho educativo deve estar atento a todas essas instâncias, mas não deve ser paralisado diante delas.

A primeira causa apresentada por Serconek (2006), a culpabilização do aluno, é especialmente delicada. Ao responsabilizar o aluno pelos erros cometidos durante seu processo de aprendizagem, cria-se a imagem, muito comum atualmente, de “aluno problema”. Reavivam-se, assim, tentativas ditas científicas de identificação de traços biológicos e/ou psicológicos que justifiquem os erros do aluno ou sua inadequação ao que se considera normal, e o enquadrem em uma classe diferenciada de indivíduo, com “distúrbios de aprendizagem”. Como denunciado por Machado (1997), fala-se, atualmente, no que seriam epidemias de dislexia e hiperatividade. Ao naturalizar as dificuldades do aluno, retiram-se quaisquer tentativas de sua superação, passando ao aluno toda e qualquer responsabilidade. Dessa maneira, justificativa-se o fracasso escolar enfrentado por um estudante através de sua própria culpabilização. Por essa razão, a Seção seguinte aborda tal tema, a fim de salientar a importância de sua discussão ao se tratar do estudo pedagógico do erro.

3.1.5 Fracasso Escolar e Culpabilização do Aluno

Os erros expostos por alunos durante o trabalho educativo são uma valiosa fonte de informações sobre seus processos de aprendizagem e de suas dificuldades. Entretanto, como visto até aqui, a quase totalidade dessa informação é, atualmente, direcionada apenas para uma avaliação direta e superficial do estudante (AQUINO, 1997a). E, apenas quando o erro se torna, ou aparenta ser, frequente, incômodo, destoante do normal, é que sua problematização se transforma em assunto pedagógico. Porém, quando se chega a esse ponto, o erro já se converte em uma das faces mais visíveis do fenômeno do *fracasso escolar*.

Fracasso escolar é a expressão do insucesso do trabalho educativo executado na escola. Segundo Bicudo (2007, p. 2), é “o aumento expressivo de alunos que não obtêm progressos em sua vida escolar, fazendo desta forma, aumentar o número de crianças mal sucedidas dentro da escola.”. Isto é, quando um aluno não é capaz de se desenvolver através da educação escolar, origina-se o fenômeno do fracasso escolar. Este é um tema bastante

estudado na área de Educação e da Psicologia Escolar/Educacional, com forte presença na literatura brasileira. O objetivo deste campo de pesquisa é entender as causas e propor alternativas para o insucesso do processo educativo escolar. Ou seja, procura-se entender os altos índices de evasão e o baixo aproveitamento apresentados pelos sistemas de ensino.

A título de exemplo, uma das consequências diretas desse fenômeno (fracasso escolar), a evasão escolar, é, ainda, um problema grave no sistema educacional brasileiro. De acordo com dados do Relatório de Desenvolvimento divulgado em 2013 pelo PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), no ano de 2012, o Brasil teve a terceira maior taxa de abandono escolar entre os 100 países com maior IDH (Índice de Desenvolvimento Humano). Um em cada 4 alunos que iniciavam o ensino fundamental abandonaria a escola antes do último ano.

Sobre a relação entre erro e fracasso escolar, [Aquino \(1997b\)](#) indica este como consequência direta daquele. Mais especificamente, para este autor, quando não mediado ou problematizado, o efeito cumulativo do erro é o próprio fracasso escolar. Portanto, o aluno que erra e que permanece no erro por diversas razões, (entre elas a ausência de mediação apropriada pelo professor e a falta de meios para conhecer e entender seu próprio erro) é o indivíduo que sofre o fracasso na escola. Dessa forma, é imprescindível que, ao estudar o erro e seus efeitos, entendam-se as bases históricas da sua relação com o fracasso escolar. Em meio às evidências do fracasso escolar, como a evasão denunciada pelo PNUD, surgem variadas tentativas de justificá-lo. De maneira geral, tais tentativas buscam a confirmação da existência de diferenças individuais e sociais que implicariam em alunos piores e melhores. Segundo [Patto \(1996\)](#), as ciências humanas, oficializadas no começo do século XIX, a princípio, tiveram como principal função gerar teorias que explicassem as diferenças individuais e sociais e, ao mesmo tempo, isentassem de responsabilidades as claras desigualdades sociais existentes. Algumas dessas teorias são descritas de maneira bastante breve a seguir.

Como resume [Machado \(1997\)](#), as teorias racistas foram as primeiras a surgirem como explicação para as diferenças individuais e, conseqüentemente, para o fracasso escolar. Estas, justificadas pelos princípios evolucionistas de Darwin, argumentam a necessidade de uma hierarquia social definida pela seleção dos mais aptos. Em oposição às teorias racistas, surge a teoria do dom, a qual defende a existência das diferenças sociais através do argumento de que a distribuição de dons e talentos ocorre de maneira, naturalmente, desigual. Dessa forma, em ambas as teorias, fica definido que nem todos possuem as características necessárias para ascender na escala social. Seja pela herança genética, seja pelas capacidades inatas.

Surge então, como apresentado no Capítulo 2, no final do século XIX, o movimento escolanovista. O qual, através do “espírito liberal” preconiza a necessidade de se identificar as aptidões e potencialidades de cada indivíduo e, dessa maneira, oferecer-lhes uma

educação diferenciada. Machado (1997, p. 74) aponta que “essa concepção foi um terreno fértil para o desenvolvimento de testes psicológicos, que seriam os instrumentos capazes de medir as ‘diferenças de aptidões’ e o ‘talento individual’”. Portanto, para esse movimento, as desigualdades sociais seriam resultado das diferentes aptidões de cada indivíduo, e que a sociedade seria mais democrática se cada um tivesse as suas qualidades promovidas. Entretanto o uso cada vez mais intenso de testes psicológicos como justificativa para a realidade social produziu “ ‘crianças com distúrbios’, ‘crianças deficientes’, bem como os ‘profissionais competentes para avaliar’ ”.

Dessa forma, embora o discurso ideológico tratasse de diferenças individuais, não houve avanços reais, pois grupos inteiros ainda eram marginalizados. Nesse cenário, surge a teoria da carência cultural. Através dela explica-se que as diferenças sociais, e o próprio fracasso escolar, são causados, basicamente, “pelas diferenças de ambiente cultural em que as crianças das chamadas classes ‘baixa’ e ‘média’ se desenvolviam” (PATTO, 1996, p. 94). Ou seja, problemas como a falta de interesse dos pais, cultura e linguagem pobres, problemas emocionais, desnutrição, entre outros, seriam as razões pelas quais os indivíduos não conseguiam “mudar de vida” e não fossem bem-sucedidos na escola.

Como salienta Machado (1997), essas teorias, embora transmutadas, ainda estão presentes nos encaminhamentos de crianças com problemas na escola. Nesse sentido, a autora afirma que a questão da medição e avaliação da inteligência tem se tornado novamente um ponto de discussões. Porém, a maioria das novas formulações apresentadas sobre esse tema ainda tratam as “habilidades individuais” como fatores decisivos no sucesso ou fracasso do indivíduo.

Isto posto, tem-se que a atualidade se mostra como um período propício para que ideais de culpabilização dos alunos pelos seus erros durante a aprendizagem, e, consequentemente, pelo fracasso escolar como um todo, sejam transmitidos. É de fácil constatação em diferentes estudos² que ao menor sinal de dificuldades de aprendizagem, alunos são enviados para uma “avaliação psicológica”. Ou seja, ao invés de se discutir a atividade pedagógica desses alunos, o porquê de suas “dificuldades”, estes são desviados do processo “normal” e são rotulados como “alunos diferentes”.

A exemplo disso, podemos citar a multiplicação dos “distúrbios de aprendizagem”. Até a década de 1960, o diagnóstico de uma disfunção cerebral mínima (DCM), onde se incluem os distúrbios de aprendizagem, exigia a exclusão de outras patologias ou condições externas que pudessem justificar as dificuldades no processo de escolarização, tais como questões pedagógicas, sociais, culturais ou outras doenças de mesmo quadro clínico. Entretanto, esses critérios para o diagnóstico foram, mais tarde, eliminados, tornando o conceito de DCM ainda mais vago e abrangente. Sobre isso, Machado (1997, p. 76) acrescenta:

² Patto (1996), Machado (1997), Oliveira (1997), Tuleski e Eidt (2007)

“Dessa forma, eliminando as condições que anteriormente excluíam a possibilidade de diagnóstico de ‘distúrbios de aprendizagem’, torna-se possível que qualquer criança que apresente dificuldades na escola possa ser enquadrada nesse diagnóstico. É difícil provar a inexistência de um distúrbio que não tem prova de existir”.

A esse contexto, somam-se os efeitos do movimento de medicalização voraz desses distúrbios, levada a cabo pela forte presença da indústria farmacêutica nas instituições escolares e de saúde (PATTO, 1996; TULESKI; EIDT, 2007). Entre esses efeitos estão o aligeiramento do processo de diagnóstico e o aumento alarmante nos índices de incidência dos distúrbios. A exemplo disso, toma-se o estudo realizado por Meira (2012). A autora, que critica a medicalização na educação, aponta o aumento expressivo na venda do medicamento chamado “ritalina”, cujo componente principal é o metilfenidato — utilizado comumente no tratamento de Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH):

“De acordo com o Instituto Brasileiro de Defesa dos usuários de Medicamentos — IDUM, nos últimos anos o consumo do metilfenidato aumentou em 1616%. Em 2000 foram vendidas 71 mil caixas e em 2008 esse número chegou a 1.147.000 (um milhão e cento e quarenta e sete mil) caixas” (MEIRA, 2012, p. 137).

Em consonância, Machado (1997, p. 78) afirma que dados estatísticos de incidência de distúrbios de aprendizagem “uma epidemia. Fala-se na existência de cerca de 18% de “disléxicos”, de 5% a 15% de “hiperativos” [TDAH] na população escolar”.

Através da sua culpabilização, o aluno tem seu desenvolvimento prejudicado e, muitas vezes, estagnado. Assim, discussões sobre o fracasso escolar e, conseqüentemente, sobre o papel do erro no processo de ensino e aprendizagem são engessadas. Perante o exposto, concluí-se que a não problematização do erro, seja por responsabilizar o aluno, seja pela indiferença ou negação da importância de seu estudo, contribui de maneira direta para o fracasso escolar.

Ora, se a presente tese versa sobre os benefícios da mediação do erro e da tentativa de criação de uma ferramenta computacional para promover e facilitar essa mediação, é imprescindível que esta postule contra as concepções de culpabilização do aluno apresentadas. Sendo assim, é necessário pensar na superação de ideias que naturalizam o sujeito e suas características. Como colocado por Machado (1997, p.78), ao se colocar como naturais as dificuldades de aprendizagem, isto é, o erro do aluno, “aprimosamos a diferença no estreito espaço da normalidade/anormalidade, e damos à exclusão e à produção do fracasso escolar o aval de especialistas”.

Em resumo, os estudos analisados até aqui, permitem a conclusão de que a perspectiva de erro presente na prática docente atual possui muitos traços das concepções

conservadoras como a tradicional e a tecnicista. Percebe-se um relativismo e uma miscelânea entre as diferentes teorias e as ações adotadas em sala. Em decorrência, apesar de grande parte dos professores se dizerem fundamentados em teorias que valorizam o erro, poucos exibem uma prática condizente com o uso “construtivo” deste.

É nesse sentido que, em vista da superação das perspectivas conservadoras descritas, as próximas Seções procuram estabelecer, segundo a abordagem da Psicologia Histórico-Cultural e Pedagogia Histórico-Crítica, qual é o papel do erro durante o processo de desenvolvimento humano. E, também, como se caracteriza uma mediação educacional que problematiza e desnaturaliza o erro. Para tanto, passa-se da análise centrada na questão pedagógica para o estudo que tem como cerne as questões psicológicas que envolvem o erro e o desenvolvimento humano.

3.2 Psicologia Histórico-Cultural e Desenvolvimento Humano

Ao seguir uma fundamentação de bases na Pedagogia Histórico-Crítica, qual seria a fundamentação psicológica mais condizente com os objetivos levantados por esta tese? Segundo [Martins \(2013\)](#), a resposta para tal indagação é a fundamentação na Psicologia Histórico-Cultural. Para tanto, a autora afirma que ao se assentarem nos preceitos do materialismo histórico-dialético, ambas abordagens representam uma unidade filosófica; uma unidade psico-pedagógica. A partir dessa unidade, as duas teorias compartilham de uma mesma concepção de homem e de conhecimento, segundo a qual o homem, enquanto um ser social, tem seu desenvolvimento condicionado pela sua atividade que o vincula à natureza. Dessa forma, o homem é

“Um ser que a princípio não dispõe de propriedades que lhe asseguram, por si mesmas, a conquista daquilo que o caracteriza como ser humano. [...] para a Psicologia Histórico-Cultural e para a Pedagogia Histórico-Crítica, a humanização dos indivíduos não resulta de determinantes evolutivos naturais nem se identifica com o simples pertencimento destes à vida social” ([MARTINS, 2013](#), p. 271).

Além disso, a autora ressalta que a escolha da Psicologia Histórico-Cultural ao lado da Pedagogia Histórico-Crítica provém do fato de que ambas compartilham de uma mesma concepção de desenvolvimento psíquico. Segundo a autora, “não são quaisquer modelos pedagógicos que se colocam efetivamente a serviço do desenvolvimento psíquico, uma vez que, como preconizado por Vigotski, não são quaisquer aprendizagens que o promovem” ([MARTINS, 2013](#), p. 270). É preciso que a aprendizagem desenvolvida pela teoria pedagógica esteja alinhada com a promoção do desenvolvimento humano. Essa é exatamente a relação que se estabelece entre a Pedagogia Histórico-Crítica e a abordagem Histórico-Cultural

Dessa forma, por consequência, a presente tese se apoia sobre os preceitos da Psicologia Histórico-Cultural. A partir dessa abordagem, buscam-se entender as bases do desenvolvimento do psiquismo humano e, inserido nesse processo, definir qual é o papel do erro e de sua mediação em tal desenvolvimento.

Nesse sentido, a fim de se descrever os principais preceitos da Psicologia Histórico-Cultural, em primeiro lugar, é dedicada atenção especial a um tema que já se mostra recorrente neste Capítulo: a análise psicológica da origem das diferenças individuais e de grupo. O erro é, em essência, a manifestação de uma diferença, de um desvio ao esperado. Então, buscam-se compreender, através de como diferentes linhas da psicologia concebem as diferenças individuais e de grupo (culturais), quais as principais características da Psicologia Histórico-Cultural. Em segundo lugar, apresenta-se um brevíssimo resumo de como ocorre o processo de desenvolvimento humano segundo essa abordagem psicológica.

3.2.1 Diferenças Individuais e de Grupo

A própria constatação de que um aluno errou durante sua aprendizagem, pressupõe a ideia de certo e errado, ou seja, a existência de um desempenho e progresso esperado, desejável, considerado normal. Portanto, ao errar, o aluno pode passar a ser “diferente”. Passa a não corresponder como o esperado. Dessa forma, ao tratar da problemática do erro e, por consequência, do fracasso escolar, um dos pontos cruciais, e fundamentais, da discussão são as concepções sobre diferenças individuais e culturais. Especialmente no que se refere ao processo de construção do conhecimento e suas implicações para a educação (OLIVEIRA, 1997). Nesse sentido, a presente Seção descreve três grandes linhas de pensamento que surgem no decorrer da história das ideias psicológicas: uma que considera a existência da diferença, outra que visa a negar a relevância da diferença e uma terceira, que procura retomar a ideia de diferença em um outro plano. Segundo Oliveira (1997), esta última linha seria aquela que compartilha dos preceitos da abordagem histórico-cultural.

A primeira linha, que propaga a ideia da existência de diferenças individuais, encontra bases em diferentes ramos da psicologia, por exemplo, a psicologia diferencial, a psicologia cognitiva e a psicometria. Para estas, a diferença entre indivíduos é considerada como um dado prévio aos estudos (OLIVEIRA, 1997). Dessa maneira, a interpretação das diferenças individuais seguem uma clara tendência ao inatismo. De algum modo as capacidades humanas já estariam presentes no nascimento ou haveria uma predisposição inerente ao indivíduo. Fatores hereditários e maturacionais são considerados protagonistas na definição das características do indivíduo. Como consequência, através do uso dos diferentes testes psicológicos (como as medições de inteligência), esta linha de pensamento produz uma classificação de indivíduos. Alguns seriam melhores e outros piores, mais e menos inteligentes, mais e menos aptos.

A diferença de grupos também é clara nesse modo de pensamento. Entretanto ela se dá de maneira oposta. Essa não se originaria de uma diferença interna, dos indivíduos, mas sim de limitações presentes na própria cultura de diferentes grupos. Por exemplo, no século XVI, durante a descoberta de povos “selvagens” do novo mundo, considerava-se que os integrantes de tais povos não seriam capazes de alcançar o comportamento “civilizado”, pois estariam restringidos pelas aptidões “primitivas” de suas culturas (OLIVEIRA, 1997). Comparam-se, assim, também as culturas, que podem ser mais e menos desenvolvidas, mais e menos civilizadas.

Nota-se, nessa linha de pensamento, uma postura estática com relação às diferenças tanto individuais quanto de grupos. Não há espaço para processos de desenvolvimento do psiquismo. Os indivíduos estão, segundo essa concepção, de certa forma destinados a ser como são, seja por questões internas, como o inatismo, ou por externas, como limitações culturais. As diferenças se tornam, assim, patológicas. Dessa maneira, restam à abordagem educativa apenas duas alternativas no que se refere aos alunos com dificuldades (“diferentes”): a remediação e a compensação. Ou seja, oferecem-se aos alunos uma educação diferente, uma educação compensatória.

A comparação entre habilidades e características de alunos e a ideia de educação compensatória acabam por originar a noção de que cada indivíduo deve receber uma educação adequada a suas capacidades. Cada aluno deve receber a educação que “merece”. Nesse sentido, Oliveira (1997) salienta que, apesar de ser produto de um momento histórico específico, essa concepção de diferença ainda se mostra presente. Sobre isso, a autora descreve que

“Embora gerada em momentos históricos específicos, essa postura pode ser identificada em nuances da reflexão pedagógica contemporânea e em características do sistema educacional vigente, tais como a divisão entre escola profissionalizante para trabalhadores e escola propedêutica para membros das elites, os cursos especiais para crianças identificadas como superdotadas, e a própria diferença de qualidade embutida nas diferenças entre escolas rurais e urbanas, públicas e privadas, para crianças em idade regular e para jovens e adultos de escolaridade tardia” Oliveira (1997).

Em oposição à primeira abordagem, a segunda procura negar a relevância das diferenças individuais e de grupo através da busca ao que é comum nos seres humanos. Ou seja, o que é universal nos indivíduos.

A teoria de Piaget, pode ser nomeada como uma das mais representativas desta perspectiva (OLIVEIRA, 2011). Seu objeto de estudo é o sujeito epistêmico, isto é, o sujeito do conhecimento que estaria naturalmente presente em cada um de nós. Preconiza-se, assim, que a inteligência se origina de um substrato biológico, cujo cerne é formado por atributos invariantes da organização e da adaptação dos seres humanos.

Segundo essa abordagem, a psicologia deve estudar os traços constantes presentes em todos os indivíduos. As diferenças, são apenas modos de funcionamento intelectual moldados de acordo com o processo de desenvolvimento do sujeito. Portanto, não se trata de negar explicitamente as diferenças, mas sim de questionar a relevância destas na compreensão do funcionamento psicológico. Questões como fatores históricos e culturais não seriam centrais para a pesquisa em psicologia.

Por essa razão, as diferenças culturais são consideradas produtos do que a mente humana pode produzir devido a diferentes modos de mobilizar as características universais de cada indivíduo. Isto é, todos seriam capazes do que é dito universal, é preciso apenas favorecer aquilo que já está posto no indivíduo (OLIVEIRA, 1997).

No que diz respeito à educação, nessa abordagem, quando a criança erra ou tem dificuldades, significa que existe uma incompatibilidade entre a proposta de ensino da escola e as características da criança. Esse conflito se deve ao estágio de desenvolvimento do aluno ou das peculiaridades da sua cultura. Cabe, então, aos educadores e à escola proporcionar um ensino que contemple as diferenças individuais e de grupo para permitir o desenvolvimento das características universais (OLIVEIRA, 1997).

Defende-se, portanto, a existência de uma universalidade subjacente à diversidade. Por essa razão, produz-se a ideia de que não é possível julgar diferenças no desenvolvimento e funcionamento psicológico. Todo conhecimento é valioso e toda forma de desenvolvimento tem suas qualidades. Deve-se, por conseguinte, respeitar a realidade do aluno.

Tal linha de pensamento, se levada por um certo extremismo, pode gerar um posicionamento de relativismo radical e uma postura espontaneísta. À vista disso, igualmente ao primeiro tipo de posicionamento, mas por razões diferentes, essa abordagem também pode gerar uma concepção imobilista de educação. A legitimação e valorização de qualquer modalidade de pensamento pode, em última instância, dificultar o desenvolvimento do aluno através da pouca aplicação na sua transformação. Consequentemente, a passagem pela escola pode, então, representar pouca diferença no desenvolvimento do aluno. Nessa perspectiva, Oliveira (1997) traz o exemplo da polêmica a respeito da desajustabilidade de se impor o uso da norma culta da língua portuguesa a crianças provenientes de meios culturais onde predominam o uso de outras variantes linguísticas. Para a autora, ambas as abordagens podem responder a essa questão com atitudes imobilistas:

“Adeptos da primeira abordagem poderiam demonstrar uma atitude imobilista pelo fato de não acreditarem na possibilidade de tais crianças serem capazes de, verdadeiramente, adquirir a variante culta da língua. Adeptos da segunda abordagem, por sua vez, poderiam se imobilizados pela sua crença na não legitimidade da intervenção educativa. Assim, ou porque “a criança não pode” ou porque “a escola não deve”, o aluno pode ser deixado numa condição em que sua passagem pela escola repre-

“senta muito pouca interferência em seu desenvolvimento” Oliveira (1997, p. 53).

Através da descrição apresentada, nota-se que as duas linhas de pensamento são opostas entre si. Enquanto a primeira busca o estudo das diferenças, a segunda nega a relevância destas e procura o que há de universal no ser humano. A terceira linha, apresentada a seguir, apresenta uma outra concepção da problemática em questão à luz de postulados bastante diversos dos das outras duas (OLIVEIRA, 1997).

Essa terceira abordagem provém de uma análise a partir da Psicologia Histórico-Cultural. Originada nos estudos da conhecida “Escola de Vigotski”, tendo como seus principais autores os psicólogos soviéticos Lev Semenovitch Vigotski³, Alexei Leontiev e Alexander Luria, a Psicologia Histórico-Crítica é constituída sobre as concepções do Materialismo Histórico-Dialético e tem como principal objeto de estudo o *desenvolvimento social do psiquismo humano*. Segundo Martins (2013, p. 2):

“esses autores, imbuídos dos princípios do materialismo histórico-dialético, não perderam de vista a unidade contraditória entre as dimensões naturais e sociais, entre produto e processo, entre objetividade e subjetividade etc. que faz da vida humana um contínuo processo de formação e transformação”.

Dessa forma, segundo os pressupostos dessa teoria psicológica, Oliveira (1997) descreve os quatro planos genéticos utilizados por Vigotski (2009) para compreender a constituição do psiquismo humano. São eles: *filogênese*, *ontogênese*, *sociogênese* e *microgênese*.

A primeira, filogênese, refere-se à história da espécie, e define limites e possibilidades biológicas para o indivíduo (OLIVEIRA, 1997). Dessa forma, pertencer a uma dada espécie implica em estar sujeito a todas as características de seu substrato biológico (no caso dos seres humanos, podemos citar características como o bipedalismo, plasticidade do cérebro entre outras). Sendo assim, as características da filogênese são universais a todos os indivíduos da espécie e são originadas a partir do processo de desenvolvimento desta ao longo da história.

O período do nascimento de um indivíduo até a sua fase adulta corresponde à sua ontogênese. Assim, constituído das características de sua espécie, o indivíduo se desenvolve segundo o processo de maturação biológica (ancorado na própria especificidade da filogênese) durante a história de sua vida. Por exemplo, ao contrário de outros animais que ao nascer já são autônomos e capazes de se locomover, a criança precisa de cuidados de indivíduos maduros. Somente após, aproximadamente um ano será capaz de se colocar

³ Adotaremos a grafia *Vigotski*, exceto em citações nas quais reproduziremos a forma presente na obra referida.

em posição ereta para caminhar. Ou seja, segue-se um desenvolvimento característico da espécie, porém com as especificidades do próprio indivíduo.

Entretanto, essa maturação biológica não ocorre de maneira independente da situação histórico-cultural em que se encontra o indivíduo. É essa situação que “fornece aos sujeitos, e com eles constantemente re-elabora, conteúdos culturais, artefatos materiais e simbólicos, interpretações, significados, modos de agir, de pensar, de sentir”(OLIVEIRA, 1997, p. 55). Ou seja, a maturação não surge “automaticamente por conta de um enraizamento biológico, mas como resultado da superação das contradições entre formas primitivas e formas culturalmente desenvolvidas de comportamento”(MARTINS, 2013, p. 133), possibilitado pelas mediações disponibilizadas ao indivíduo. Forma-se, assim, a sociogênese. Dessa maneira, as características tanto da filogênese quanto da ontogênese são interpretadas de acordo com as visões de mundo e as formas de significação de cada cultura. Portanto, tal interpretação e suas implicações compõe, também, dialeticamente, o processo de desenvolvimento do indivíduo. Como exemplo, temos as diferentes significações culturais dadas às transformações fisiológicas de maturação sexual do período denominado como puberdade. Em algumas culturas, essas transformações podem levar ao isolamento do indivíduo e, em outras, ao casamento e procriação. Essas diferentes significações são apropriadas pelo indivíduo, fazendo parte do processo de desenvolvimento do seu psiquismo. Oliveira (1997) salienta também que as conquistas culturais podem, inclusive, tornar os limites da espécie superáveis. Por exemplo, através do avião o homem é capaz de voar, através do computador pode aumentar sua capacidade de memória e raciocínio, e assim por diante.

Por fim, a microgênese corresponde à “história, relativamente de curto prazo, da formação de um processo psicológico determinado”(OLIVEIRA, 1997, p. 56). Trata-se, então, das diferentes “conquistas psicológicas” que surgem ao longo da vida do indivíduo. Por exemplo, a criança que aprende a se alimentar sozinha, a aquisição de um conceito na escola ou, ainda, o domínio de um instrumento. É da inter-relação entre esses 4 planos genéticos que emerge o psiquismo individual. Nessa inter-relação, a grande quantidade de diferentes experiências e condições as quais um indivíduo pode ter ao longo de sua vida tornam seu processo de desenvolvimento completamente singular. Nas palavras de Oliveira (1997):

“A imensa multiplicidade de conquistas psicológicas que ocorrem ao longo da vida de cada indivíduo geram uma complexa configuração de processos de desenvolvimento que será absolutamente singular para cada sujeito. Conforme explicitamos em outra oportunidade (Oliveira, 1992), em cada situação de interação com o mundo externo, o indivíduo encontra-se em um determinado momento de sua trajetória particular, trazendo consigo certas possibilidades de interpretação e re-significação do material que obtém dessa fonte externa. Os processos microgenéticos constituem, assim, o quarto plano genético, que interage com os outros três, caracterizando a emergência do psiquismo individual no entrecruza-

mento do biológico, do histórico, do cultural” (OLIVEIRA, 1997, p. 56).

A compreensão dos planos genéticos apresentados e as propriedades oriundas de sua inter-relação permitem o estudo das diferenças individuais e culturais segundo a abordagem histórico-cultural. Como ponto principal, tem-se que tal abordagem possui um posicionamento não determinista com relação às diferenças. O desenvolvimento pertinente à filogênese e à ontogênese só ocorre com a inserção do ser humano em um mundo cultural. Porém, considerar a cultura como integrante do psiquismo não implica que esta é uma força que age sobre um sujeito passivo. O desenvolvimento de cada indivíduo corresponde a um constante processo de recriação e negociação interpessoal.

No que diz respeito às diferenças individuais, essa linha de pensamento, ao considerar a inter-relação entre os planos genéticos, define a não existência de um processo de formação psicológica pré-estabelecido. Ou seja, a diferença é uma consequência necessária do complexo processo de formação da singularidade dos indivíduos. Entretanto, os fenômenos universais não são deixados de lado. Estes são pertinentes ao substrato biológico do ser humano e suas possibilidades.

Em oposição à segunda abordagem que rejeita a relevância das diferenças na busca pelo que é universal, a linha histórico-cultural considera crucial a compreensão do sujeito histórico. Ou seja, tem como fator fundamental o estudo da singularidade do desenvolvimento do sujeito. O desenvolvimento de cada indivíduo é único. Assim, ao postular a importância das diferenças entre indivíduos e grupos, a terceira linha se aproxima da primeira. Entretanto, enquanto a primeira supõe correlações estáticas entre traços do psiquismo e diferenças individuais e/ou culturais prévias, a abordagem histórico-cultural aponta que as diferenças não provêm de fontes biológicas ou culturais como variáveis independentes. Pelo contrário, são produto do processo de gênese do psiquismo.

Do ponto de vista pedagógico, como analisado anteriormente, as duas primeiras abordagens acabam por gerar um imobilismo na prática educativa, ou por considerar o erro uma incompetência do aluno, ou por reduzir a legitimidade da intervenção educativa. Em alternativa, a linha histórico-cultural, por considerar o desenvolvimento psíquico como uma inter-relação dos diferentes planos genéticos, apoia-se na possibilidade da transformabilidade do sujeito. O psiquismo é desenvolvido ao longo de sua vida, produzindo a sua singularidade. E, nesse processo, ressalta-se a importância da intervenção educativa e a relevância da instituição escolar.

A exemplo dos ideais preconizados pela Pedagogia Histórico-Crítica, apresentados no Capítulo 2, a Psicologia Histórico-Cultural afirma que o desenvolvimento psíquico não ocorre de maneira espontânea, inata, mas sim, se produz através da apropriação de conceitos formados culturalmente. Dessa forma, não existe um único caminho de desenvolvimento ou uma forma de “bom funcionamento” psicológico para o ser humano.

Porém, este desenvolvimento também não está totalmente em aberto, pois é limitado pelas características da filogênese e da ontogênese humana.

Nesse contexto, a problemática do erro surge como um objeto de estudo, tanto para professores como para alunos. Não basta culpabilizar este ou aquele, ou apenas esperar que este atinja a maturidade necessária para corrigi-lo de maneira natural. É necessário uma compreensão do trajeto de desenvolvimento psíquico específico do aluno. Para, então, através de uma ação educacional intencional promover o aprendizado do aluno em um novo nível qualitativo, promovendo seu desenvolvimento.

A Seção seguinte explica, segundo a abordagem histórico-cultural, que o desenvolvimento psíquico não ocorre de maneira espontânea. Explicita-se a necessidade de apropriação dos signos culturalmente formados para o desenvolvimento pleno do indivíduo e o papel fundamental da mediação nesse processo.

3.2.2 Desenvolvimento do Psiquismo Humano

Uma vez definidas as bases da abordagem histórico-cultural através da análise das diferenças individuais e de grupo, pode-se compreender como essa linha psicológica descreve o processo de desenvolvimento do psiquismo humano. A importância da educação escolar nesse contexto, preconizada tanto pela Pedagogia Histórico-Crítica quanto pela Psicologia Histórico-Cultural, é descrita e apontada como a porta de entrada para a compreensão do papel do erro no desenvolvimento humano.

Segundo [Martins \(2013\)](#), a estruturação dos processos mentais ocorre através do procedimento de captação e domínio da realidade. Porém, tais procedimentos não são diretos e/ou imediatos. São, na verdade, processos ativos, ou seja, que dependem da atividade do homem sobre a natureza e que exigem articulação de vários domínios da consciência como percepção, atenção, memória, linguagem, pensamento etc. Como visto nos Capítulos anteriores, o homem é um ser social e, através do trabalho, age ativamente sobre a natureza, modificando-a e modificando a si mesmo. Portanto, nesse processo, quando as características psicofísicas naturais e elementares, oriundas do aparato biológico, já se mostram insuficientes, novos atributos se desenvolvem. O homem complexifica sua atividade e, por consequência complexifica seu psiquismo em direção à superação das propriedades naturais.

No centro dessa superação está a formação de imagens mentais. [Martins \(2013, p. 11\)](#) coloca que o desenvolvimento do psiquismo humano “identifica-se com a formação da *imagem subjetiva da realidade objetiva*”, a qual guia o homem tanto subjetiva quanto objetivamente na realidade concreta. Isto é, a fim de se relacionar com a natureza, o indivíduo acaba por criar uma imagem mental da realidade. Essa imagem não é uma mera representação direta do mundo, um espelhamento mecânico. Mas sim, se apresenta

na qualidade da imagem subjetiva formada, a qual exige uma apreensão da realidade para além da captação sensorial simples, imediata. Assim, é necessário um desenvolvimento de diferentes funções psíquicas. Nesse sentido, Vigotski apresenta a definição de dois grupos de funções psíquicas: elementares e superiores.

Por um lado, as funções psíquicas elementares (como memória natural, atenção involuntária, inteligência prática) tem origem no aparato biológico do ser humano. São processo psicofísicos que respondem basicamente à forma estímulo-resposta. Isto é, fornecem subsídios para a manifestação de ações imediatas e involuntárias. Por outro lado, as funções psíquicas superiores (pensamento abstrato, atenção voluntária, memória lógica, etc.) possuem origem sócio-cultural e superam a mera manifestação imediata da realidade (MARTINS, 2013). Através das funções superiores, a representação do real é mediada por meio da apreensão de objetivações histórica e culturalmente formadas.

Segundo Martins (2013), o desenvolvimento das funções psíquicas superiores ocorre por meio da apropriação de signos culturalmente formados. Da mesma forma que um instrumento material, real (exemplo martelo), o qual permite ao homem ampliar sua ação sobre a natureza, o signo é um instrumento intelectual que regula as ações do homem sobre seu próprio psiquismo. Em outras palavras, “os signos são ‘instrumentos psicológicos’ que ampliam as ações psicológicas do indivíduo, ao potencializar as capacidades de memória, atenção, controle voluntário sobre a própria atividade” (SFORNI, 2004, p. 34). Além de intensificar as ações do homem, um instrumento material exige a adaptação do comportamento a ele próprio. Isto é, o homem altera sua prática para fazer uso do instrumento. Analogamente, o mesmo processo ocorre através do uso de signos, que, a partir de sua apropriação, promove transformações na estrutura psíquica.

É relevante salientar aqui uma importante formulação da teoria de Vigotski: a lei genética geral do desenvolvimento humano (MARTINS, 2014). Nela o autor postula, em oposição à visão de que o desenvolvimento humano ocorre naturalmente, que toda função psíquica aparece em dois momentos distintos do desenvolvimento do indivíduo. No primeiro momento, surgem como funções interpessoais, interpessoais, ou seja, as funções psíquicas são desencadeadas pelas atividades coletivas. Tais funções repercutem, então, no segundo momento, nas propriedades internas do pensamento, isto é, na forma intrapsíquica, intrapessoal (SFORNI, 2004). Ressalta-se, assim, a importância da qualidade das experiências e de suas respectivas mediações possibilitadas ao indivíduo para seu desenvolvimento.

No que diz respeito à mediação, Martins (2014) aponta sobre a especificidade desse conceito nos estudos de Vigotski. Na obra desse autor, a mediação não concerne apenas a uma relação aparente entre coisas. A mediação impõem-se como uma interposição que provoca mudanças, que promove o desenvolvimento através de um intencionalidade socialmente produzida. Dito de outra maneira, para Vigotski, a mediação se coloca para

além da simples relação entre coisas ao agregar intervencções entre as propriedades essenciais destas (MARTINS, 2014).

O signo é um exemplo de mediação. A partir dele, a vida social humana alcançou a conquista da linguagem, a qual permitiu um salto qualitativo no processo de conversão do objeto da natureza em objeto da consciência. Nesse processo, o signo, manifestado por meio de palavras, se mostra como mediador entre a captação do real, ou seja, da definição da imagem subjetiva, e a formação de ideias. Reside aí a raiz da formação de *conceitos* e da própria consciência humana.

Ao se tratar de conceito, faz-se necessário localizá-lo no processo de pensamento⁴. De acordo com Sforzi (2004), durante o processo de pensamento, o homem não atua com as coisas em si, mas sim, opera mentalmente sobre a representação das coisas. Fato este que permite ao pensamento, ou a atividade mental, agregar coisas que não estão imediatamente disponíveis no tempo ou no espaço em que o indivíduo se encontra. Nesse sentido, define-se como *conceito* as representações mentais rotuladas por signos específicos, culturalmente formados: as palavras. Dessa forma, a apropriação de conceitos (palavras e seus sistema de significações) oferece ao indivíduo novos significados sobre o mundo, o que amplia seu horizonte de percepção e modifica sua prática. Ou seja, a imagem subjetiva se torna, na verdade, um sistema de representações oriundo da internalização de signos culturalmente formados. Através dessas representações, o homem é capaz de operar com a imagem subjetiva, conferindo a mais importante característica ao trabalho humano: a intencionalidade, a pré-ideação do produto final de sua atividade.

Os conceitos, oriundos da linguagem e apropriados na forma de signos, permitem que a formação da imagem subjetiva ultrapasse os traços particulares da realidade objetiva em direção aos seus atributos universais. Dessa maneira, as palavras da linguagem passam a se converter em ideias, sendo estas transmitidas e expressas na forma de juízos e conceitos.

Vale ressaltar que a apropriação cultural, ou seja, apropriação de signos, embora seja necessária, não garante por si só o desenvolvimento humano pleno. Nesse sentido, uma das conclusões alcançadas por Vigotski foi a distinção entre dois tipos de conceitos por ele identificados: *conceitos espontâneos* e *conceitos científicos*. O primeiro tipo, refere-se aos conceitos formados no cotidiano, por meio de necessidades diretas, mediante tentativa e erro. São conceitos não sistematizados e que possuem pouca capacidade de abstração (MARTINS, 2013). Assim, este tipo de conceito representa uma relação imediata com objeto, ou seja, a palavra, signo do conceito, passa ser apenas uma representação mental dos atributos puramente empíricos do objeto. Em suma, a mediação através da palavra se resume a uma representação.

⁴ No desenvolvimento do pensamento, de forma interfuncional, também se desenvolvem outras funções psíquicas: sensação, percepção atenção ...

Os conceitos científicos, por sua vez, são de um tipo superior, formados através de atividades mediadas e intencionais. Conceitos desse tipo não se relacionam diretamente com o objeto, mas sim, pela mediação de outros conceitos. Nesse sentido, diferentemente dos conceitos espontâneos, a representação do objeto passa a ser composta pelos seus atributos essenciais (atributos não-empíricos, universais). Conceitos científicos, por serem mediados por outros conceitos, compõem uma espécie de sistema de conceitos. Isto é, são sistematizados.

A divisão dos conceitos em dois tipos pode gerar um entendimento incorreto de dicotomia entre eles. Vigotski deixa claro que não é possível analisar o processo de formação de conceitos científicos sem que se leve em conta a relação dialética entre ambos os tipos. Como mencionado, conceitos do tipo científico não interagem diretamente com o objeto. Estes são mediados através de diferentes conceitos. Em outras palavras, conceitos desse tipo são produtos de uma tomada de consciência de outros conceitos, potencialmente espontâneos, que são agregados ao grupo sistematizado de conceitos. Dessa forma, não existe desenvolvimento de conceitos científicos sem que conceitos espontâneos tenham alcançado um determinado nível a fim de que haja tal tomada de consciência. Nas palavras de [Martins \(2013, p. 224\)](#):

“Portanto, os conceitos científicos não se opõem necessariamente aos conceitos espontâneos, mas os inserem, sempre, em relações mais amplas e abstratas, em outra estrutura de generalização, em decorrência da qual a realidade pode ser refletida mais profundamente pelo pensamento. O desenvolvimento dos conceitos científicos corresponde, logo, às transformações das estruturas de generalização, e, nela, o desenvolvimento do aspecto semântico da palavra — o emprego de signos culturalmente elaborados — opera como meio de importância central.”

Ainda segundo [Martins \(2014\)](#), os conceitos científicos são, para Vigotski, os grandes propulsores do desenvolvimento das funções psíquicas superiores. É através da formação desse tipo de conceito que as funções psicológicas se reorganizam, requalificando todo o sistema interfuncional psíquico. É o pensamento por conceitos que permite às funções psíquicas operarem de forma mediada, para além das operações imediatas providas pelo aparato biológico, e se tornarem objetos da própria consciência do sujeito.

A teoria acima exposta evidencia que as funções psíquicas superiores, não se desenvolvem naturalmente apenas através da maturação biológica, mas se formam socialmente através da apropriação e interiorização de signos. Isso significa dizer que, se um indivíduo fosse totalmente privado da cultura, suas funções psicológicas superiores não se desenvolveriam plenamente, pois estas não derivam da simples maturação. Assim, o psiquismo humano possui uma natureza social e o nível de desenvolvimento de cada um depende da qualidade e da quantidade de signos culturais disponibilizado. A consequência direta disso é a inter-relação entre a qualidade dos processos educativos e as possibilidades de desenvolvimento do sujeito.

Porém, o que pode ocorrer, como apontado por [Martins \(2013\)](#), é que nem toda educação escolar alia-se a um projeto de humanização. Por exemplo, uma educação que relega aos alunos a função de construir seu próprio conhecimento, sem que conceitos e signos culturais sejam transmitidos e mediados, acaba por dificultar ou até impossibilitar o desenvolvimento pleno de seus alunos. Tal constatação é corroborada pelo pressuposto de Vigotski, segundo o qual é o ensino que promove o desenvolvimento, e não o contrário. Assim, [Martins \(2014, p. 134\)](#) clarifica:

“Diante de tais postulados, o papel da educação escolar resulta evidente, uma vez que ela privilegia a articulação intencional entre o ensino e a aprendizagem. Não sem razão, Vigotski defendeu rigorosamente que é o ensino que promove desenvolvimento, destacando, inclusive, que a qualidade do primeiro condiciona o segundo. Essa premissa encontra o mais absoluto eco na Pedagogia Histórico-Crítica, que põe em relevo as características da atividade educativa escolar, a dialética entre a forma e o conteúdo que deva pautar o ensino tendo em vista a promoção de um tipo especial de aprendizagem, qual seja, aquela que se identifica com o máximo desenvolvimento do psiquismo dos indivíduos”.

Nesse sentido, sem o acesso aos signos que possibilitem a formação de conceitos superiores, a formação da imagem subjetiva se torna prejudicada. Uma vez que o desenvolvimento do pensamento se revela uma conquista de condições que o promovam e o requeiram, concluí-se que é, portanto, função da educação, em especial, da educação escolar, enquanto espaço privilegiado para a socialização do saber e de formação humana definir e prover acesso aos signos culturalmente formados, em suas formas mais desenvolvidas, dos quais os alunos devem se apropriar.

Portanto, a função mediadora da escola está no fato dela dever se interpor na relação sujeito (aluno) e objeto (sistematização do conhecimento científico construído socialmente pelo conjunto dos homens ao longo da história) e provocar transformações decisivas no psiquismo.

De forma geral, o desenvolvimento humano se identifica à formação de conceitos científicos e, por consequência, ao desenvolvimento das funções psíquicas superiores. Dessa maneira, é papel da educação escolar promover e propiciar aos seus alunos formas de construção desse tipo de conceito em oposição aos espontâneos. Todavia, como a escola pode realizar tal tarefa? Como realizar um ensino que promova a aprendizagem de conceitos superiores? [Sforini \(2004\)](#) ao tentar responder tais perguntas, destaca que o processo educativo deve estar atento ao que Vigotski concluiu durante seus estudos sobre o processo de formação de conceitos. Em seus trabalhos, o autor soviético postula que o caminho percorrido no desenvolvimento de conceitos espontâneos difere radicalmente do movimento necessário à formação de conceitos científicos. Os autores da presente tese afirmam, portanto, que é justamente nessa diferença que reside a importância da mediação do erro no trabalho educativo. Assunto, este, abordado em detalhes na próxima Seção.

3.3 O Papel do Erro na Formação de Conceitos Científicos

A partir da análise apresentada nas Seções anteriores, conclui-se que não é qualquer modalidade de educação que incide de maneira positiva sobre o desenvolvimento humano. Segundo os preceitos da Pedagogia Histórico-Crítica e da Psicologia Histórico-Cultural, colocou-se que a forma de ensino que se propõe a contribuir para o desenvolvimento do indivíduo e, por conseguinte, de suas funções psíquicas superiores, é aquele que promove a formação de conceitos científicos. Logo, afirma-se na presente tese que a importância do erro no processo de ensino e aprendizagem, de acordo com a abordagem histórico-cultural, se funda justamente nas diferenças encerradas entre os desenvolvimentos de conceitos espontâneos e científicos.

Encontra-se a raiz de tal diferenciação no fato de que, ao contrário dos conceitos espontâneos que se formam através da apreensão imediata da realidade, a apropriação de conceitos científicos depende de sua mediação adequada. Entretanto, de maneira dialética, conceitos espontâneos formam a base sobre a qual ocorre o processo de formação dos conceitos científicos. A presente Seção descreve como o desenvolvimento de conceitos superiores segue um movimento constante de superação, em unidade com os conceitos espontâneos, incidindo potencialmente em erros no decorrer desse processo.

Para tanto, é fundamental o entendimento de outro postulado de Vigotski. Neste, o autor defende que o desenvolvimento humano é dividido em dois níveis: o Nível de Desenvolvimento Real e a Zona de Desenvolvimento Iminente⁵. O primeiro nível é referente ao desenvolvimento já alcançado pelo indivíduo e é identificado pelas tarefas e ações que este é capaz de realizar sozinho. Já a Zona de Desenvolvimento Iminente se refere às funções psicológicas que estão em processo de desenvolvimento. Esta zona é representada pelas ações que o indivíduo não consegue realizar sozinho, mas que é capaz de alcançar através da mediação apropriada de outros sujeitos.

É importante considerar aqui a unidade dialética entre zona de desenvolvimento real e iminente. É por meio dessa unidade que se concebe o desenvolvimento do psiquismo como produto de um movimento constante de superação de contradições e reorganizações. É exatamente nesse sentido que [Martins \(2013\)](#) alerta para o risco de interpretações parciais dos conceitos de desenvolvimento real e de zona de desenvolvimento iminente.

Para a autora, Vigotski deixa claro que o fato de um indivíduo realizar uma tarefa sozinho e, assim, demonstrar a assimilação de um conceito, não implica que o desenvolvimento deste está finalizado. Pelo contrário, a formação do conceito está somente no início.

⁵ A exemplo da autora [Martins \(2013\)](#), adota-se a expressão “iminente” no lugar da já famosa expressão “proximal”. Tal escolha se deve pelo fato de o termo escolhido apresentar uma maior identificação com a palavra utilizada no idioma russo e por ser mais coerente com o significado teórico representado pelo conceito. Um estudo detalhado sobre a tradução das obras de Vigotski, incluindo sobre o termo citado, pode ser encontrado em [Prestes \(2010\)](#).

Para clarificar esta conclusão, [Martins \(2013, p. 286\)](#) faz uso de um exemplo simples: o ensino do sistema decimal. Nesse caso, ensina-se a criança a escrever os números, as diferentes operações matemáticas etc. Ao se verificar por ações específicas que a criança é capaz de realizar as diferentes operações ensinadas, pode-se concluir que estas estão sob o seu domínio real. Todavia, essa conclusão é apenas parcialmente verdadeira. Pois, o “domínio conceitual do sistema decimal determina a identificação das relações que existem entre tais operações matemáticas e as novas conexões interfuncionais conquistadas”. Assim, tem-se que a simples realização autônoma de uma tarefa não necessariamente implica que houve uma aprendizagem que promoveu desenvolvimento.

Por consequência, durante o trabalho educativo, os conceitos de desenvolvimento real e iminente não devem significar apenas uma diferenciação entre o que o aluno é capaz de realizar sozinho e acompanhado. Visto que, não existe uma barreira única, estática, capaz de indicar que um dado conceito está ou não plenamente formado pelo aluno. Dessa forma, o bom ensino é aquele que age sobre a zona de desenvolvimento iminente, porém, este não pode perder de vista que o processo de desenvolvimento psíquico ocorre pelo movimento dialético contínuo de complexificação das funções existentes. É nesse ponto decisivo da teoria de Vigotski que se identifica o papel do erro.

De maneira geral, o erro se estrutura através de associações imperfeitas existentes na zona de desenvolvimento iminente. Nesse sentido, [Sforni \(2004\)](#), ao estudar tal zona, indica que esta é composta, basicamente, por conceitos espontâneos. Isto é, por relações imediata e não sistematizadas com a realidade. A complexificação de tais estruturas ocorre quando o aluno, através da mediação pertinente do professor, *toma consciência* de tais conceitos em um novo nível promovendo a sua superação através do movimento em direção aos conceitos científicos.

Isto posto, ao se considerar que o desenvolvimento de conceitos científicos é produzido pelo ensino sobre a zona de desenvolvimento iminente (através da tomada de consciência de conceitos potencialmente espontâneos), tem-se que este desenvolvimento não possui um início específico e um término. Sob esta perspectiva, entende-se que o desenvolvimento de conceitos científicos, perante uma mediação apropriada, está sempre acontecendo. À vista disso, é necessário, então, superar “ideias segundo as quais os conceitos possam ser assimilados pela criança de forma acabada, isto é, como um conjunto de conexões associativas que se assimila com a ajuda da memória” ([MARTINS, 2013, p. 280](#)). Sendo assim, conceitos científicos não são apreendidos de maneira pronta, imediata. Tais conceitos surgem de generalizações elementares pré-existentes em direção a outras mais complexas.

Portanto, se um conceito não é apreendido, ou se torna consciente, integralmente de uma só vez, implica que, durante os momentos do processo de sua formação, o conceito por vezes se estrutura sobre generalizações, de certa forma, incompletas. Ou seja,

generalizações que potencialmente podem levar a erros durante a prática do aluno. A partir dessa concepção, pode-se afirmar que, *não havendo assimilação de um conceito em sua forma acabada, o erro é parte integrante e fundamental do processo de formação de conceitos científicos.*

Por um lado, a constatação acima implica que, por ser uma componente do próprio processo de formação de conceitos científicos, o erro não pode ser encarado com intolância. Isto é, rejeita-se aqui as visões conservadoras de erro, como as provenientes das pedagogias tradicional e tecnicista. Por outro lado, deve-se notar que o papel que o erro pode e deve desempenhar sobre o desenvolvimento de conceitos desse tipo vai muito além de sua simples constatação. Isso significa dizer que o erro não pode ser tomado como uma simples explicação de um estágio de desenvolvimento do aluno e, então, ignorado. Rompe-se, então, com a visão construtivista, para a qual o erro indica um certo estágio maturacional do aluno, e que será, naturalmente, superado por este no momento “correto”. Ignorar o erro é não estar atento ao processo de formação de conceitos em sua completude. Em outras palavras, ancorando-se no princípio de intencionalidade do trabalho educativo, para que o erro não se torne apenas um passo no processo empírico de apreensão da realidade, como em uma tentativa e erro, ele deve ser *mediado*.

Mediar o erro significa torná-lo objeto de uma atividade de ensino. Problematizá-lo. Colocá-lo como elemento de um processo de desenvolvimento. Um erro apresenta uma contradição no processo de pensamento, uma inconsistência não percebida pelo aluno. Cabe, então, ao professor apontar essa contradição. Torná-la porta de entrada para a tomada de consciência em um nível superior. Trata-se de transformar o erro em um *episódio de ensino*, definido como um “momento em que fica evidente uma situação de *conflito* que pode levar à aprendizagem de um novo conceito” (SFORNI, 2004, p. 116). O erro é, em potencial, este conflito. Entende-se, assim, que o papel do erro, a partir de uma abordagem histórico-cultural, é, através de sua mediação por parte do professor, provocar contradições e reorganizações subjetivas no aluno que promovam a formação de conceitos científicos e, conseqüentemente, o desenvolvimento psíquico pleno.

Nesse mesmo sentido, Serconek (2011, p. 16) propõe a mediação dialética do erro. Tal mediação considera formação do conhecimento como um processo de superação de um conhecimento simplificado, sincrético, em direção a um conhecimento complexo e superior (sintético). Nas palavras da autora:

“Propõe-se, assim, uma mediação dialética do erro, pautada na concepção do materialismo histórico que critica o estabelecimento de verdades eternas e imutáveis, que recusa a visão formal do certo e do errado e que preconiza o método dialético na apreensão da realidade. A lógica dialética incorpora, portanto, toda a histórica do conhecimento, suas determinações e relações”.

Como apontado por Martins (2013), amparada pelos pressupostos da Pedagogia

Histórico-Crítica e da Psicologia Histórico-Cultural, constata-se que não é simples a tarefa a que se propõe um ensino que promova a formação de conceitos científicos. Somente um ensino que leve em consideração o papel do erro apontado até aqui, ou seja, que promova a sua mediação dialética, é que pode proporcionar a socialização do saber sistematizado.

Todavia, além da necessidade de se alinhar aos preceitos acima expostos, a mediação do erro depende de outros fatores. Exemplo disso são as condições materiais pouco favoráveis comumente enfrentadas por professores que acabam por impedir a mediação adequada do erro.

Não é uma tarefa difícil constatar que as condições de trabalho nas escolas são das mais desfavoráveis. A quantidade de alunos sob a responsabilidade de um único professor é, em geral, muito maior do que a aceitável. Segundo dados do INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira), a média de alunos por turma no Brasil, em 2010, era maior do que 30 alunos. O número de aulas semanais que um professor deve realizar também se mostram muito acima do ideal. Os mesmos dados apontam que um professor passa cerca de 27 horas em sala de aula por semana no Brasil. Restando pouco tempo para outras atividades importantes como a preparação de aulas, sua formação e a reflexão sobre seu próprio trabalho.

Assim, como já salientado, muitos professores, no decorrer de sua prática, mantêm uma visão conservadora do erro, que em muito se assemelha à perspectiva tradicional. Ou seja, apontam o erro como um resultado imediato da incapacidade intelectual do aluno ou sua displicência com os estudos. Dessa forma, deixam de problematizar o erro. Apresentam indiferença quanto a ele e à sua análise ou, ainda, se mostram completamente intolerantes ao mesmo.

“A postura intolerante com o erro é fruto de seu entendimento enquanto indicador do oposto ao conhecimento verdadeiro e necessário ao indivíduo, conforme a sociedade e, conseqüentemente, a escola julga como tal. Essa intolerância com o erro provém, também, de sua análise isolada do contexto em que se integra, ou seja, do fato de desconsiderar as condições concretas em que é produzido. O erro é percebido simplesmente enquanto produto direto das atitudes do aluno: sua falta de empenho, sua desatenção, sua preguiça e o pouco exercitar as atividades escolares necessárias para ‘dominar’ os conteúdos propostos pela instituição. *A visão intolerante do erro não é resultado de uma construção abstrata de um determinado professor, mas está sedimentada sobre o movimento real e histórico de um conjunto de sujeitos sociais envolvidos no processo educativo do indivíduo, que, por sua vez, faz parte de uma estrutura social e econômica que determina as condições cotidianas de vida, de trabalho, de ensino e de aprendizagem*” (SERCONEK, 2006, p. 111, grifo nosso).

Como é apontado pela autora, a falta de problematização do erro e, por conseguinte, a indiferença ou intolerância com o mesmo, não provém diretamente da falta de interesse ou da formação de um ou outro professor, mas sim de um contexto muito mais

complexo. As condições materiais e históricas a que professores e alunos estão expostos durante o trabalho educativo fazem parte da formação das suas perspectivas de erro.

Nesse sentido, [Serconek \(2006\)](#) deixa claro que a análise de erros é uma tarefa árdua na educação escolar. Na maioria dos casos, por consequência de um número de alunos muito além do ideal, professores são impossibilitados de realizar a análise individual dos erros dos alunos. Neste caso, os educadores acabam adotando procedimentos de correção em grupo, como quando a resposta correta é exposta no quadro negro e os alunos devem corrigir seus próprios erros. Assim, os alunos acabam por não sanar suas dúvidas, além de não desenvolver consciência de seus erros e permanecer sem reorientação por parte do professor. Em geral, as correções dos erros se baseiam, apenas, na reexecução da tarefa incorreta.

Com relação às avaliações, pouco se retorna aos alunos sobre suas dificuldades. Apenas alguns sinais indicando se a resposta está correta ou não, com pouquíssimos, ou nenhum, comentários. Sobre o processo de avaliação, [Serconek \(2006, p. 131\)](#) afirma que:

“[...] textos de avaliação, bem como outras atividades desenvolvidas em sala, servem apenas para verificar a quantidade de erros e acertos e para classificar o aluno em aprovado ou reprovado. Cadernos de produção textual e atividades em folhas avulsas (provas) são retidos, pois servem, também, como material de comprovação da capacidade/incapacidade dos alunos durante um conselho de classe ou perante os pais quando questionam sobre a aprendizagem de seus filhos. [...] dar um visto e ‘fechar o caderno’ não colaboram para o processo de aprendizagem; é estagnar o movimento do conhecimento que necessariamente caminha de um saber mais simples a um mais complexo por meio da mediação planejada do professor”.

Assim, ainda que os registros dos erros não sejam perdidos ou deixados de lado, o volume e o caráter esparsos e caóticos dos registros mantidos impossibilitam a análise por parte do professor. Nesse contexto, a autora [Serconek \(2006, p. 150, grifo nosso\)](#) relata sobre a mediação do erro na sala de aula:

“Apesar dos esforços das professoras, comumente as respostas aos exercícios e as produções realizadas pelos alunos ficavam sem verificação e, conseqüentemente, estagnava-se o processo de conhecimento em devir. A carência de feedback às atividades realizadas impedia uma oportunidade de oferecer aos alunos condições de conhecer o que e porque erraram. *Procedimentos de identificação do erro e reconhecimento de suas condições concretas de produção e superação instrumentalizam, junto com outros procedimentos de ensino e aprendizagem, professores e alunos no processo contínuo de transportar conhecimentos prévios e simples para alcançar conhecimentos cada vez mais complexos, prática pouco observada no locus de nossa pesquisa.*

Quando havia correção de atividades, prevalecia a estratégia coletiva. Dificilmente as professoras corrigiam todos os (mais de 30) cadernos ou livros individualmente. Destacaram-se duas modalidades de correção coletiva: aquela em que a professora registrava no quadro as respostas e

resultados pretendidos a partir de duas ou três colocações de seus alunos; ou a professora chamava ao quadro alguns alunos para responderem às questões ou operações dadas. Ambas as estratégias de correção coletiva não envolviam discussões ou reflexões sobre os resultados expostos; o aluno, por conta, deveria identificar seus erros e corrigi-los imediatamente”.

Sem uma análise do erro, professores não possuem condições ideais para refletir sobre seu próprio método de ensino, dificultando aprimoramentos, e ficando “reféns” da avaliação somativa como única métrica de qualidade de seu trabalho. Os alunos, por sua vez, ficam sem acesso aos seus erros e da mediação dos mesmos pelo professor, e, portanto, acabam por reduzir a reflexão sobre seu próprio processo de aprendizagem.

Nesse sentido, com base nos estudos apresentados até aqui, e na análise das condições adversas encontradas por professores e alunos durante a mediação do erro, o próximo Capítulo apresenta um arcabouço de sistema computacional com o objetivo de auxiliar na mediação do erro.

4 Arcabouço de Sistema para Auxílio à Mediação do Erro

O Capítulo anterior foi concluído ao se descrever as condições materiais pouco favoráveis enfrentadas na maioria das escolas para a mediação do erro. Em suma, averiguou-se que os erros são ainda pouco explorados na prática educativa. Para [Serconek \(2006\)](#), tal fato possui relação com a associação do erro a um suposto fracasso pessoal do aluno, uma limitação inerente a ele, como se o seu insucesso fosse uma simples consequência da sua produção de erros.

Embora teorias pedagógicas comumente presentes no ideário dos professores, como as apresentadas por [Ferreira e Duarte \(2012\)](#), destacam a importância do “errar” durante o processo de ensino e aprendizagem, muitos professores no decorrer de sua prática mantêm uma visão tradicional do erro. Tal visão, aponta o erro como um resultado imediato da incapacidade intelectual do aluno ou da sua displicência com os estudos. Dessa forma, o erro deixa de ser problematizado e os benefícios de sua mediação são perdidos.

Com base na análise apresentada pelos Capítulos anteriores, conclui-se que, na busca da promoção da mediação do erro é primordial, em primeiro lugar, garantir o acesso aos registros de erros, tanto para alunos quanto para professores. Este acesso é condição fundamental para que a mediação seja possível. Sem o registro do erro, dificulta-se o processo de problematização do erro, pois não há “material” para mediação.

Assim, faz-se necessário facilitar o acesso aos registros de erros tanto para professores quanto para alunos, tendo como *objetivo final a superação da visão tradicional do erro e a promoção de sua mediação*. Uma mediação que se caracteriza não pela remoção do erro, mas por entendê-lo como parte integrante do processo de formação de conceitos ([SERCONEK, 2006](#)). Assim, para que este processo de mediação do erro seja possível — e para que produza impactos realmente relevantes no desenvolvimento humano dos alunos — são necessárias possibilidades de mudanças nas condições materiais (instrumentos pedagógicos) de professores e alunos.

Por outro lado, o simples acesso ao erro pode não oferecer subsídios de qualidade para a reflexão do professor. Na mediação do erro, na sua problematização, é necessário que o professor se aproprie do erro, que tome consciência de sua significação no processo de aprendizagem do aluno. Certamente, essa assimilação necessita de uma carga altíssima de trabalho do professor. Quanto mais “próximo” da significação plena do erro estiver o professor, menor será o impedimento para sua mediação.

Neste contexto, a manipulação, ou seja, a visualização e a análise dos registros

de resposta e de suas relações, pode ser um instrumento poderoso para a mediação por parte do professor. Uma ferramenta para esta manipulação é capaz de facilitar a reflexão do professor sobre o conjunto de erros de seus alunos. Tal instrumento aproximaria o professor de um processo de apropriação e objetivação do conhecimento sobre os erros de seus alunos.

Observa-se, entretanto, que um único registro de erro, estático, sem relações, carece de atributos para sua mediação. Um erro ocorre sempre em um certo contexto, em um momento específico do desenvolvimento do aluno e, também, não é isolado de outros erros. Isto é, erros se relacionam entre si, sejam erros de um mesmo aluno de alunos diferentes. Tais relações indicam similaridades e interdependências entre os erros.

Em vista do exposto, o presente Capítulo objetiva propor um arcabouço de sistema para a promoção da mediação do erro e sua facilitação. Este arcabouço, fundamentado na Pedagogia Histórico-Crítica e na Psicologia Histórico-Cultural, permite ao professor visualizar e manipular registros de respostas e suas relações. Para tanto, desenvolve-se o conceito de grafo de similaridade entre respostas, sobre o qual, com participação ativa do professor, o sistema provê funcionalidades como: classificação semi-automática de respostas, recomendação de respostas para grupo de alunos e diferentes tipos de visualização dos dados armazenados. Com este instrumento, permite-se ao professor uma análise do processo de formação de conceitos do aluno de uma maneira mais concreta e sintética em detrimento de uma visão imediatista e empírica.

O Capítulo se inicia por uma breve resenha literária, Seção 4.1, dividida em duas partes: em primeiro lugar, uma revisão histórica dos Sistemas de Informática Educativa é apresentada, seguida pela revisão dos trabalhos atuais de IE que tem o erro como objeto de estudo. A Seção seguinte, 4.2, descreve uma análise crítica do papel e da importância conferidos às pesquisas de IE no processo de mediação do erro. Por fim, a Seção 4.3 expõe em detalhes o arcabouço proposto por essa tese.

4.1 Resenha Literária

Esta Seção exhibe uma revisão dos principais trabalhos encontrados na literatura de IE. Em especial, daqueles que apresentam alguma relação com erros de alunos. Em primeiro lugar, o histórico e a taxonomia de sistemas existentes na informática educativa são brevemente descritos. Permite-se, através disso, uma apreciação das principais linhas históricas de ação da IE. Na sequência, a análise se torna mais específica, abrangendo os principais trabalhos e abordagens presentes na literatura que se relacionam com o conceito de erro.

4.1.1 Histórico e Taxonomia de Sistemas da Informática Educativa

Com seu início datado por volta do final da década de 1950, diz-se que a criação e o uso de sistemas computacionais com fins educacionais tem acompanhado a história dos próprios computadores (BARANAUSKAS et al., 1999). Da mesma forma que os sistemas com fins educacionais, durante sua história, reproduzem as possibilidades técnicas existentes nos contextos de suas produções, os paradigmas pedagógicos que embasam tais sistemas representam, também, as concepções vigentes de sua época. Por exemplo, ao final da década de 1950, os sistemas de “*instrução programada*” reproduziam os preceitos da pedagogia tecnicista (SAVIANI, 1997), de forte tendência na época.

Baranauskas et al. (1999) sugerem uma taxonomia para os ambientes de aprendizagem baseados no computador. Apesar de, relativamente, ser pouco recente, a classificação feita por estes autores é bastante usual. Tal taxonomia divide os ambientes de aprendizagem em três grandes grupos: *Ensino Assistido por Computador*, *Ambientes Interativos de Aprendizagem* e *Aprendizado Socialmente Distribuído*.

O primeiro grupo, **Ensino Assistido por Computador**, parte do pressuposto de que a informação é a unidade fundamental no ensino e utiliza o computador como uma ferramenta para transmissão da informação. Os primeiros exemplares dessa classe de sistemas datam ainda da década de 1960, em consonância com a pedagogia tecnicista, e são definidos como sistemas de **Instrução Assistida por Computador**, ou **CAI** do inglês **Computer Assisted Instruction**.

Em sistemas do tipo CAI, o ensino era bastante rígido, sendo composto por módulos de informação expostos aos alunos sequencialmente. Ao final da exposição, o aluno era, geralmente, submetido a questões que deviam ser respondidas de modo a reproduzir a informação transmitida anteriormente pelo sistema. De maneira geral, “os sistemas CAI representavam, apenas, um novo material para veiculação do conteúdo: o computador em vez do material impresso” (BARANAUSKAS et al., 1999, p. 50). Nestes ambientes, o aluno tinha pouca, ou nenhuma, liberdade de interação; apenas eram possíveis as opções de prosseguir ou retornar no conteúdo.

Durante a década de 1970, num contexto de formação e evolução da **Inteligência Artificial (IA)** na computação, novas abordagens para construção de sistemas com fins educacionais surgiram. Assim, a partir da intenção de superar as deficiências dos sistemas CAI, surgem os sistemas de **Aprendizagem Assistida por Computação Inteligente**, ou **ICAL** do inglês **Intelligent Computer Assisted Learning**. Essa nova forma de sistema procurava tornar o sistema, de certa forma, mais ciente do processo de ensino e aprendizagem que ocorre com cada aluno. Assim, o programa podia “tomar decisões sobre o quê ensinar, a quem ensinar e como fazê-lo” (BARANAUSKAS et al., 1999, p. 50). Atualmente, sistemas ICAL são conhecidos como **Sistemas Tutores Inteligentes**

(STI), do inglês **Intelligent Tutoring Systems**. STIs agregam, cada vez mais, técnicas aprimoradas disponíveis no campo da IA. De forma geral, tais sistemas obedecem uma arquitetura padrão, composta por quatro módulos: domínio, modelo do estudante, tutorial e interface.

O módulo de domínio é responsável por representar o conhecimento ideal, ou correto, (geralmente provido por um especialista) do domínio sendo ensinado. Diferentes formas de representação de conhecimento podem ser utilizadas. O módulo de modelo do estudante, possui uma representação do estado atual do conhecimento e do desempenho do estudante. O módulo tutorial possui as estratégias de ensino que são utilizadas pelo sistema. Aliado ao modelo do estudante, este módulo define quais são as próximas ações pedagógicas a serem tomadas. Por fim, o módulo de interação é responsável por toda interface de interação com o aluno.

Em consonância com abordagens pedagógicas como o Construtivismo e o Construcionismo (PAPERT, 1980), uma nova classe de sistemas surge, de certa forma, em oposição aos sistemas ICAL e STI. Essa nova classe, definida por Baranauskas et al. (1999) de **Ambientes Interativos de Aprendizagem (AIA)**, tem como característica a concepção de que o conhecimento deve ser construído pelo aluno, através de atividades de exploração, investigação e descoberta. Assim, sistemas AIA, permitem um maior controle do processo de ensino por parte do aluno, o qual pode escolher o que e como aprender. Nesse contexto, o sistema responde às interações do aluno, permitindo que este o explore livremente e, assim, construa seu conhecimento.

Baranauskas et al. (1999) citam micromundos e sistemas de autoria como subclasses de sistemas AIA. Sistemas ditos de micromundo são, na verdade, ligados a um conceito de algo que representa um subconjunto da realidade. Assim, um sistema micromundo apresenta um modelo de sistema, ou seja, um subconjunto de realidade, que pode ser manipulado pelo usuário através de primitivas claramente especificadas. Em outras palavras, sistemas micromundo são:

“[...] ambientes com riqueza semântica que atuam como instrumento de abstração para representar situações reais. Os elementos disponibilizados por um micromundo agem, portanto, como um conjunto metafórico dentro das situações representadas” (KRYNSKI, 2013, p. 29).

Sistemas de autoria, originados com o conceito de documento *Hipertexto*, permitem não apenas a leitura de documentos mas, também, a autoria de conteúdos. Marczal e Direne (2012) definem uma ferramenta de autoria como um software que permite ao tutor humano manipular (criar, alterar ou excluir) sessões de ensino, de modo a compor um software para ensino e aprendizagem de algum conteúdo. Tais ferramentas têm três objetivos principais: (a) diminuir o esforço no processo de criação de um software educacional; (b) facilitar a manipulação de questões fora do domínio específico do autor

(detalhes computacionais, por exemplo); (c) prototipagem rápida (MURRAY; WOOLF; MARSHALL, 2004).

Por fim, Baranauskas et al. (1999) definem uma última classe de sistemas com fins educacionais: aqueles que promovem o **Aprendizado Socialmente Distribuído**. Tais sistemas incorporam as tecnologias de comunicação que surgiram juntamente com a Internet. Permitem, assim, um ambiente de aprendizado com comunicação entre os participantes e formas de trabalho colaborativo, mesmo à distância.

Nos últimos anos, várias nomenclaturas têm surgido para nomear sistemas educacionais que operam, em geral, sobre a internet. Nomeiam-se, aqui, uma pequena lista:

Learning Management Systems (LMS) sistemas que fornecem ferramentas para criação, administração e disponibilização de cursos na internet. Um exemplo característico desse tipo de sistema é o ambiente *Moodle*.

Massive Open Online Course (MOOC) são cursos oferecidos pela internet, disponíveis para um número ilimitado de usuários. Tais cursos podem ser criados e disponibilizados por sistemas do tipo LMS.

Web-based Educational System (WBE) corresponde a uma forma geral de nomear sistemas educacionais que operam na internet.

Adaptive and Intelligent Web-based Educational System (AIWEB) sistemas educacionais que operam na internet, mas que não são apenas expositores de conteúdos, como sistemas CAI. Pode-se dizer que são sistemas que combinam características de STIs e AIAs juntamente com as possibilidades da internet. Utilizam técnicas das áreas de IA e Mineração de dados.

4.1.2 Trabalhos Relacionados

A presente Seção aborda, de maneira crítica, trabalhos existentes na área de informática educativa relacionados a esta pesquisa. Atenção especial é dada a trabalhos que, de alguma forma, envolvem o uso de erros de alunos.

Os trabalhos apresentados por Isotani et al. (2011) e McLaren et al. (2012) reforçam a teoria de que o uso do erro no processo de ensino e aprendizagem apresenta resultados positivos. Tais trabalhos utilizam sistemas computacionais para apresentar exemplos errôneos (problemas matemáticos resolvidos em que um ou mais passos são incorretos) de operações com números decimais para alunos. Experimentos realizados pelos autores exibem o fato de que alunos que realizaram a análise e a correção de exemplos errôneos apresentaram um ganho no desempenho escolar, especialmente, a longo prazo.

Entretanto, de maneira geral, são poucos os estudos que trabalham, especificamente, com registros de erros no processo de ensino e aprendizagem. Parte destes se encontram nos campos de STIs e de **Mineração de dados Educacionais** (EDM) (PEÑA-AYALA, 2014). Os trabalhos mais relevantes dessas linhas de pesquisa são descritos a seguir.

O diagnóstico de erros é uma área especialmente explorada por STIs e consiste em encontrar e classificar os erros cometidos pelos alunos durante o uso do sistema. Ferramentas que realizam diagnóstico de erros podem orientar os alunos em relação aos seus erros, como também, fornecer informações para a modelagem do estudante. A grande maioria de STIs possui, em algum grau, a função de diagnóstico de erro.

Pelo seu caráter de alta complexidade, o domínio de ensino de programação apresenta vários trabalhos de diagnóstico de erros. Nesta área, Boulay (1988) classifica os ambientes que realizam o diagnóstico de erros em três categorias: diagnóstico por **solução de referência**, por **análise de especificação** ou por **diálogo de depuração**.

A primeira categoria, diagnóstico por solução de referência, inclui trabalhos que confrontam a solução do estudante com uma solução exemplo previamente fornecida ao sistema. Na tentativa de aproximação entre as duas respostas, os erros são encontrados. Como representante dessa categoria, podemos citar o sistema **LAURA** (ADAM; LAURENT, 1980), o qual utiliza soluções de referência para diagnosticar algoritmos feitos por estudantes. Para tanto, as soluções são convertidas em grafos de fluxo de controle e, então, comparadas. Uma vantagem a ser mencionada é o fato desse sistema permitir que o estudante apresente soluções corretas diferentes da solução de referência armazenada.

A categoria de diagnóstico por análise de especificação é composta por sistemas que utilizam a descrição, ou especificação, de metas para as respostas. Erros são diagnosticados, então, na falta ou incorreção de tais metas na solução do estudante. Exemplos de trabalhos dessa categoria são: **PUDSY** (LUKEY, 1980), **AURAC** (HASEMER, 1983) e **PROUST** (JOHNSON; SOLOWAY, 1985). O último, PROUST, é famoso por ser capaz de diagnosticar erros semânticos e exibir comentários sobre os mesmos. Nesse software, as respostas são programas escritos em um subconjunto da linguagem de programação Pascal.

Por fim, a categoria de diagnóstico por diálogo de depuração apresenta sistemas que realizam um diálogo com o estudante durante o acompanhamento passo a passo da solução. Assim, erros podem ser isolados em partes específicas da solução, com a participação do estudante (KRYNSKI, 2013). O sistema **SHAPIRO** (SHAPIRO, 1983), pertencente a essa categoria, realiza o diagnóstico para programas da linguagem Prolog. O ambiente pergunta ao estudante informações sobre o comportamento esperado por ele para partes específicas da solução, e em comparação com o comportamento obtido, os erros são determinados.

Remediação de erros é a ação tomada, em geral por STIs, quando um erro é capturado. Neste instante é dado ao sistema uma oportunidade de expressar fatos e regras que possam levar o aluno a corrigir o erro, simplesmente mostrando conceitos esquecidos, ou permitindo que os alunos constatem seus próprios equívocos.

Abordagens recentes de remediação de erros como Leite, Pimentel e Pietruchinski (2012) e Oliveira (2011) têm feito uso da teoria de **Múltiplas Representações Externas** (MREs) (AINSWORTH, 2006). Especificamente, Leite (2013) define uma arquitetura para uma abordagem de uso de representações externas no processo de remediação de erros matemáticos, através de STIs aplicados a **Objetos de Aprendizagem (OA)**.

A classificação de erros, automática ou não, é, também, um tópico bastante importante para a informática educativa. Através dessa classificação, a remediação pode ser favorecida e direcionada. Nesse contexto, Leite, Pimentel e Oliveira (2011) apresentam um modelo para classificação de erros de matemática. Ramos (2011), por sua vez, apresenta uma classificação de erros de indução analítica.

No domínio de ferramentas de autoria, pode-se destacar o projeto **CARRIE** (MARCZAL; DIRENE, 2011) e, posteriormente, o sistema **FARMA** (MARCZAL; DIRENE, 2012). Ambos propõe a retroação ao estado do sistema no momento em que o erro ocorreu, como uma forma de promover o aprendizado. No sistema FARMA, em especial, professores e alunos podem produzir objetos de aprendizagem interativos, através de uma interface amigável, e disponibilizá-los na internet. Alunos, podem, então, interagir com OAs produzidos por seus professores. Na medida em que respondem a questões presentes nos OAs, suas respostas, corretas ou não, são armazenadas pelo sistema. Assim, através de um sistema simples de busca, o aluno pode retroceder ao momento que produziu alguma resposta, podendo fazer uma nova tentativa, no caso de ser uma resposta errada. Essa retroação pode ser executada pelo aluno em qualquer momento. O professor, ou o criador do OA, também têm acesso às respostas dadas pelos alunos, utilizando a mesma interface de busca. Vale ressaltar que no sistema FARMA não há diferenciação entre alunos e professores. Ambos são usuários que podem criar, publicar e usar OAs. Essa asserção está em consonância com o paradigma construtivista, sendo o aluno o protagonista do seu aprendizado.

Durante a última década, uma nova área de pesquisa se formou e, hoje, apresenta-se como uma promissora fonte de trabalhos. Nomeada como **Mineração de dados Educacionais**, ou **EDM**, do inglês **Educational Data Mining** (ROMERO; VENTURA, 2007), tal área de pesquisa é definida por Romero e Ventura (2010, p. 1) como “um campo que explora algoritmos estatísticos, de aprendizado de máquina, e de mineração de dados sobre os diferentes tipos de dados educacionais”. Aqui, podemos definir mineração de dados como “um sistema baseado em computadores devotado para a análise de repositórios de dados, geração de dados e descobrimento de conhecimento” (PEÑA-AYALA, 2014,

p. 1).

Para (PEÑA-AYALA, 2014, p. 1), a EDM surge

“[...] como um paradigma orientado para o *design* de modelos, tarefas, métodos, e algoritmos para a exploração de dados de cenários educacionais. EDM busca encontrar padrões e fazer previsões que caracterizem comportamentos e realizações do aluno, conteúdo do domínio de conhecimento, avaliações, funcionalidades educacionais e aplicações (LUAN, 2002).” (PEÑA-AYALA, 2014, p. 1).

O campo de pesquisa da presente proposta possui, em vários aspectos, similaridades e afinidades com a área de atuação da EDM. Pois, como já descrito nos Capítulos anteriores, a presente tese versa sobre a análise de registros de erros de alunos e sua visualização, tarefas típicas da área de EDM. Por esse motivo, descrevem-se, a seguir, os trabalhos de maior relevância relacionados à essa pesquisa existentes no campo da EDM.

Sistemas EDM possuem uma vasta gama de aplicações. Peña-Ayala (2014), ao analisar os trabalhos relacionados com EDM produzidos entre 2010 e 2013 e suas aplicações, os classifica nas seguintes classes:

- Abordagens
 - Modelagem de estudante;
 - Modelagem de comportamento de estudante;
 - Modelagem de desempenho de estudante;
 - Avaliação;
 - Suporte ao estudante e *feedback*;
 - Currículo, domínio de conhecimento, sequenciamento e suporte à professores.
- Ferramentas
 - Extração, apoio ao aprendizado, e engenharia de características
 - Visualização
 - Suporte de análise

No que diz respeito à modelagem de estudante, Nwaigwe e Koedinger (2011) analisam o desempenho de heurísticas para a previsão de taxas de erros de estudantes com o passar do tempo. Gogvadze et al. (2011) avaliam um modelo bayesiano de erros de alunos, o qual foca na apresentação e na adaptação de exemplos errôneos no domínio dos decimais. Rau e Scheines (2012), por sua vez, analisam dados de taxa de erros, uso de dicas e tempo de uso, obtidos durante o estudo de frações. Eles comparam o desempenho de alunos que

tiveram acesso a múltiplas representações gráficas durante o processo de aprendizagem contra o desempenho de alunos que tiveram acesso apenas a uma representação gráfica.

Na classe de modelagem de comportamento de estudante, [Toscher e Jahrer \(2010\)](#) fazem estimativas da habilidade de um estudante responder questões corretamente baseadas nos históricos de resultados anteriores do estudante. As estimativas envolvem técnicas de *Collaborative Filtering*¹.

A classe de avaliação apresenta dois trabalhos relevantes a esse estudo. Primeiramente, [Barker-Plummer, Cox e Dale \(2011\)](#) procuram determinar um conjunto de erros e confusões cometidos por estudantes no aprendizado de lógica de primeira ordem. Posteriormente, [Sudol, Rivers e Harris \(2012\)](#) definem uma métrica de distância probabilística entre as respostas de um aluno e a solução correta.

Os trabalhos classificados como suporte ao estudante e *feedback* apresentam, em grande número, trabalhos relacionados com sistemas recomendadores. [Vialardi et al. \(2010\)](#), [Vialardi et al. \(2011\)](#) apresentam sistemas recomendadores para auxiliar estudantes na escolha de disciplinas para matrícula. [Surpatean, Smirnov e Manie \(2012\)](#) demonstram como combinar sistemas recomendadores em busca de melhores recomendações na área de educação. [Champaign e Cohen \(2010\)](#) apresentam anotações e comentários feitos pelos próprios estudantes durante a interação com OAs para estudantes considerados similares. Ainda nessa mesma classe, [Jin et al. \(2011\)](#) automatizam a criação de dicas a partir de dados de respostas de estudantes.

[Paiva, Bittencourt e Silva \(2013\)](#) apresentam uma ferramenta capaz de prover recomendações pedagógicas para professores com base na mineração automática dos dados educacionais de cursos online. Os dados são analisados seguindo *Cenários de Mineração* previamente estabelecidos, que definem quais dados serão usados e como serão processados. Com base nos resultados, árvores de decisão são geradas e, através delas, são produzidas recomendações aos professores. Tais recomendações incluem recursos disponíveis no ambiente online, como exercícios e materiais didáticos. Embora este trabalho apresente uma forma automática de avaliação de dados educacionais para a geração de recomendações, não exibe uma análise sobre os erros dos alunos. O trabalho acaba, ainda, por considerar apenas dados simples como número de questões respondidas, número de acessos aos sistema, desempenho do aluno e etc.

A classe de Currículo, domínio de conhecimento, sequenciamento e suporte à professores apresenta, também, trabalhos de sistemas recomendadores. [Zapata-Gonzalez et al. \(2011\)](#) propõem um sistema híbrido de recomendação para auxiliar usuários na busca por OAs. [Durand, Laplante e Kop \(2011\)](#) apresentam um sistema recomendados de “trajetos de aprendizagem” (do inglês *learning paths*) para ajudar professores na criação de

¹ Técnica da área de sistemas recomendadores que considera a avaliação coletiva dos próprios usuários sobre itens a serem recomendados.

cursos em ambientes LMS.

No grupo de ferramentas orientadas a EDM, três trabalhos merecem atenção: na classe visualização, [Johnson e Barnes \(2010\)](#) apresentam a ferramenta **InfoVis**, que monitora os estudantes durante o aprendizado para facilitar a supervisão de tutores. Já na classe suporte de análise, podemos citar dois trabalhos. Primeiramente, [Dyckhoff et al. \(2011\)](#), com a ferramenta **eLAT**, a qual apresenta ao professor indicadores gráficos de diferentes estatísticas obtidas a partir da interação dos alunos com o sistema. E, por fim, [Devine et al. \(2011\)](#), que apresentam uma ferramenta capaz de apoiar tutores na análise de dados de desempenho dos alunos. A ferramenta cria padrões de aprendizagem e faz sugestões para otimização do curso.

Especificamente no campo de ferramentas de monitoramento de estudantes, situa-se o trabalho de [Gaudencio et al. \(2013\)](#). Neste é apresentada a ferramenta **TSTView**, capaz de armazenar respostas de alunos para exercícios de programação de computadores. Tal ferramenta exhibe ao professor relatórios de desempenho dos estudantes, através de estatísticas e gráficos. [Gaudencio et al. \(2013\)](#) ressaltam, também, a inexistência na literatura de discussões sobre a visualização e o acompanhamento dos dados obtidos por meio do armazenamento de respostas de alunos e o seu impacto prático sobre a sala de aula. Fato esse que reforça a importância da presente tese.

Diante dessa breve resenha, pode-se concluir que poucos trabalhos fornecem apoio ao professor na análise de erros de alunos. Em geral, apresentam processos automáticos e análises estatísticas sem a participação do professor, o que impede um estudo mais profundo das causas concretas do erro. Outro ponto a ser destacado é a ausência de qualquer análise da relação entre diferentes registros de erro. Apenas foi possível constatar um tratamento individualista do erro, sem o estudo de suas conexões e similaridades.

As características apresentadas pelos trabalhos listados condizem com pedagogias centradas no aluno e não no professor. Demonstram uma tendência de valorização da aprendizagem em detrimento da transmissão do conhecimento ([FERREIRA; DUARTE, 2012](#)). Tendência esta contrária às concepções da Pedagogia Histórico-Crítica.

4.2 A mediação do erro e a Informática Educativa

A presente Seção visa responder de maneira breve a seguinte questão: *Como a IE pode auxiliar professores e alunos no uso do erro durante o trabalho educativo?*

Como já salientado, argumenta-se neste trabalho que a unidade de análise do uso do erro na educação não deve ser o erro por si só, mas sim, a sua mediação. Pois, somente esta é capaz de capturar a dinâmica do erro no processo de produção do conhecimento. Contudo, como se pôde concluir, as pesquisas até então desenvolvidas na IE, apontadas

na Seção anterior, não atingem ou não visualizam tal objetivo de maneira direta. Nestas, buscam-se, de maneira geral, mecanismos automáticos de identificação e diagnóstico do erro. As poucas pesquisas que destoam desse modelo, apresentam uma análise individual do erro, como algo estático, distante de suas relações. Ao se fazer uso do conceito de mediação apresentado no Capítulo anterior, deduz-se que a mediação do erro, como a própria nomeação indica, não se refere a um tratamento imediato deste, mas sim da captação do seu movimento, do entendimento da sua função no processo de sua própria superação.

A partir dos Capítulos 2 e 3 foi possível agregar fundamentos que permitem uma visão mais abrangente do problema da mediação do erro. A importância desta foi destacada, sendo apontadas as consequências enfrentadas atualmente devido à sua não efetivação. Concluiu-se também que a atualidade se apresenta como um momento de baixo incentivo para a mediação do erro. Cada vez mais a biologização do erro e a culpabilização do aluno entram em cena, dando espaço para a retomada de visões negativas com relação ao erro. Nesse sentido, reconheceu-se a dificuldade em se realizar a mediação em questão durante o trabalho educativo.

Além de a ideologia hegemônica postular para uma certa naturalização e o ar de negatividade imposto ao erro, constata-se que condições materiais adversas durante o trabalho educativo dificultam ainda mais esse processo. Diante do grande número de alunos e da exaustão causada pelas várias horas de trabalho, o professor já não é capaz de mediar o erro. Mesmo quando existe a tentativa de mediação, esta é barrada pela enorme quantidade de registros de respostas, originando uma falta de acesso e uma desorganização dos dados pertinentes para sua mediação. Nem alunos e nem professores possuem condições de ter conhecimento dos erros que ocorrem durante a aprendizagem.

Se o modelo de educação adotado pela presente pesquisa, preconizada pela Pedagogia Histórico-Crítica, visa o desenvolvimento de conceitos científicos como alavanca fundamental para o desenvolvimento humano e dada a participação da mediação do erro no processo de formação de conceitos desse tipo, então são necessários estudos que sigam na direção da superação das dificuldades materiais impostas atualmente ao sistema educacional. Considera-se, assim, que é exatamente nesse ponto que as pesquisas de IE devem atuar: no favorecimento das condições para que exista a mediação do erro.

Por essa razão, procurou-se determinar qual seria a contribuição fundamental que pode ser trazida pelas pesquisas em IE na busca para a resolução do problema da promoção e efetivação da mediação do erro. Nesse sentido, verifica-se que boa parte dos problemas que impedem ou dificultam essa mediação são referentes à falta de acesso à informação. Ou as informações são perdidas, ou estão desorganizadas, caóticas, ou são ininteligíveis devido à sua quantidade. Para que haja a mediação, o professor deve estar atento ao erro do aluno. É preciso ter acesso ao contexto em que o erro aconteceu. Enfim, é preciso ter

informações sobre o erro e maneiras de tratá-lo. Da mesma maneira, é preciso que o aluno possa ver e conhecer seu erro. Entender onde e por que errou através da mediação do professor.

Constatadas as demandas levantadas pelo problema descrito (possibilitar o acesso à informações pertinentes para a mediação do erro), resta a definição das possíveis ações. Portanto, através de técnicas computacionais, como a mineração de dados e a inteligência artificial, pesquisas em IE podem se concentrar no provimento de modos de acesso e manipulação dos dados relevantes à atividade de mediação do erro.

Em vista disso, define-se aqui que o papel primordial da IE na mediação do erro está atrelado às seguintes tarefas: formas de armazenamento, de recuperação, de visualização e de manipulação de registros de erros. Por consequência, a IE pode auxiliar a mediação do erro através do provimento de ferramentas que facilitem o acesso à informações pertinentes à essa.

Com a ação central na instrumentalização do trabalho educativo, ao contrário das outras pesquisas de IE relatadas na Seção anterior, a presente tese não busca ações automáticas isoladas de significação na prática pedagógica. É objetivo desse estudo apresentar uma abordagem diferenciada de análise do erro na IE. O trabalho educativo em si é deixado à professores e alunos. Dessa forma, corrobora-se com os preceitos das abordagens histórico-culturais já apresentadas.

Todavia, a apresentação de tal arcabouço não tem seu objetivo reduzido na simples facilitação do trabalho educativo. Os resultados esperados estão para além desse efeito imediato. Defende-se aqui que ao se auxiliar a mediação do erro, ou seja, ao dar condições para a realização desta, promove-se a superação de visões tradicionais do erro e da culpabilização do aluno. Em outras palavras, quando existe a mediação, há espaço para que a visões imediatistas e negativas do erro sejam desmistificadas e superadas.

Nesse cenário, a pesquisa de IE não se limita a ser apenas um tecnologismo puro do ensino. Procura-se através da presente pesquisa, originar ações sócio-políticas de fundamentação sólida em busca de uma mudança qualitativa da educação. No caso específico deste trabalho, almeja-se uma mudança da concepção hegemônica negativa de erro na direção da promoção da sua mediação a partir do provimento de instrumentos para que professores e alunos ampliem os resultados do trabalho educativo. Acredita-se, portanto, que um instrumento capaz de auxiliar no processo de mediação do erro seja uma contribuição da IE para o objetivo descrito.

É nesse sentido que a presente pesquisa apresenta um arcabouço de sistema, na tentativa de caminhar na direção da solução do problema apontado. O arcabouço descrito define as linhas gerais para o desenvolvimento de sistemas para o auxílio da mediação do erro. Tais linhas permitem que as aplicações criadas com bases nesse arcabouço se-

jam direcionadas para diferentes áreas de conhecimento que compõe a educação escolar (respeitadas suas devidas especificidades). As próximas Seções descrevem em detalhes a estrutura e o funcionamento do arcabouço concebido por essa tese.

4.3 Arcabouço Proposto

Nessa Seção é descrito um arcabouço de sistema para manipulação de registros de erros com o objetivo de instrumentalizar professores e alunos na busca da mediação do erro no processo de ensino e aprendizagem. Sendo assim, o objetivo central do arcabouço proposto é definir a estrutura e as funcionalidades necessárias a um sistema capaz de auxiliar na mediação do erro através da facilitação do acesso de professores e alunos à dados relevantes para tal. Portanto, são definidas as linhas gerais de desenvolvimento de um sistema computacional, como: a estrutura de dados, o fluxo de informação, as operações básicas que o sistema deve prover e como implementá-las.

4.3.1 Conceitos Fundamentais

A hipótese central desta pesquisa é determinada sobre a contribuição da manipulação dos registros de erros na prática docente. Dessa forma, argumenta-se que o armazenamento, a recuperação, a manipulação e a a visualização de registros de erros promovem a mediação do erro.

O sistema previsto pelo arcabouço considera algumas premissas: trata-se um ambiente computacional em que os alunos possuem acesso à questões, ou Objetos de Aprendizagem (O.A.s), formuladas e disponibilizadas pelo professor. Os alunos podem, então, interagir com tais questões através da submissão de respostas. Para cada respostas submetida, o sistema a armazena e a usa como base para o seu funcionamento. É a partir dessa estrutura básica, que o arcabouço a ser apresentado detalha formas para o armazenamento, recuperação, manipulação e visualização das respostas enviadas pelos alunos, a fim de promover a mediação do erro.

Nesse sentido, em essência, os registros de respostas submetidos pelos alunos se mostram como objeto fundamental de análise do arcabouço. Vale ressaltar aqui um “registro de resposta” se refere ao conteúdo da resposta em si juntamente de todos os seus dados relativos como enunciado, data, número da tentativa etc.

Embora o registro de resposta seja o dado fundamental a ser estudado, é necessário atenção para outra propriedade pertinente a este componente. Ao se partir do princípio de que o erro faz parte de um movimento de construção de conceitos científicos, deve-se considerar que um registro de resposta, errado ou não, não pode ser concebido de maneira isolada, “por si só”. Este deve ser entendido de sob uma perspectiva mais ampla, que considere a unidade de suas relações e inter-conexões com outros erros e dados. Surge

aí o conceito fundamental do arcabouço: registros de respostas se relacionam entre si de diferentes maneiras; isto é, respostas são similares à outras sob diferentes aspectos (sintáticos, semânticos etc.).

Por essa razão, o arcabouço proposto trabalha sobre as relações de similaridade existentes entre diferentes respostas. Considera-se que através da análise de tais relações, podem-se captar propriedades relevantes para a mediação do erro. Essas relações podem ser de similaridade sintática (como uso de palavras ou dados semelhantes) ou semântica (como o uso de um mesmo conceito). Através dessa concepção de relacionamento entre registros de respostas, as funcionalidades previstas pelo arcabouço provêm o estudo e a manipulação de tais registros. Para tanto, o arcabouço é formado por 4 componentes diferentes no que diz respeito ao processamento de registros de resposta e suas similaridades: *armazenamento, recuperação, manipulação e visualização semântica*.

A primeira, armazenamento dos registros de resposta, tem como objetivo que nenhuma resposta, correta ou incorreta, dada pelo aluno se perca ou seja ignorada. Assim, com o uso de longo prazo da ferramenta, os dados do aluno permanecem armazenados. O que possibilita uma análise concreta do processo de desenvolvimento dos seus conceitos científicos.

A recuperação dos registros de resposta visa dar acesso facilitado para alunos e professores aos registros armazenados. Para tanto, a recuperação de um registro deve ser simples e efetiva, sendo capaz de localizá-los através de busca ou de recomendá-los quando considerados como de potencial interesse para professores e alunos, para que se diminuam os impedimentos para a mediação do erro.

A manipulação dos registros, composta pela classificação e controle de relações destes, é uma funcionalidade disponibilizada para que professores possam exercer operações sobre o conjunto de dados armazenados. Juntamente com o auxílio da visualização semântica, professores podem se apropriar dos registros armazenados e aplicar seu conhecimento sobre estes através das operações fornecidas. Favorece-se, assim, a mediação do erro e a análise do processo de formação de conceitos de seus alunos.

Por fim, a visualização semântica dos registros de resposta é uma componente ligada diretamente às 3 anteriores. Procura possibilitar a professores e alunos o acesso à expressões gráficas do conjunto de registros armazenados e dos componentes que formam o armazenamento, a recuperação e a manipulação. Por meio da representação dos dados, busca-se facilitar a abstração e a assimilação dos registros armazenados, para que estes sirvam como instrumentos no processo de ensino e aprendizagem. A Figura 1 apresenta a organização gráfica desses componentes. As próximas Seções descrevem detalhes de cada um deles.

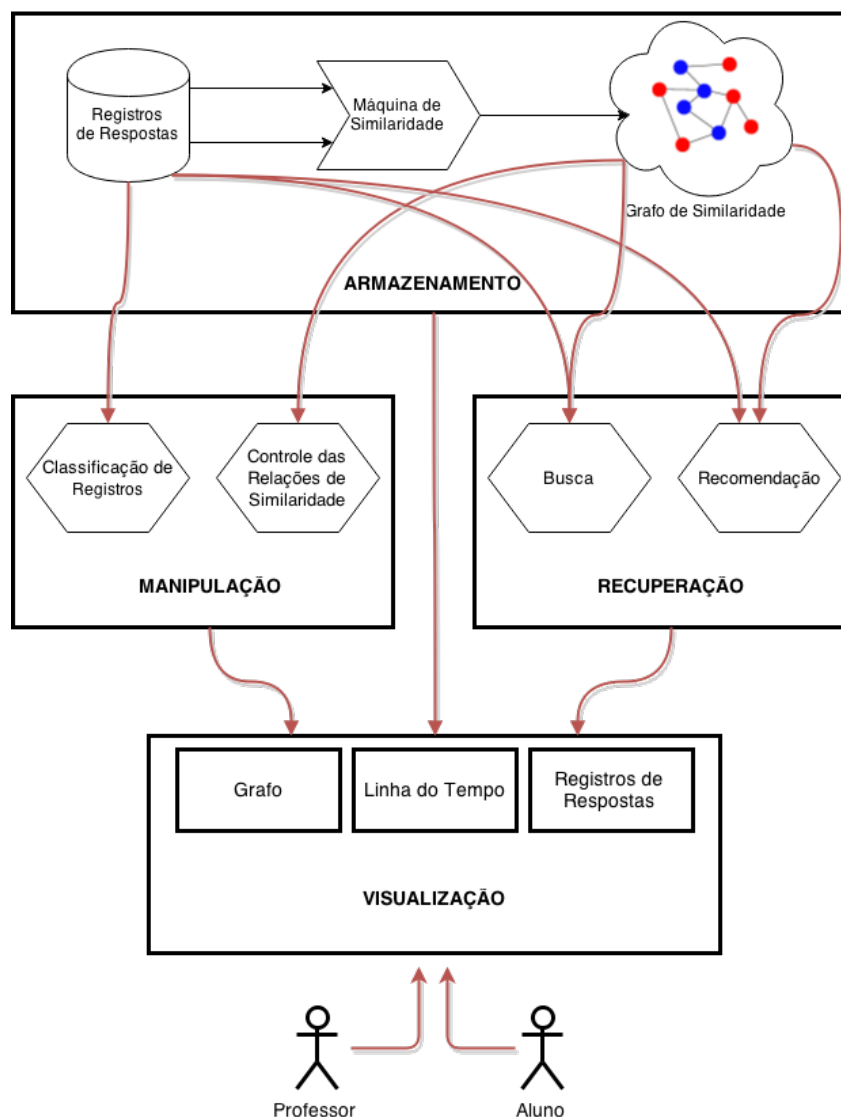


Figura 1 – Organização dos componentes do arcabouço.

4.3.2 Armazenamento

O componente de armazenamento do arcabouço tem por função, como já descrito, garantir que todas as respostas submetidas sejam armazenadas e que permaneçam acessíveis a qualquer momento. Para tanto, este componente é dividido em três partes básicas: base de dados, máquina de similaridade e grafo de similaridade.

A **base de dados** não possui nenhuma particularidade especial. Deve, apenas, armazenar todos os registros de respostas e seus dados relacionados de maneira simples. A **máquina de similaridade**, por sua vez, é responsável por realizar o cálculo de similaridade entre os registros, determinando, assim, através de diferentes atributos, o grau de semelhança entre as respostas. Deve-se notar aqui que o grau de semelhança entre duas respostas é predominantemente dependente do domínio, ou disciplina, da qual a questão respondida faz parte (isto é, português, matemática, história, etc.). Por exemplo,

os atributos que identificariam uma semelhança entre dois registros de respostas para uma disciplina de matemática não seriam, necessariamente, atributos úteis na análise de respostas para questões de história. Em outras palavras, a máquina de similaridade deve ser capaz de, dados dois registros de respostas, estipular segundo critérios específicos do domínio em questão, o grau de semelhança entre eles.

A partir das relações de semelhança obtidas pela máquina de similaridade e pelas definições do professor, é possível que um grafo seja gerado, nomeado *grafo de similaridade*. Neste, os vértices representam as respostas armazenadas, e as arestas ligam respostas consideradas semelhantes. O peso de cada aresta representa o grau de semelhança entre duas respostas. Através do grafo de similaridade, forma-se a estrutura de dados base para o arcabouço, pela qual será possível a realização de asserções e generalizações sobre o conjunto de respostas armazenadas. Além disso, a definição do grafo de similaridade permite a aplicação de diferentes técnicas de teoria de grafos para a extração de importantes informações sobre os registros de respostas e suas relações.

4.3.3 Recuperação

A recuperação ágil e facilitada dos registros armazenados é a função básica do componente de recuperação. Este deve garantir que professores e alunos sejam capazes de encontrar e resgatar informações referentes a qualquer registro que seja relevante. Para tal, o processo de recuperação de registros de respostas executado por esse componente é composto por duas abordagens: busca por palavras-chave e meta-dados e recomendação de respostas e questões.

A primeira abordagem de recuperação, **sistema de busca por palavras-chave e meta-dados**, refere-se à um mecanismo de busca capaz de recuperar registros por meio de diferentes tipos requisições. Em outras palavras, o mecanismo de busca deve responder como os tão utilizados sistemas de busca da internet. Os usuários, no caso professores e alunos, podem realizar pesquisas utilizando palavras-chave como nome do aluno, nome de questão, partes de uma resposta, entre outros e/ou meta-dados como turma, intervalo de tempo, classificação etc.

Por meio da disponibilização de um mecanismo de busca como esse, é possível recuperar, de maneira facilitada, dados específicos que sejam de interesse de professores e alunos em prol da mediação do erro. Por exemplo, por um lado, o professor pode, rapidamente, encontrar exemplos de resposta para favorecer a mediação de algum conceito e o aluno, por outro lado, pode apresentar respostas em que teve dúvidas e/ou erros.

A segunda abordagem é provida através da análise do grafo de similaridade. Por meio desta, o arcabouço é capaz de definir automaticamente registros de respostas e questões que podem ser de alta relevância pedagógica para um grupo específico de alunos.

Tais registros são apresentados ao professor na forma de **recomendações**. Estas sugerem para que o professor realize comentários sobre as respostas e questões informadas. Caso a recomendação seja aceita pelo professor, seus comentários devem estar disponíveis ao grupo de alunos.

O objetivo dessa abordagem é proporcionar ao professor a recuperação automática de respostas potencialmente relevantes. Uma vez que o conjunto de respostas armazenadas é, teoricamente, grande o suficiente para impedir a observação de todos os registros individualmente.

A definição de quais respostas e questões são relevantes para um grupo de alunos é composta por 3 etapas: (1) encontram-se grupos de alunos com alto grau de semelhança entre suas respostas; (2) para cada um dos grupos, definem-se quais questões possuem, supostamente, maior relevância para o grupo; (3) dentre as respostas dadas pelos alunos do grupo às questões consideradas relevantes, encontram-se as mais representativas.

Esse processo, de definição de relevância, segue da seguinte forma: diante da análise do grafo de similaridade de respostas, o sistema é capaz de derivar outro grafo: o grafo de similaridade entre alunos. Este é definido pela análise da semelhança entre as respostas de diferentes alunos. Quanto maior a média de semelhança entre as respostas de dois alunos maior é a semelhança entre eles. Uma vez definido o grafo de similaridade de alunos, é possível encontrar suas componentes conexas², ou seja, definir grupos de alunos similares entre si (1).

Inicia-se, então, a definição das questões mais relevantes para cada grupo de alunos (2). Uma questão é dita relevante para um grupo de alunos se a média de similaridade das respostas dos alunos do grupo para a questão é maior do que um certo limiar. O sistema seleciona, assim, as questões com maior relevância.

Para as questões selecionadas, define-se o conjunto de respostas mais representativas (3). Ou seja, o conjunto que melhor representa todas as respostas dadas pelo grupo de alunos para tal questão. Esse conjunto é composto pelas respostas que possuem as maiores médias de similaridade entre as demais. Dessa forma, o sistema é capaz de definir, para um grupo de alunos, registros de respostas e questões possivelmente relevantes. Cabe ao professor analisar a relevância e realizar a mediação de tais registros. A Figura 2 exhibe graficamente o processo descrito.

Além da recomendação automática, outro modo de operação é fornecido ao professor. Neste modo operativo, é possível que o educador possa agir pedagogicamente por meio da recomendação manual. Respostas e exercícios adicionais podem ser enviados a um aluno, ou a um grupo de alunos, juntamente com comentários dados pelo professor.

² Para a definição de grupos de alunos similares é possível determinar um limiar mínimo de similaridade para que uma aresta seja incluída na componente conexa (ver Seção 4.3.3.1).

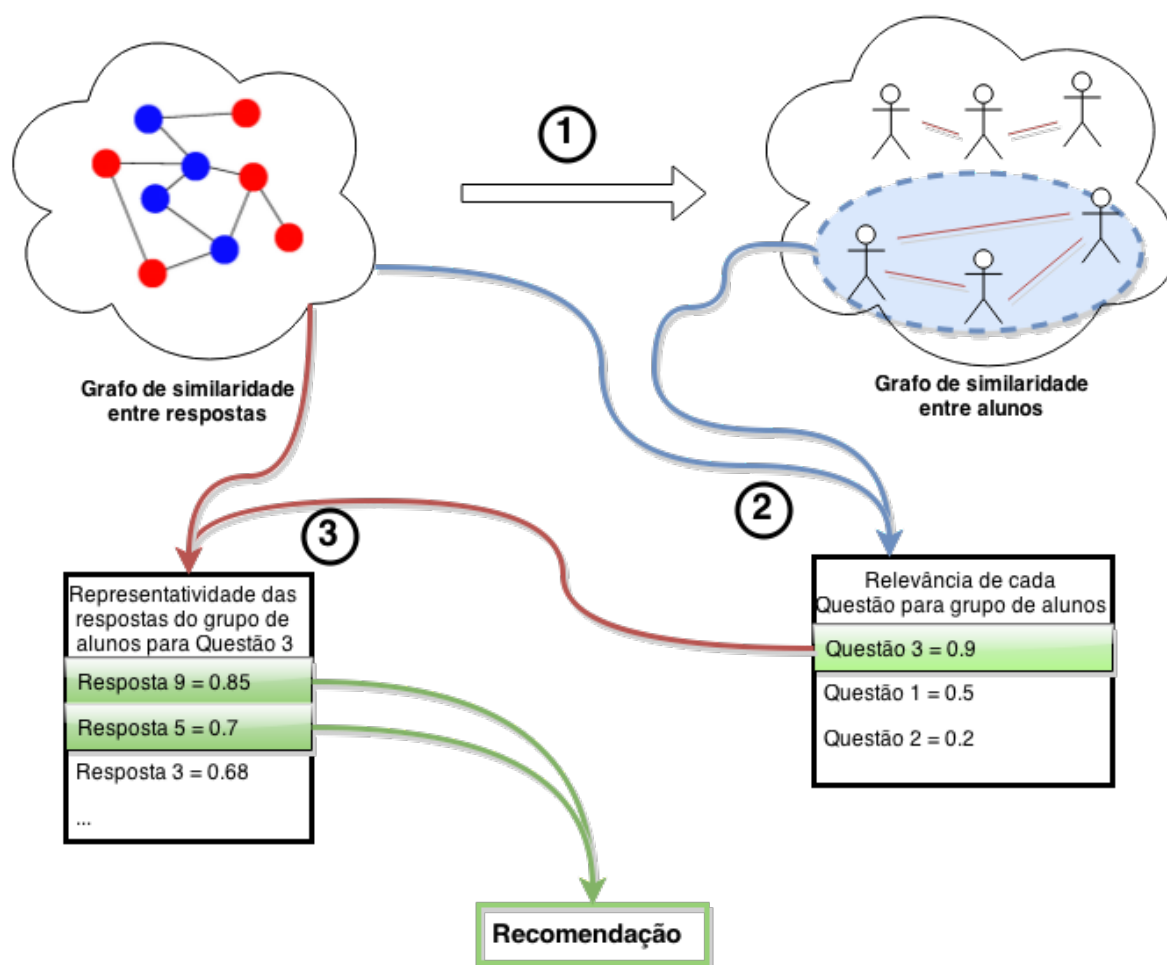


Figura 2 – Representação gráfica do processo de geração de recomendações de respostas.

O processo de recomendação automática de respostas exposto acima é formalmente descrito nas Seções seguintes.

4.3.3.1 Derivação do grafo de similaridade de alunos

Assume-se um grafo não direcionado de respostas A onde cada vértice $a_i \in V(A)$ representa uma resposta. Uma aresta $(a_i, a_j) \in E(A)$ se e somente se as repostas a_i e a_j forem consideradas semelhantes³. O peso de cara aresta $(a_i, a_j) \in E(A)$ indica o grau de similaridade entre as respostas a_i e a_j , o qual é dado por uma função de similaridade⁴ $sim_A(a_i, a_j)$. Considera-se, também, um conjunto de alunos $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_L\}$ e um conjunto de questões $Q = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_M\}$. Cada respostas a_i pertence a um aluno s_j e a uma questão q_k . O conjunto de todas as respostas dados pelo aluno s_i para a questão q_j é definido como $SQA_{s_i, q_j} \subset V(A)$.

³ A relação de similaridade entre resposta é considerada simétrica. Isto é, se a_i é semelhante à a_j , então a_j é semelhante à a_i na mesma proporção.

⁴ A implementação da função de similaridade depende do campo educacional (matemática, física, língua portuguesa, etc.) e do formato das questões

Através do grafo A , é possível derivar um grafo não-dirigido S , o qual representa a similaridade entre o conjunto de alunos. Uma aresta $(s_i, s_j) \in E(S)$ se e somente se s_i e s_j são similares. É importante notar que a similaridade entre dois alunos somente é considerada se esta for maior do que um dado limiar, nomeado Θ . A similaridade sim_S entre dois alunos s_i e s_j é dada por:

$$sim_S(s_i, s_j) = \sum_{q_k \in Q} \frac{rank_Q(s_i, s_j, q_k)}{M} \quad (4.1)$$

Onde M é o número de questões às quais os alunos s_i e s_j têm acesso e $rank_Q(s_i, s_j, q_k)$ representa a média da similaridade de todas as respostas dadas pelos alunos s_i e s_j para a questão q_k . Ou seja, dado o subgrafo induzido $X = A[SQA_{s_i, q_k} + SQA_{s_j, q_k}]$, que representa o grafo de todas as respostas dadas pelos alunos s_i e s_j para a questão q_k , temos:

$$rank_Q(s_i, s_j, q_k) = \sum_{(a_m, a_n) \in E(X)} \frac{sim(a_m, a_n)}{|E(X)|} \quad (4.2)$$

Em suma, o peso de uma aresta $(s_i, s_j) \in E(S)$ representa a média de similaridade entre as respostas dadas por s_i e s_j para todas as questões por eles respondidas. Assim, quanto mais similares forem as respostas de s_i e s_j mais similares serão os alunos.

4.3.3.2 Definição das questões potencialmente relevantes

Uma vez que o grafo S está formado, pode-se dizer que cada componente conexa de S representa um grupo de alunos similares entre si. Para cada um desses grupos, com base nas suas respostas, é possível indicar quais questões são potencialmente relevantes para seus alunos. Dessa forma, define-se a questão mais relevante para um grupo de alunos $S_i \subset V(S)$ como:

$$relevant_question(S_i) = \max_{q_j \in Q} (rel(q_j, S_i)) \quad (4.3)$$

Onde $rel(q_j, S_i)$ representa a relevância da questão q_j para o grupo de alunos S_i , a qual é dada por:

$$rel(q_j, S_i) = \sum_{(s_m, s_n) \in E(S[S_i])} \frac{rank_Q(s_m, s_n, q_j)}{|E(S[S_i])|} \quad (4.4)$$

Na Equação 4.4, $E(S[S_i])$ representa o conjunto de arestas do subgrafo induzido $S[S_i]$, isto é, as arestas da componente conexa formada por S_i .

Neste ponto, o sistema já é capaz de recomendar questões possivelmente relevantes para um conjunto de alunos, com base apenas na análise de semelhança de suas respos-

tas. Entretanto, é possível recomendar quais são as respostas que melhor representam as tentativas desse grupo de alunos para a questão considerada relevante.

4.3.3.3 Definição das respostas mais representativas

Considerando o conjunto de respostas dadas pelos alunos S_i para a questão q_j como $SS = \sum_{s_m \in S_i} SQA_{s_m, q_j}$, e dado o subgrafo induzido $Y = A[SS]$, o qual representa o grafo de todas as respostas dadas pelos alunos S_i para a questão q_j , a resposta que melhor representa as respostas dadas por um grupo de alunos S_i para uma questão q_j é dada por:

$$rep_answer(q_j, S_i) = \max_{a_k \in V(Y)} (rep(a_k, q_j, S_i)) \quad (4.5)$$

Onde $rep(a_k, q_j, S_i)$ representa o grau de representatividade de a_k para as respostas dadas pelos alunos S_i para a questão q_j , a qual é dada por:

$$rep(a_k, q_j, S_i) = \sum_{a_n \in (V(Y) - \{a_k\})} \frac{sim(a_k, a_n)}{|V(Y) - \{a_k\}|} \quad (4.6)$$

Dessa forma, o sistema é capaz de recomendar as respostas mais representativas de um grupo de alunos para uma questão potencialmente relevante.

Os autores do presente estudo não encontraram nenhum sistema de recomendação existente capaz de gerar recomendações de respostas destinadas à mediação de erro para professores e estudantes. Algumas poucas pesquisas de sistemas recomendadores fornecem apoio ao professor na análise de erros dos alunos. Porém, esses trabalhos costumam ignorar qualquer estudo das relações entre os diferentes registros de erro. Em outras palavras, até a presente data, tem sido possível verificar apenas um tratamento de individualista com relação ao erro, o qual não leva em conta estudo de semelhanças entre os erros de diferentes alunos.

4.3.4 Manipulação

O componente de manipulação visa o provimento de formas de interação com os registros armazenados. Em trabalho conjunto com os dois primeiros componentes, armazenamento e recuperação, este terceiro componente permite que professores tenham acesso à ferramentas de manipulação das respostas de seus alunos.

A manipulação dos registros provida pelo arcabouço se caracteriza por duas funções: (1) categorizar respostas; e (2) inserir e remover relações entre registros. Através dessas ações, o professor é capaz de aplicar seu conhecimento sobre o conjunto de da-

dos armazenados e, dialeticamente, se apropriar dos atributos desses mesmos dados (a exemplo da dinâmica entre objetivação e apropriação apresentada na Seção 2.2.1).

A ação de **categorização de repostas** se resume à atribuição de uma ou mais palavras-chaves, ou *tags*, a um registro. Uma tag possui valor semântico apenas para o professor, enquanto que para a ferramenta seu uso é apenas de identificação. Assim, por exemplo, pode-se atribuir as tags “erro de soma” e “vai-um” para identificar uma resposta errada que, apresenta um erro de soma e alguma inconsistência no procedimento de “vai-um” durante a execução da operação de soma.

A **inserção e a remoção de relações entre repostas** são ações que permitem ao professor adicionar e remover relações de semelhança entre registros de repostas. Dessa forma, por um lado, é possível adicionar relações que não foram inferidas automaticamente pela máquina de semelhança. E, por outro lado, pode-se remover relações potencialmente incorretas definidas anteriormente pela máquina de semelhança ou pelo próprio professor. Em suma, é possível interagir com os dados armazenados e com os resultados obtidos a partir da máquina de similaridade.

Através das ações de manipulação executadas pelo professor, a ferramenta agrega subsídios, ou, de certa forma, conhecimento, para realizar generalizações sobre o conjunto de dados armazenados. Tais generalizações referem-se à atribuições de tags de maneira automática para repostas semelhantes às identificadas pelo professor. Assim, o processo de classificação pode ser acelerado e facilitado. Dessa forma, supondo que o professor defina uma resposta com a tag *A*, a ferramenta verifica todas as repostas que possuem relacionamento com a resposta categorizada, e informa com qual grau de certeza identificaria tais repostas com a mesma tag *A*. Fornece-se, assim, uma automatização do processo de classificação. Porém, é importante ressaltar que esse processo se dá sempre a partir de uma ação guiada inicialmente pelo professor.

Para cada generalização feita pelo sistema, o professor pode, se desejar, confirmá-la ou negá-la. Nesse sentido, a cada nova informação dada pelo professor, a ferramenta irá se adaptar. Dessa maneira, quanto maior for a participação do professor no sistema, pode-se dizer que mais “treinada” será a generalização executada pela ferramenta.

A manipulação das repostas é fundamental para as demais funcionalidades do sistema, pois cria a base de conhecimento para generalizações automáticas cada vez mais significativas. Daí a importância do papel do professor, o qual, num processo dialético, transforma as repostas, e a organização das mesmas, através do instrumento proposto. E as generalizações realizadas pela ferramenta, por sua vez, promovem a transformação da concepção do professor acerca das repostas armazenadas. Assim, neste movimento entre a ação do professor e a resposta dada pelo sistema, a análise e a mediação do erro tornam-se facilitadas.

O processo de generalização descrito acima é definido, nesta tese, como o processo de *propagação de tags* sobre o grafo de similaridade. Ao executar qualquer uma das operações de manipulação, o sistema propaga as alterações através do grafo de similaridade, para que asserções sobre as respostas sejam atualizadas. Para um maior esclarecimento de como ocorre esse processo, é apresentado a seguir um possível algoritmo para a propagação de tags.

4.3.4.1 Algoritmo para Propagação de Tags

Considera-se, novamente, um grafo de similaridade G , não dirigido, que representa as respostas (vértices) V e suas relações de similaridade (arestas) E . Cada relação possui um peso, o qual indica o grau de similaridade entre as respostas. Considera-se, também, $P(v_i, t)$ como a probabilidade da tag t ser atribuída ao vértice v_i . Caso o professor tenha atribuído, ou confirmado, a tag t ao vértice v_i , dizemos que $P(v_i, t) = 1$. Ou seja, esta tag foi atribuída a esta resposta com probabilidade igual a 1, pois esta foi explicitamente definida pelo professor. Similarmente, caso o professor tenha rejeitado a atribuição de t à v_i , dizemos que $P(v_i, t) = 0$. Baseado em tais asserções, logo após a realização de uma operação de manipulação dos registros de respostas, qualquer que esta seja, inicia-se o processo de propagação de tags pelo grafo.

Em primeiro lugar, adicionam-se os vértices modificados pela operação de manipulação em uma fila de espera. Retira-se, então, o primeiro vértice v_i da fila e marca-se este como visitado. Para cada um de seus vizinhos ainda não visitados, atribuem-se as tags de v_i .

A atribuição de tags de um vértice a a outro vértice b é a cópia das tags de a para b , com a alteração dos valores de $P(b, t)$, para cada tag t de a . Tal correção ocorre da seguinte maneira:

$$P(b, t) = W(a, b) * P(a, t) \quad (4.7)$$

onde $W(a, b)$ é o peso da aresta entre os vértices a e b (valor entre 0 e 1). Caso haja alguma alteração nas tags de b , este é adicionado à fila de espera. O processo continua até que a fila esteja vazia.

Um detalhe merece atenção no processo de atribuição de tags entre dois vértices: um vértice pode receber uma mesma tag a partir de mais de um vizinho. Neste caso, considera-se apenas a tag recebida pelo vizinho ligado pela aresta de maior peso, ou seja, pelo vizinho de maior semelhança.

A Figura 3 demonstra um exemplo de execução do algoritmo descrito. No exemplo da figura, composto de 8 passos, a tag A é adicionada ao vértice 1. A cada passo, uma iteração do algoritmo é representada e, no topo, é exibido o estado da fila de espera. O

vértice marcado com a cor verde indica o nó que está sendo processado e seus vizinhos são indicados através da cor vermelha. Ao final do processo, todos os vértices da componente conexa que contém o vértice 1 recebem a tag *A* de acordo com a probabilidade calculada pelo algoritmo.

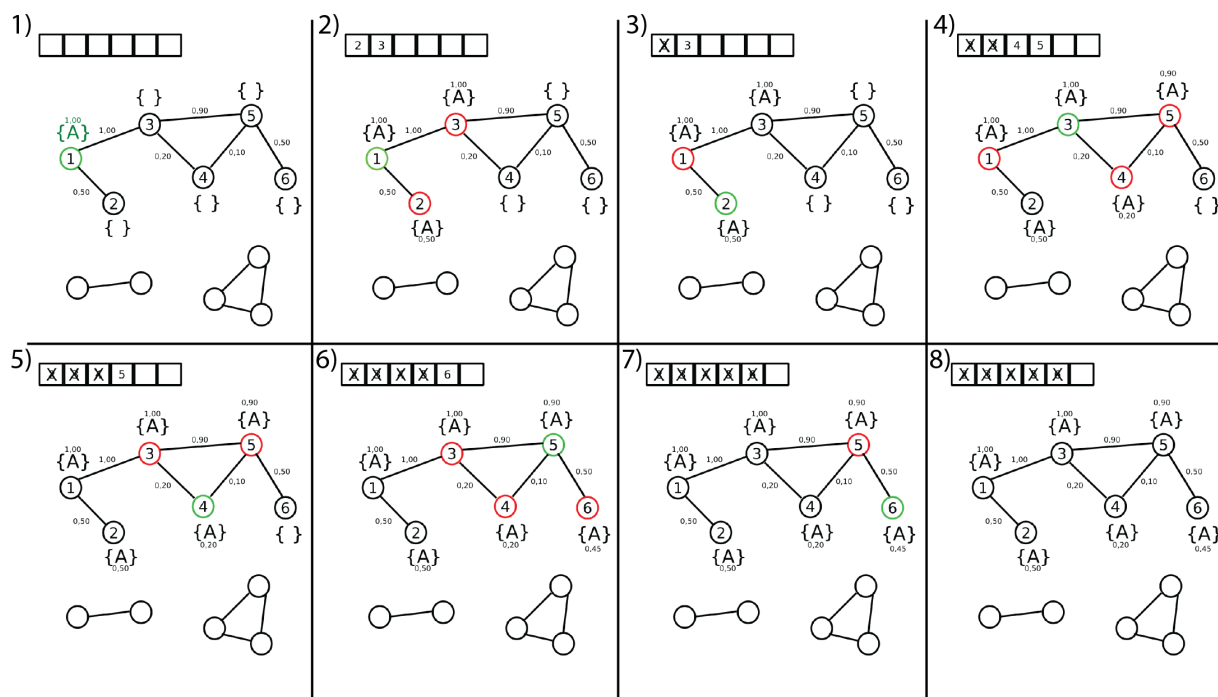


Figura 3 – Exemplo de execução do algoritmo para propagação de tags.

4.3.5 Visualização Semântica dos Dados

O componente de visualização semântica é responsável pela representação e exibição dos dados. Ou seja, sua função é interpretar os dados gerados pelos demais componentes e exibir os resultados aos usuários por meio de representações gráficas relevantes.

A visualização dos dados pertinentes à mediação do erro é um ponto crucial no arcabouço. Não é suficiente que professores e alunos tenham apenas acesso aos dados através dos mecanismos de recuperação já mencionados. É preciso que tenham instrumentos para que a visualização desses dados possa levar à produção de conhecimento sobre estes. Daí o atributo “semântica” dado ao nome do componente em questão. Desse modo, a visualização deve permitir a concepção das respostas armazenadas em um novo nível qualitativo através da exibição das características não imediatas das informações armazenadas, como relações entre respostas e organização temporal.

Nesse sentido, professores e alunos devem ter acesso a três tipos de visualização das respostas armazenadas: visualização dos atributos de registros de respostas, visualização do grafo de similaridade e visualização temporal. O primeiro, **visualização dos atributos de registros de respostas**, define que os usuários devem ter acesso a uma

visualização simples, porém completa, dos atributos de cada registro de resposta armazenado. Ou seja, dados armazenados referentes a um registro, como a própria resposta, enunciado, registros similares, classificação, etc. precisam ter uma visualização intuitiva. Este é o tipo de visualização padrão a ser disponibilizado pelo sistema que implementar o arcabouço. É esse modo de representação de dados que deve ser utilizado para representar os dados retornados pelas operações de recuperação.

O segundo tipo, restrito aos professores, é a **visualização gráfica do grafo de similaridade**. Por meio desse modo, é possível visualizar e interagir com o grafo de similaridade. É também através desse tipo de visualização que se efetiva uma das formas de realização das operações de manipulação já descritas. Dessa forma, o professor pode realizar operações de manipulação sobre os registros apoiado por uma visualização gráfica do conjunto de dados. Além disso, é possível analisar as propriedades do grafo de similaridade, como componentes conexas, conjuntos isolados de vértices entre outras. Nesse sentido, o educador tem uma representação clara e inteligível dos dados armazenados e de suas relações, favorecendo sua abstração e assimilação.

O último tipo de visualização previsto pelo arcabouço é a **visualização temporal**. Esta possibilita, a professores e alunos, o acesso às respostas a partir de uma representação sobre uma “linha do tempo”. Ou seja, um tipo de visualização que respeita a ordem cronológica de ocorrência dos registros de respostas e as exibe a partir dessa condição. Com esse modo de representação, disponibilizam-se mais fundamentos para uma análise contextualizada do processo de formação de conceitos do aluno. Exemplos da visualização gráfica do grafo de similaridade e da visualização temporal são apresentados nas Figuras 4 e 5. Ambas imagens foram retiradas de uma implementação do arcabouço proposto, a qual será descrita em detalhes no próximo Capítulo.

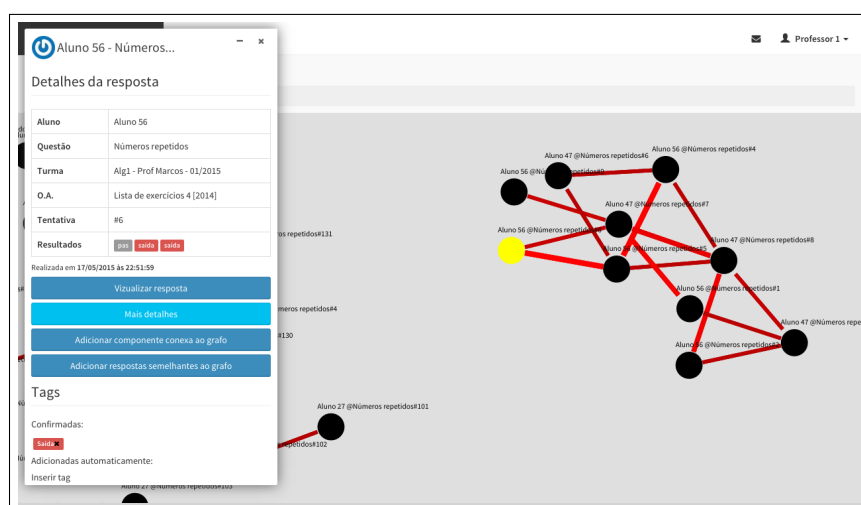


Figura 4 – Protótipo para visualização do grafo de similaridade.

A Figura 4 expõe um primeiro esboço para a exibição e manipulação do grafo de similaridades. Neste, os vértices, ou registros de respostas, são representados por círculos,

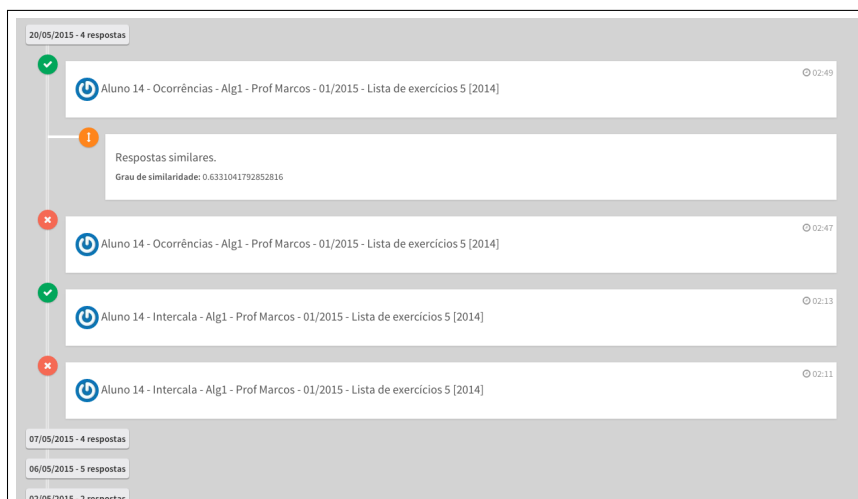


Figura 5 – Protótipo para visualização de linha do tempo.

os quais são ligados por arestas aos registros de respostas similares. Quanto maior a similaridade entre os registros, mais espessa é a aresta. Ao clicar em algum dos vértices, informações sobre o registros são exibidas no quadro à esquerda. Uma espécie de resumo do primeiro modo de visualização. Os círculos são agrupados em diferentes cores, de acordo com o tipo de erro presente na resposta.

A Figura 5, por sua vez, demonstra um esboço da visualização temporal das respostas de um aluno através da linha do tempo. Na parte inferior da figura localizam-se as respostas do aluno organizadas de forma cronológica. Permitindo, assim, que o professor “navegue” pelas respostas do aluno, visualizando a ordem de suas tentativas. Ao selecionar uma delas, seus detalhes são exibidos.

4.3.6 Cenários de Uso

A seguir são apresentados alguns possíveis cenários de uso para um suposto sistema construído com bases no arcabouço proposto. O objetivo aqui é clarificar o processo de uso do sistema, tanto por parte do aluno quanto do professor. Entretanto, vale ressaltar que nem todas as possibilidades de uso fornecidas pelo protótipo estão cobertas por tais cenários. Apenas um pequeno conjunto de funcionalidades foram descritas. Os cenários a seguir referem-se ao uso do sistema para o ensino de programação de computadores.

4.3.6.1 Uso básico do Aluno

O aluno acessa o sistema. Na tela inicial, recebe recomendações de erros com comentários do professor, e novos exercícios propostos. Ao analisar um erro recomendado, o aluno seleciona a opção de realizar uma nova tentativa.

Ao submeter essa nova resposta, ainda incorreta, o aluno recebe do sistema informações sobre o resultado de sua tentativa. Dentre as informações estão: (1) um comentário

(previamente armazenado pelo professor) para cada caso de teste em que a resposta não obteve sucesso; (2) caso o professor permita, são exibidas, também, as entradas utilizadas em cada caso de teste e (3) as últimas tentativas enviadas pelo aluno, com a descrição das falhas de cada uma. Se desejar, o aluno tem acesso a todas suas tentativas anteriores, através da visualização de linha do tempo.

Analisando os comentários do professor, o aluno faz uma nova tentativa, agora correta. O sistema retorna a informação de que a resposta está correta, e apresenta as sugestões de novos exercícios enviadas pelo professor.

4.3.6.2 Uso básico do Professor

Cenário com grupo de alunos:

O professor acessa o sistema. Na tela inicial, recebe recomendações de erros similares entre si ainda não classificados. Tais erros, como informado pelo sistema, foram comentados por um conjunto de alunos. A recomendação é acompanhada da informação de que todos estes erros falharam em um mesmo caso de teste para o exercício em questão.

Ao acessar mais informações sobre os erros recomendados, o professor é guiado ao grafo de similaridade, pelo qual manipula as respostas, adicionando e retirando relações de similaridades, e, por fim, classificando o erro. O sistema, então, realiza generalizações através das informações adicionadas pelo professor, atualizando sua base de conhecimento. Ao final, é apresentado ao professor o grupo atualizado de alunos com erros desse tipo.

Analisando os dados obtidos, o professor tem acesso a algumas possibilidades para ações pedagógicas. Assim, ele tece comentários sobre os erros para o grupo de alunos e os recomenda exercícios. Tais comentários e recomendações estarão disponíveis para cada aluno presente no grupo ao acessarem o sistema.

Cenário com um único aluno:

O professor acessa o sistema. Na tela inicial, recebe recomendações de erros similares cometidos por um mesmo aluno. A recomendação é acompanhada da informação de que este aluno tem muitos erros classificados com a tag “variável de controle de loop não é atualizada”.

Assim, o professor realiza a análise do histórico de tentativas do aluno através da visualização de linha do tempo, fornecida pelo sistema. A partir disso, algumas ações pedagógicas são definidas pelo professor. Entre elas estão o envio de comentários ao aluno e a recomendação de erros e exercícios para análise do próprio aprendiz.

5 FARMA-ALG: Sistema para a Promoção da Mediação do Erro no Ensino de Programação de Computadores

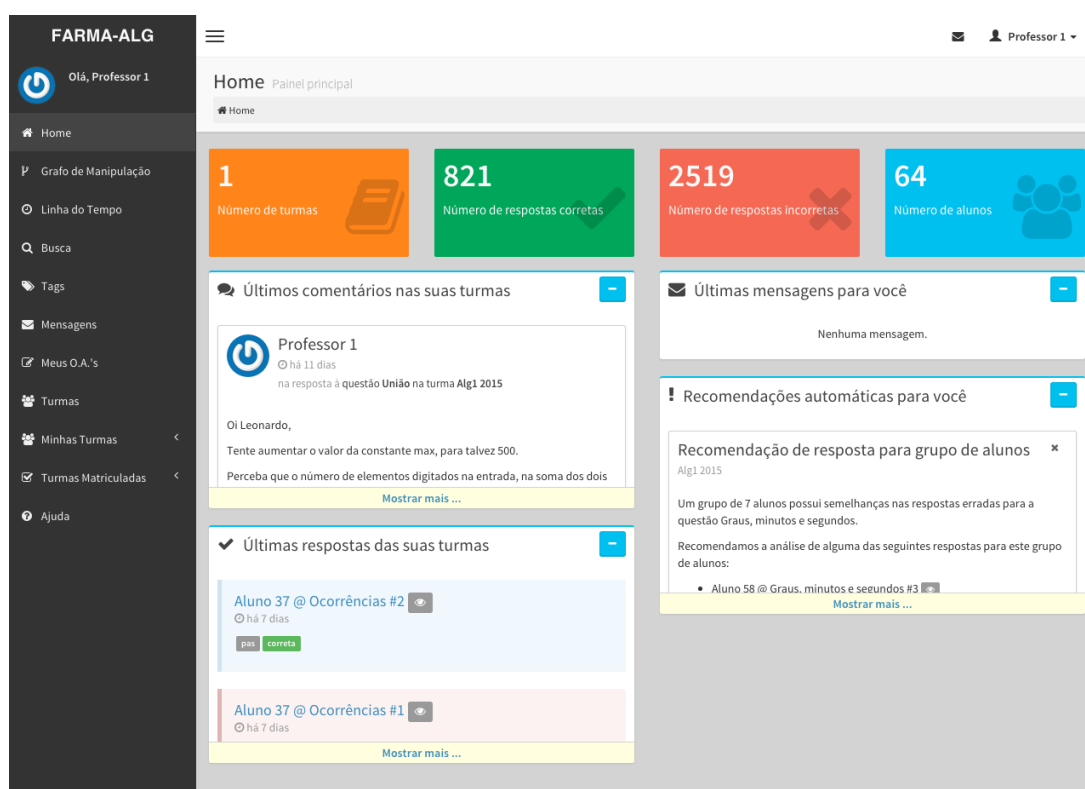


Figura 6 – Tela inicial da ferramenta FARMA-ALG (professor).

O ensino de programação de computadores está em constante discussão no meio acadêmico. Esta disciplina, embora seja uma das bases para nos cursos de computação, é frequentemente indicada pelos alunos como uma das mais difíceis e possui altas taxas de desistência (ROBINS; ROUNTREE; ROUNTREE, 2003).

A Programação de computadores é uma atividade complexa, de alto nível, e que demanda uma carga cognitiva elevada. Este cenário complexo exige muito esforço de professores e alunos durante o trabalho educativo. Portanto, durante a aprendizagem, o aluno enfrenta dificuldades que, potencialmente, geram erros.

Neste sentido, este Capítulo apresenta uma análise, baseada na Psicologia Histórico-Cultural, do papel da mediação do erro no ensino e aprendizagem específicos de programação de computadores. E, como instrumento para promover a mediação do erro, é apresentada a ferramenta FARMA-ALG, a qual é uma implementação para o ensino de programação de

computadores do arcabouço de sistema apresentado no Capítulo 4. O restante deste artigo se organiza da seguinte maneira: a Seção 5.1 descreve as especificidades do ensino e aprendizagem da programação de computadores com base na Psicologia Histórico-Cultural e aponta o papel da mediação do erro neste processo. A Seção 5.2 descreve a implementação do FARMA-ALG e suas funcionalidades.

5.1 Especificidades do Ensino de Programação de Computadores

A Programação de computadores é uma atividade complexa, de alto nível, e que demanda uma carga cognitiva elevada. Tal atividade caracteriza-se pelo processo de “concretização” de um algoritmo (sequência de passos) através de uma linguagem de programação com objetivo final na resolução de uma tarefa ou problema. Um computador é capaz de interpretar esta linguagem e de, então, executar os passos descritos. Entretanto, diferentemente da linguagem escrita ou falada, as linguagens de programação exigem um alto rigor léxico, sintático e semântico.

O processo desempenhado por um indivíduo durante a atividade de programação identifica-se ao *processo funcional de pensamento*, como abordado por Martins (2013, p. 191). Tal processo permite a “construção da imagem do objeto em suas vinculações internas abstratas”, não disponibilizadas pela percepção imediata. Envolve, assim, um processo reflexivo.

Luria, ao sistematizar o processo de pensamento em diferentes etapas, aproxima-se ainda mais do ato mental envolvido na programação. Em uma dessas etapas, a qual tem como objetivo implementar um esquema estratégico definido para a resolução de uma certa tarefa, fica em evidência o “uso de algoritmos (linguísticos, lógicos ou numéricos) desenvolvidos no curso da história social e adotados por adequação ao referido esquema” (MARTINS, 2013, p. 195). Destaca-se, então, neste momento do pensamento, a importância dos conhecimentos, dos *códigos* disponíveis ao sujeito, “que operarão como ‘ferramentas’ para a realização da tarefa”. Como descreve Luria (1981, p. 289, apud Martins (2013)):

“A existência desses códigos internos bem assimilados, que formam a base operante do “ato mental”, forma também, assim, a base para a execução de operações intelectuais requeridas, e, no indivíduo adulto, que dominou o uso desses algoritmos, ela começa a fornecer um alicerce sólido para o estágio operante do pensamento.”

Em consonância, Martins (2013) destaca a importância decisiva da apropriação dos signos culturais para o enriquecimento do ato mental. Quando estes são internalizados de maneira empobrecida, esvaziam suas próprias condições de operação e, por consequência, prejudicam o ato de pensamento.

Para Smirnov e Menshinskaia (1960), o tipo de pensamento capaz de produzir uma atividade de alta abstração e complexidade, como demandado pela atividade de programação, é caracterizado como “pensamento abstrato ou lógico-discursivo”. A forma mais desenvolvida do pensamento, a qual “apoia-se em conceitos e raciocínios abstratos operando, fundamentalmente por mediação.” (MARTINS, 2013, p. 206).

Considerando o pensamento abstrato como base para a atividade de programação de computadores, pode-se destacar que esta se sustenta sobre um sistema de signos e operações próprios. Semelhantes aos da matemática, porém com especificidades únicas. Assim, tal atividade demanda uma estrutura simbólica onde os signos apresentam uma significação diferenciada de outras áreas do conhecimento. Dessa forma, seu aprendizado está condicionado à apropriação desses signos e à internalização do sistema simbólico por eles formados.

Além de seus signos e operações próprias (estruturas de repetição, controle de fluxo, gerenciamento de memória, etc.), a aprendizagem da programação de computadores está ligada, também, ao domínio de uma linguagem de programação. As etapas de resolução de um problema, da execução de uma tarefa, devem ser transcritas para essa linguagem, seguindo seu alto rigor léxico, sintático e semântico.

Em suma, conclui-se assim, que a aprendizagem da atividade de programação compreende dois componentes inter-relacionados: a apropriação de signos, os quais devem exercer o papel de ferramentas psíquicas na obtenção do objetivo da atividade; e a capacidade de transcrever em uma linguagem de programação o produto gerado pela atividade mental.

Através da análise do processo envolvido na atividade de programação, pode-se afirmar que seu objeto é, então, de uma “segunda ordem”. Pois, durante o processo da atividade, não basta encontrar a solução de um problema, mas sim definir passos, um algoritmo, para que todas as *instâncias* deste problema possam ser resolvidas. Caracteriza-se, então, um processo genuíno de generalização. Assim, não é o problema em si (primeira ordem) que se torna objeto da atividade, mas sim o processo de sua resolução (segunda ordem). Isso, por si só, já determina que a atividade de programação tem um caráter determinantemente reflexivo. Esta caracterização se torna ainda mais efetiva quando se adiciona o fato de que o produto dessa atividade não é “materializável em sua plenitude”. Em outras palavras, tem-se por produto da atividade de programação a resolução de uma tarefa através da execução do código escrito em linguagem de programação e não o código em si. Assim, a execução do código por um computador, representa mais um nível de indireção na objetivação da atividade. Em suma, a atividade de programação tem por objeto o processo de resolução de um problema e é objetivada na forma de código. Este, por sua vez, só se torna instrumento para outra atividade (resolução de uma instância de um problema) quando executado por um computador ou máquina semelhante. Dessa

forma, para alcançar seu objetivo final, a atividade de programação passa por várias fases de abstração e de processos reflexivos. Seu aprendizado depende, então, da tomada de consciência de todo esse processo por parte do aluno.

Ao contrário de um texto que, ao ser objetivado (ser escrito), de certa forma já possui um significado para quem o lê, por mais complexo que este seja, um algoritmo, apesar de estar objetivado da mesma forma escrita, em uma linguagem específica, pode não conter um significado tão direto. As estruturas utilizadas na programação de computadores podem gerar programas muito complexos exigindo um altíssimo nível de abstração para a compreensão humana.

Portanto, partindo-se das conclusões apresentadas no Capítulo 3, para amparar a complexidade dessa atividade, o aluno que aprende a programar precisa se apropriar de signos e operações de uma maneira superior. Precisa, assim, formar *conceitos científicos*. Só assim os conceitos se tornarão instrumentos psicológicos, estruturas complexas que reorganizam o pensamento e que agem reflexivamente. Desta forma, em uma relação dialética, possibilitam o desenvolvimento de funções psíquicas superiores as quais, por sua vez, são a base para o pensamento abstrato, necessário para a programação de computadores.

Dada a complexidade descrita, afirma-se nesta tese que não se desenvolve a habilidade de resolução genérica de problemas, e de sua respectiva programação em linguagem computacional, através da aprendizagem empírica, por tentativa e erro, pela análise imediata. Enfim, pelo desenvolvimento de *conceitos espontâneos*. O ensino de programação de computadores deve ser sistematizado sob a premissa de que a formação de conceitos científicos é base para a atividade de programação. Somente os conceitos científicos são capazes de promover o desenvolvimento das funções psíquicas superiores necessárias para o alto nível de planejamento e abstração necessários em tal atividade. Apenas conceitos deste tipo se tornam instrumentos psíquicos efetivos no processo de pensamento demandado por tal atividade.

Como salientado por Sforzi (2004), quanto maior a complexidade de mediação obtida por meio de um instrumento, maior a complexidade da mediação simbólica necessária para sua apropriação. Ou seja, quanto mais complexa for a mediação existente na atividade de programação (que é altíssima) maior será a complexidade de mediação dos signos apropriados pelo sujeito. Dessa forma, sua incorporação exigirá uma reorganização psíquica significativa para embasar uma atividade reflexiva de alto nível.

Qualquer ensino de programação de computadores orientado por abordagens imediatistas, que visam a resolução de problemas por si só, que tentam transpor a atividade de programação a exemplos concretos e esperam que a simples percepção dos alunos provoque a assimilação de seus conceitos está fadada ao fracasso. Os alunos irão apenas aprender a repetir processos, a reproduzir situações, a resolver instâncias de problemas.

Não iram generalizar suas soluções e não apreenderão novos signos, novos instrumentos, necessários para esta tarefa. Em suma, não poderão utilizar a atividade de programação como mediação (como ação) em sua prática social. Ou seja, a atividade de programação não será um *meio* e nem gerará demandas de um novo nível na prática do aluno. Dificultará seu desenvolvimento pleno. Não haverá tomada de consciência.

Desta forma, conclui-se que o ensino de programação de computadores deve ter como objetivo a formação de conceitos científicos. E, baseado nas definições do Capítulo 3, tem-se que conceitos desse tipo são formados em um processo de constante superação de erros e reformulação de generalizações incompletas. Por isso, as Seções seguintes descrevem uma ferramenta computacional para o auxílio do ensino e aprendizagem de programação de computadores, desenvolvida a partir do arcabouço proposto no Capítulo 4.

5.2 FARMA-ALG

A presente seção apresenta a ferramenta FARMA-ALG. Esta tem o objetivo de auxiliar professores e alunos no ensino de programação de computadores. A mediação do erro é tomada como um ponto central no processo de ensino e aprendizagem.

5.2.1 Ferramenta para ensino de conceitos matemáticos: FARMA

A base da implementação do arcabouço proposto no Capítulo 4 para a ferramenta FARMA-ALG, foi realizada sobre a estrutura de uma ferramenta já existente, denominada FARMA (Ferramenta de Autoria para a Remediação de erros com Mobilidade na Aprendizagem) (MARCZAL; DIRENE, 2012). Essa ferramenta permite a construção de exercícios voltados ao aprendizado de conceitos de indução analítica que envolvem expressões aritméticas e/ou algébricas. Suas principais características são a de prover um instrumento simples e objetivo para o desenvolvimento de objetos de aprendizagens altamente interativos e promover uma aprendizagem por erros. Para tanto, além de oferecer um aparato completo para autoria de exercícios, a ferramenta FARMA armazena todas as respostas submetidas por alunos. Assim, os alunos podem, posteriormente, explorar seus próprios erros, além de permitir que os professores tenham acesso integrado ou individual aos aprendizes de uma turma virtual.

A implementação da ferramenta FARMA visa seu uso na *web*, seja por meio de computadores pessoais ou de dispositivos móveis. A linguagem Ruby¹ é utilizada Como plataforma de desenvolvimento, juntamente com o framework Ruby on Rails², seguindo as técnicas de Orientação a Objetos e os principais padrões de projeto utilizados na

¹ <<https://www.ruby-lang.org/>>.

² <<http://rubyonrails.org>>.

web. Para persistência de dados, é utilizado o banco de dados não relacional MongoDB³. Além disso, o código fonte está divulgado como código livre sobre licença GPL (Licença Pública Geral). Essas mesmas características foram mantidas para o desenvolvimento da ferramenta FARMA-ALG.

De maneira sucinta, o funcionamento da ferramenta FARMA é como segue. Em primeiro lugar, professores produzem exercícios de matemática e os disponibilizam aos alunos através de turmas virtuais. Cada exercício criado, ou Objetos de Aprendizagem (OA's), deve possuir a indicação da resposta correta esperada e pode conter, também, dicas informadas pelo professor a serem exibidas aos alunos após um determinado número de tentativas incorretas. Em um segundo momento, os alunos realizam suas matrículas nas turmas virtuais e, então, tem acesso aos exercícios propostos pelo professor. A Figura 7 mostra um esquema que resume o funcionamento da ferramenta.

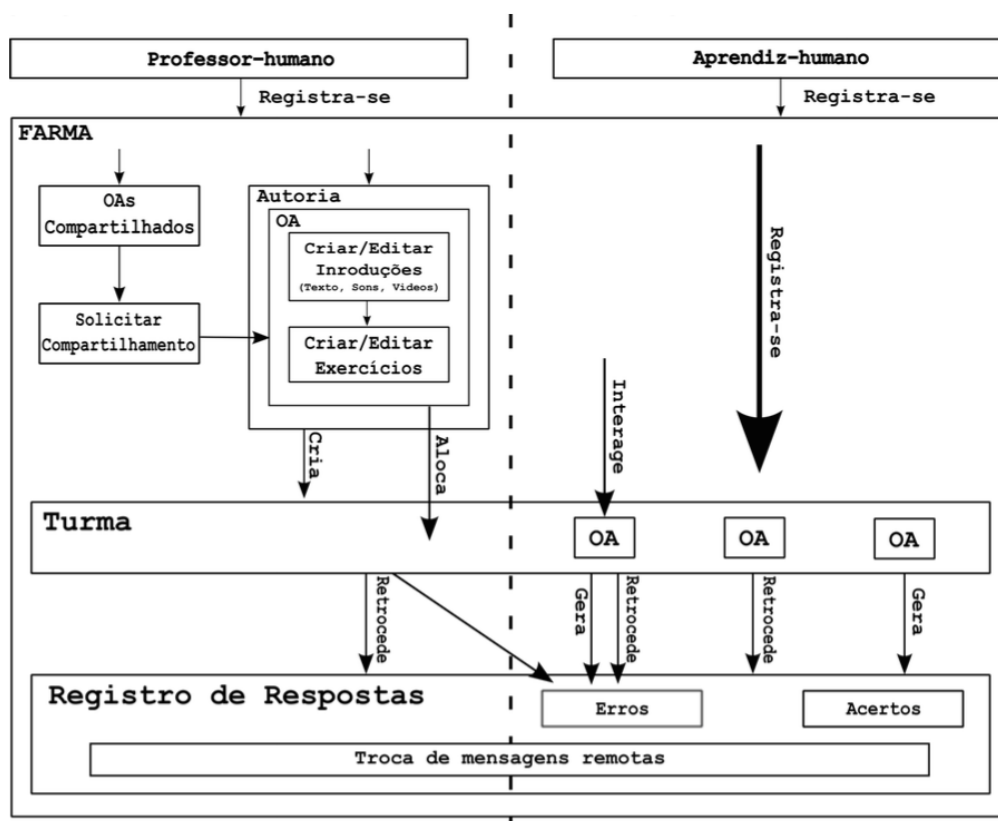


Figura 7 – Esquema de funcionamento da ferramenta FARMA (Fonte: Marczal (2014)).

Ao submeter uma resposta ao sistema, o aluno recebe a informação se sua resposta está correta ou não. Em caso de erro, as dicas elegíveis determinadas pelo professor são exibidas. Nesse processo, a ferramenta armazena a tentativa do aluno juntamente com todo o contexto referente à essa resposta. O contexto de uma resposta refere-se a todos os dados relevantes a essa, como enunciado, respostas anteriores, informações temporais

³ <<https://www.mongodb.org/>>.

etc. Em suma, as informações contidas no contexto armazenado permitem a recriação de todo o estado da apresentado pela ferramenta no momento exato em que o erro ocorreu.

Assim, segundo Marczal (2014), tanto aluno quanto professor podem realizar a ação de *retroação* à uma resposta. Por meio dessa ação, ambos são capazes de analisar o contexto completo de um erro. O aluno pode verificar suas tentativas anteriores e realizar novas submissões. E o professor tem a possibilidade de analisar em que circunstâncias o erro ocorreu, para então intervir pedagogicamente.

Porém, embora a ferramenta FARMA realize o armazenamento e a recuperação de respostas de alunos através da retroação, esta não proporciona análises mais aprofundadas dos registros armazenados. A exemplo de outros trabalhos relacionados pela revisão literária apresentada na Seção 4.1.2, cada erro é tratado de maneira individual. A ferramenta não disponibiliza meios para recuperação, visualização e manipulação das respostas e não leva em consideração as relações existentes entre diferentes registros.

Nesse sentido, pode-se afirmar que as duas razões principais que direcionaram a escolha da ferramenta FARMA como base para a implementação do arcabouço proposto nessa tese são: (1) a ferramenta apresenta um aparato simples para a autoria de Objetos de Aprendizagem aos professores; e (2) realiza o armazenamento automático de respostas e contextos. Dessa forma, através da aplicação do protótipo proposto, estende-se a ferramenta FARMA para realizar as funcionalidades descritas por este. Formando, assim, uma ferramenta robusta para a mediação do erro no ensino de programação de computadores, denominada **FARMA-ALG**.

Entretanto, antes da implementação do arcabouço proposto, alterações no funcionamento da própria ferramenta FARMA são necessárias para que esta comporte exercícios de programação de computadores. A principal adaptação realizada é a criação de um sistema avaliador, capaz de determinar se uma resposta está ou não correta.

Os OA's criados pelos professores com a ferramenta FARMA-ALG são exercícios de programação. As respostas são códigos-fonte nas linguagens C, Pascal ou Ruby. Quais dessas linguagens estarão disponíveis aos alunos são definidas pelo professor no momento de criação do exercício. Através do sistema avaliador, O FARMA-ALG é capaz, então, de compilar, executar e testar as respostas submetidas pelos alunos.

Alguns sistemas avaliadores (ou julgadores, do inglês *judges*, como são conhecidos) de exercícios de programação já existem. Sistemas como o BOAfootnote<<http://www.ime.usp.br/~cassio/boca/>>, realizam uma verificação simples para determinar se a resposta está correta baseada em um comportamento de entrada e saída previamente estabelecido. Existem, ainda, outros sistemas, como PROUST, já exposto na Seção 4.1.2, capazes de diagnosticar e avaliar programas de maneira semântica.

Na implementação do sistema aqui proposto, a avaliação das respostas se aproxima

da utilizada pelo software BOA Nela, o professor fornece padrões de entrada e saída, também chamados de **casos de teste**. Na tentativa de aferir a resposta do aluno, o sistema a testa contra tais padrões. Vários casos de teste podem ser definidos para um mesmo exercício. A resposta do aluno é testada para todos os casos definidos pelo professor, e, para cada um, tem seu resultado armazenado. Se o resultado for considerado incorreto, o aluno recebe como retorno comentários previamente armazenados pelo professor para cada caso de teste em que a resposta falhou. Simultaneamente, a cada tentativa enviada por um aluno, a ferramenta armazena a resposta e todos os seus dados relevantes (número da tentativa, saída de cada caso de teste etc.).

É importante salientar que, durante o uso da ferramenta FARMA-ALG, dois tipos de usuários são considerados: professores e alunos. Cada um possui diferentes permissões para executar ações no sistema. Professores, por um lado, podem criar turmas e exercícios e têm acesso a todas as formas de manipulação, recuperação e visualização de respostas. Alunos, por outro lado, podem apenas se matricular em turmas existentes, responder exercícios disponíveis e recuperar e visualizar suas próprias respostas.

Após a criação do sistema avaliador, tem-se apenas uma adaptação da ferramenta FARMA, capaz de receber e avaliar exercícios para o ensino de programação. Para a criação da ferramenta FARMA-ALG, resta a implementação das funcionalidades previstas pelo arcabouço proposto. A Figura 8 apresenta as alterações realizadas no esquema de funcionamento da ferramenta FARMA para a formação da ferramenta FARMA-ALG. Em resumo, cria-se uma interface entre as ações dos usuários e os registros de resposta armazenados. É por meio dessa interface que as funcionalidades de armazenamento, recuperação, manipulação e visualização são implementadas e disponibilizadas. A seguir são descritos detalhes de implementação de tais funcionalidades.

5.2.2 Visualização rápida de respostas

O acesso facilitado e a visualização de registros de resposta são componentes primordiais do arcabouço proposto nessa tese. Dessa forma, com objetivo de contemplar tais componentes, a ferramenta FARMA-ALG aqui apresentada implementa a funcionalidade básica de visualização rápida de respostas. Este tipo de visualização permite que as informações referentes a um registro de resposta sejam exibidas de maneira imediata, sem a necessidade de troca de contexto na aplicação (mudança de tela, troca de janela etc.).

A visualização rápida de respostas faz parte de todas as funcionalidades da ferramenta. Daí a importância de sua descrição ser apresentada antes das demais. Dessa forma, sempre que há menção a um registro de resposta pela ferramenta, o ícone destacado na Figura 9 é exibido ao usuário. Ao clicar sobre o ícone, um novo quadro contendo informações sobre a resposta em questão é exibido sobre as informações da tela atual. A Figura 10 apresenta parte desse quadro. Além das informações básicas de identificação,

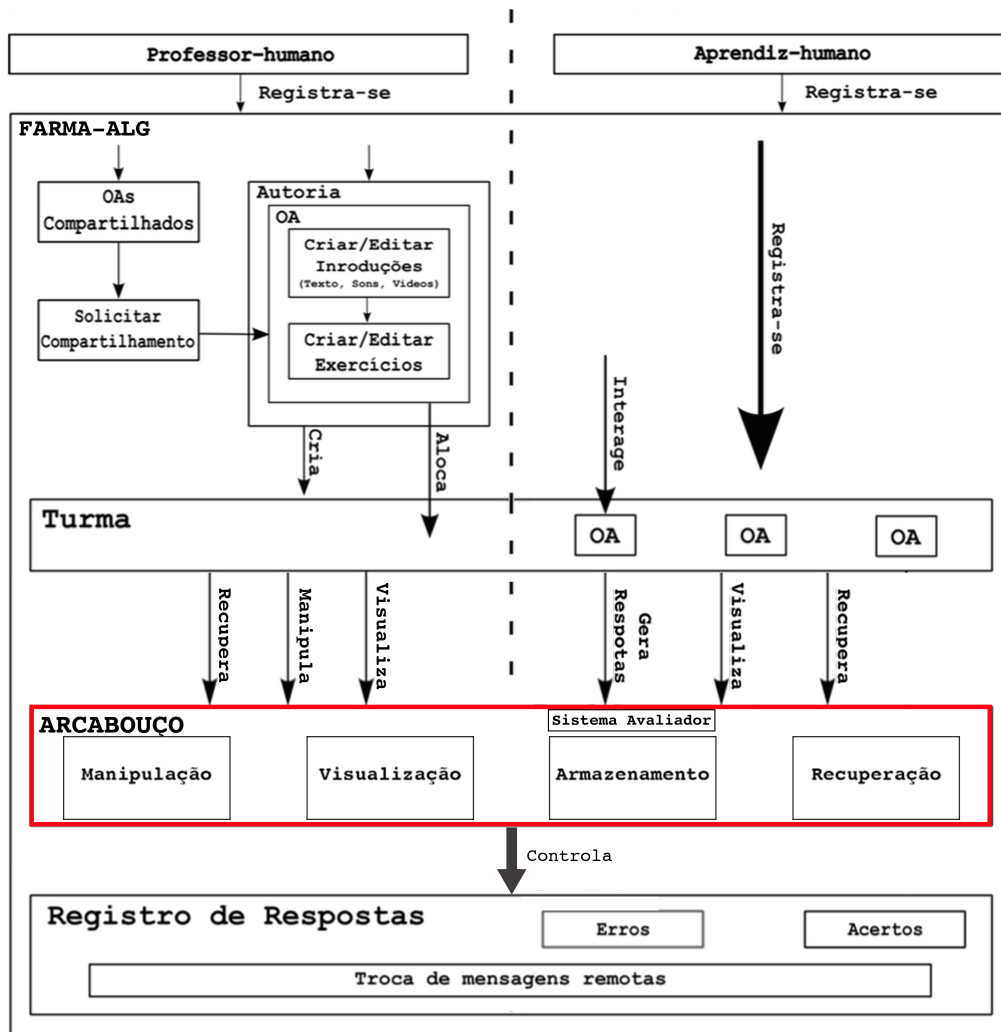


Figura 8 – Esquema de funcionamento da ferramenta FARMA-ALG.

outros detalhes do registro estão acessíveis. São eles:

- Resposta submetida;
- Resultados para cada caso de teste;
- Visualização, inserção e remoção de tags (apenas para professores);
- Botão para mais detalhes sobre a resposta;
- Opções de visualização da resposta no grafo de manipulação (apenas para professores).



Figura 9 – Ícone para visualização rápida de respostas.

5.2.3 Armazenamento

Como já mencionado, o armazenamento automático de respostas realizado pelo FARMA-ALG foi originado do mesmo mecanismo presente na ferramenta FARMA. Neste, o banco de dados não relacional MongoDB⁴ é utilizado.

Além do armazenamento já existente, duas componentes são adicionadas pela implementação do FARMA-ALG: máquina de similaridade e o grafo de similaridade.

5.2.3.1 Máquina de similaridade

A base do funcionamento do arcabouço no qual se baseia o FARMA-ALG é a semelhança entre diferentes respostas. Assim, a ferramenta deve ser capaz de definir o quão semelhantes duas respostas são. A máquina de similaridade é responsável por essa tarefa. O grau de semelhança entre duas respostas é calculado segundo certos parâmetros dependentes do campo de ensino. No contexto específico de exercícios de programação de computadores, exemplos desses parâmetros podem ser:

- grau de semelhança entre a saída obtida para cada conjunto de testes e a saída esperada;
- grau de semelhança entre as saídas obtidas para cada caso de teste;
- grau de semelhança entre o código-fonte das respostas;
- tempo de execução;
- quantidade de memória utilizada;
- possíveis erros de compilação;

⁴ <<https://www.mongodb.org/>>.

Aluno 34 - Ocorrên...

Detalhes da resposta

Aluno	Aluno 34
Questão	Ocorrências
Turma	Alg1 - Prof Marcos - 01/2015
O.A.	Lista de exercícios 5 [2014]
Tentativa	#2
Resultados	pas correta

Realizada em 19/05/2015 às 13:45:31

Vizualizar resposta

Mais detalhes

Visualizar componente conexa no grafo

Visualizar respostas semelhantes no grafo

Tags

Confirmadas:

Correta ✖

Adicionadas automaticamente:

Inserir tag

Resultado dos casos de teste

Caso de teste do enunciado

Figura 10 – Exemplo de quadro de visualização rápida de resposta.

- presença ou não de falhas de segmentação.

Para a implementação do FARMA-ALG, a semelhança entre duas respostas se baseia nos seguintes fatores:

- Ambas respostas incorretas com erro de compilação:
 - grau de semelhança nas informações relatadas pelo compilador;
- Ambas respostas para uma mesma questão, sendo uma ou ambas incorretas:
 - grau de semelhança entre as saídas obtidas para cada caso de teste;
 - grau de semelhança entre o código fonte das respostas;

- Outros casos:

- grau de semelhança entre o código fonte das respostas.

Assim, para o caso de respostas a uma mesma questão, sendo uma ou ambas incorretas, tem-se a seguinte equação de similaridade:

$$sim(a, b) = 0.4 * code_similarity(a, b) + 0.6 * test_case_similarity(a, b) \quad (5.1)$$

onde a similaridade entre duas respostas a e b é a média ponderada entre o grau de semelhança entre os códigos-fonte das respostas ($code_similarity$) e a média de semelhança entre os resultados obtidos pelas respostas para cada caso de teste ($test_case_similarity$).

Considerando que, em geral, casos de teste são pequenos trechos de texto, a semelhança entre os resultados obtidos por duas respostas para um mesmo caso de teste pode ser estabelecida pela análise do texto gerado por cada uma. Por isso, a presente implementação faz uso de comparações aproximadas de strings, como o algoritmo Levenshtein, para a definição de semelhança entre resultados de casos de teste.

No contexto dessa implementação, a semelhança entre o código fonte das respostas é obtida através da aplicação de softwares *open-source*. A ferramenta utilizada durante este estudo é chamada Similarity-Tester⁵. Esta realiza sucessivas comparações léxicas entre códigos-fonte à procura de construções semelhantes. Embora seu algoritmo seja bastante simples e desconsidere, de maneira geral, similaridades semânticas, seu uso apresentou resultados satisfatórios para o funcionamento da ferramenta aqui proposta.

É importante destacar que o cálculo de similaridade entre respostas, especialmente no caso da programação de computadores, é um campo vasto para pesquisas. Entretanto, devido ao tempo disponibilizado para o desenvolvimento da presente pesquisa, não foi possível a análise de alternativas mais robustas para este quesito do arcabouço. Certamente há, aqui, espaço para novos estudos que maximizariam o funcionamento da ferramenta.

5.2.3.2 Grafo de similaridade

O grafo de similaridade, estrutura de dados fundamental para o arcabouço proposto, é formado na medida em que respostas são submetidas por alunos na ferramenta FARMA-ALG. Um processo executado paralelamente à ferramenta é responsável pela criação e manutenção do grafo de similaridade.

Nesse processo, as respostas submetidas são armazenadas em uma fila de espera simples. Uma a uma, são analisadas através de três etapas de comparações. Em primeiro

⁵ <<https://github.com/lambdafu/similarity-tester>>.

lugar, (1) procura-se por semelhanças entre as respostas submetidas por alunos da mesma turma e para a mesma questão da qual pertence a resposta analisada. No momento em que não existem mais repostas para esse primeiro processamento, uma nova etapa de comparação é iniciada. Nesta, (2) a resposta é comparada com respostas submetidas para a mesma questão, entretanto, por alunos de outras turmas. Por fim, (3) a respostas é comparada com respostas para outras questões, à procura de similaridades no código fonte.

Salienta-se, aqui, que existe uma relação de prioridade entre as três etapas de comparação descritas. A segunda etapa só é iniciada quando não existem registros a serem processados pela primeira. O mesmo ocorre para o último tipo de comparação, o qual só é executado quando não existem pendências para as etapas 1 e 2. Isso se deve ao fato de que as similaridades entre repostas de uma mesma questão para uma mesma turma são, de certa forma, mais relevantes para um primeiro momento de análise do professor. Por isso, essas relações de similaridade devem ser as primeiras a estarem disponíveis e atualizadas.

5.2.4 Recuperação

A recuperação de respostas e outros dados relevantes é uma das bases do funcionamento do FARMA-ALG. A seguir são descritos detalhes da implementação das funcionalidades de busca e de recomendação. A primeira, busca de registros, está presente, também, na implementação de outras funcionalidades como linha do tempo, visualização do grafo de similaridade e categorização.

5.2.4.1 Busca

Um sistema de busca de respostas por palavras-chave é disponibilizado ao professor e ao aluno. Dessa forma, é possível recuperar, de maneira facilitada, dados específicos que sejam de interesse de ambos em prol da mediação do erro. A Figura 11 apresenta como esse mecanismo é disponibilizado aos usuários. O componente básico é uma barra de busca bastante comum, composta por: um campo de texto simples, e dois botões, busca e filtrar. Na mesma Figura, é exposto um exemplo de busca executada pela ferramenta. Cada quadro representa uma resposta encontrada através dos dados da consulta.

Além do uso de palavras-chave gerais, retiradas de enunciados, nomes de alunos etc., a ferramenta é capaz de indexar as respostas a partir do código-fonte apresentado pelo aluno. Isso significa que consultas podem ser realizadas por meio de trechos de código. A Figura 12 apresenta um exemplo de busca por respostas que contenham o seguinte trecho de código: “array [min..max]” (construção bastante comum em programas da linguagem Pascal).

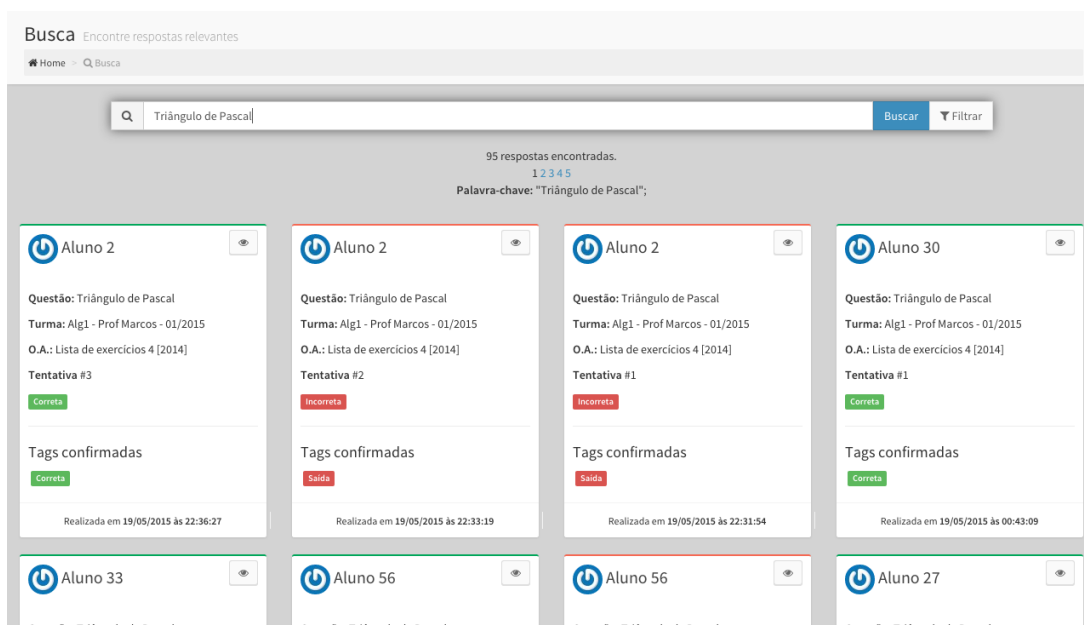


Figura 11 – Exemplo de busca.

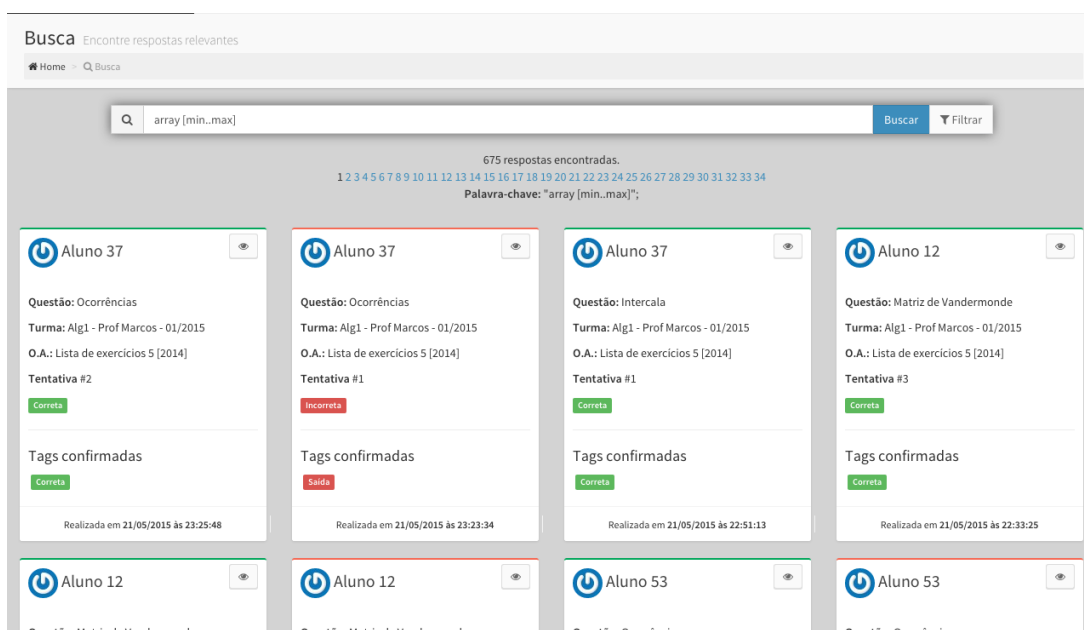


Figura 12 – Busca através de trecho de código fonte.

As respostas retornadas pela busca podem ser filtradas para que apenas registros específicos sejam exibidos. Os seguintes filtros estão disponíveis:

- Intervalo de tempo;
- Usuário;
- Turma;
- Objeto de aprendizagem;

- Questão;
- Categoria (tag).

A Figura 13 mostra como tais filtros são apresentados aos usuários do sistema. No caso apresentado, não há uma busca por palavras-chave, mas sim, apenas uma combinação de filtros. A consulta executada é a seguinte: repostas do Aluno 1 submetidas durante os últimos 30 dias.

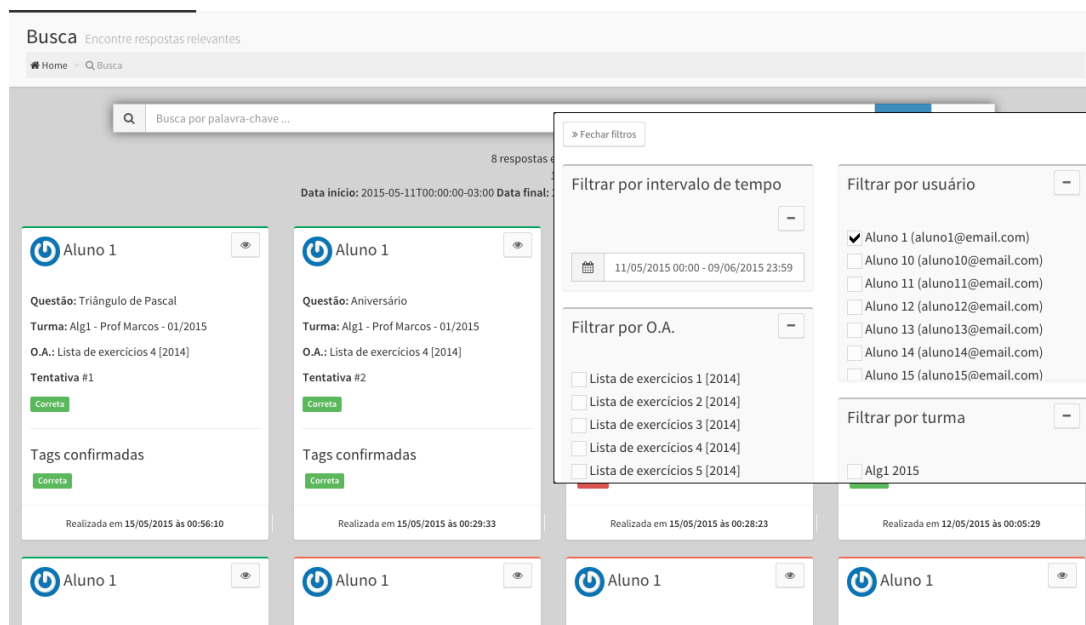


Figura 13 – Filtros disponíveis para busca.

5.2.4.2 Recomendação

Através da análise do grafo de similaridade de respostas proposta pelo algoritmo descrito na Seção 4.3.3, o FARMA-ALG é capaz de encontrar automaticamente registros de resposta e questões que podem ser de alta relevância pedagógica para um grupo específico de alunos. Tais registros são apresentados ao professor na forma de recomendações. Estas sugerem para que o professor realize comentários sobre as respostas e questões informadas. Caso a recomendação seja aceita pelo professor, seus comentários são enviados ao grupo de alunos por meio de mensagens.

O objetivo principal geração de recomendações é proporcionar ao professor a recuperação automática de respostas potencialmente relevantes. Essa se torna uma funcionalidade importante pois, após o uso prolongado da ferramenta, o número total de respostas armazenadas cresce de maneira a impossibilitar que a análise de cada registro individualmente. Dessa forma, mediante as recomendações, tenta-se definir por quais registros a investigação do professor pode ser iniciada.

Por ser um processo que exige alto grau de processamento, a geração de recomendações é executada somente a cada intervalo de tempo⁶. Um processo separado da aplicação é encarregado dessa execução. Na implementação realizada, as recomendações são produzidas 12 vezes por dia, em intervalos de 2 horas. Isso garante que as recomendações apresentadas aos professores sejam relativamente recentes e levem em conta um conjunto também recente de respostas.

A Figura 14 mostra um exemplo de recomendação automática de respostas para um grupo de alunos. A descrição da recomendação detalha a quantidade de alunos que possuem semelhanças nas suas respostas para uma mesma questão. No mesmo momento, as respostas mais representativas para o grupo de alunos são listadas. Por meio do botão presente ao lado de cada resposta, é possível acessar uma visualização rápida do registro.

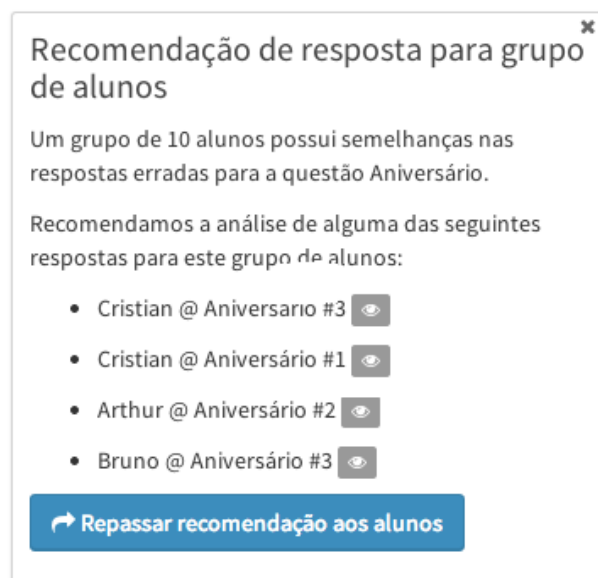


Figura 14 – Exemplo de recomendação exibida para o professor.

Outros tipos de recomendação automática são apresentados pela aplicação, como: questões com número elevado de respostas incorretas, alunos com maior número de tentativas incorretas e alunos sem participação.

Além da recomendação automática, outro modo de operação é fornecido ao professor. Neste modo, é possível que o professor possa agir pedagogicamente por meio da recomendação manual. Respostas e exercícios adicionais podem ser enviados a um aluno, ou a um grupo de alunos, juntamente com comentários do professor.

Como informado, as recomendações, tanto automáticas quanto manuais, são repassadas aos alunos através de mensagens. Esse recurso permite que o professor envie

⁶ Uma implementação alternativa está sendo realizada para minimizar o tempo de geração das recomendações. Nessa nova abordagem, ao invés de produzir o grafo de similaridade entre alunos sempre que o algoritmo é executado, este grafo é gerado apenas uma vez e, então, é armazenado no banco de dados.

comentários para grupos de um ou mais alunos. Seu funcionamento é bastante simples e é similar a um serviço de e-mail. Entretanto, as mensagens enviadas por meio da ferramenta só são acessíveis através desta. A tela de visualização de mensagens recebidas é apresentada na Figura 15.

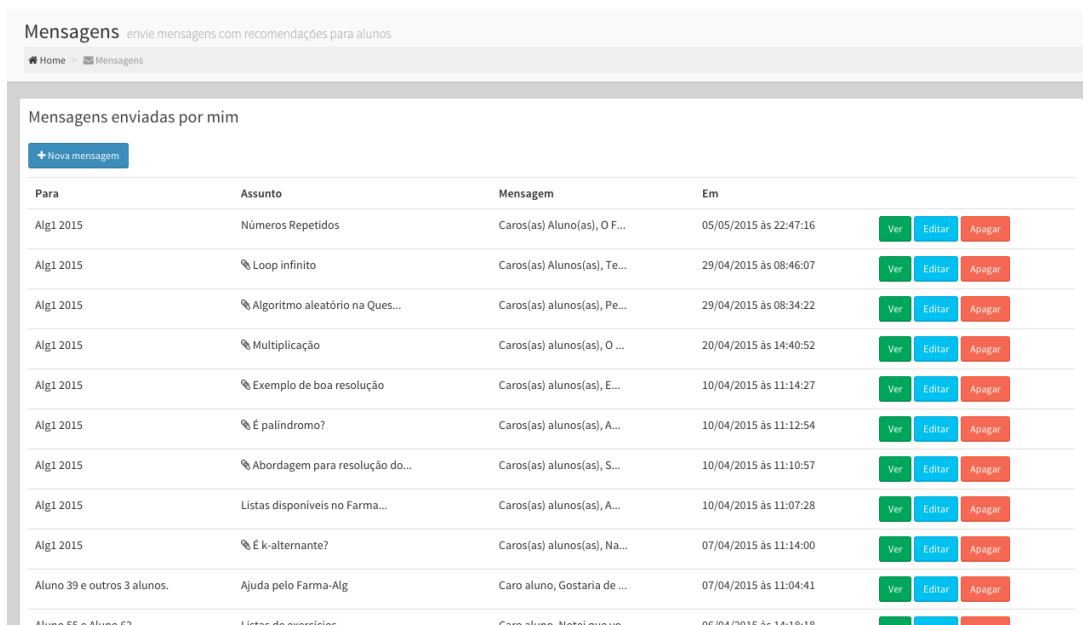


Figura 15 – Visualização da listagem de mensagens recebidas.

Cada mensagem, além do texto com comentários, pode conter anexos de 2 tipos: questões e registros de repostas. O anexo do tipo questão se resume a um link para uma dada questão considerada de interesse pelo professor. O outro tipo, registros de resposta, possibilita que um conjunto de respostas seja definido (através do mecanismo de busca) para que estejam visíveis aos destinatários da mensagem. Um exemplo de mensagem enviada é exibido nas Figuras 16 e 17. A primeira mostra a visualização obtida por um usuário do tipo professor, o qual tem acesso à nomes de alunos e outros dados de cada resposta. A segunda, por sua vez, apresenta a visualização de um usuário do tipo aluno, onde informações pessoais dos registros são omitidos.

Toda mensagem criada no FARMA-ALG pode ser respondida por qualquer um de seus destinatários. Ao ser respondida, cada um dos destinatários é notificado e pode, então, ler a resposta recebida.

5.2.5 Manipulação

A manipulação de respostas delineada pelo arcabouço proposto se refere a duas ações: classificação de resposta e controle das relações de similaridade. A seguir são descritos detalhes de implementação de cada uma dessas funcionalidades na ferramenta FARMA-ALG.

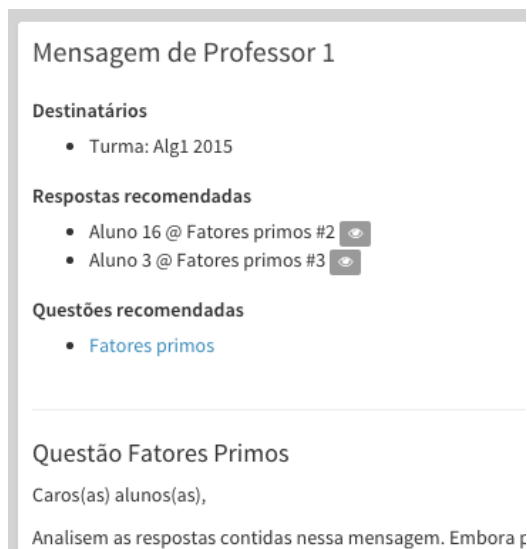


Figura 16 – Visualização de mensagem (professor).



Figura 17 – Visualização de mensagem (aluno).

5.2.5.1 Classificação

A classificação de respostas permitida aos usuários da ferramenta se resume a atribuição de palavras-chave (tags) para registros de repostas. Algumas dessas palavras-chave são adicionadas de forma automática pela ferramenta durante o processo de avaliação das respostas submetidas. São elas:

- Correta;
- Incorreta;
- Tipo de erro:
 - Erro de saída (saída diferente da esperada pelo caso de teste);
 - Erro de apresentação (apresenta mesma saída esperada pelo caso de mas com tabulação diferente);
 - Erro de compilação;
 - Erro de execução (programa teve sua execução terminada de maneira inesperada);
 - Tempo de execução excedido.

Cada uma das tags descritas acima são adicionadas de maneira automática no momento de processamento da respostas pelo sistema avaliador. A classificação manual de respostas é um processo disponível apenas para professores.

Para realizar a classificação de uma resposta, o professor deve acessar algum registro através de um mecanismo de visualização, como o apresentado na Figura 10. Ao

adicionar uma tag inexistente no sistema, uma breve descrição do que esta representa é solicitada ao professor. Nesse mesmo instante, inicia-se o algoritmo de propagação de tags descrito na Seção 4.3.4.1. Dessa forma, respostas similares à classificada pelo professor receberão a mesma tag de maneira automática. Porém, diferentemente das tags atribuídas manualmente, as tags definidas pelo algoritmo de propagação apresentam um grau de certeza de classificação. A Figura 18 mostra o mecanismo de classificação de respostas disponível aos professores. Na Figura, é possível observar que a resposta em questão possui a tag “Saída” confirmada. Isso sinaliza que esta tag foi inserida manualmente pelo professor, ou atribuída pelo sistema avaliador. Mais abaixo, é listada uma tag atribuída de maneira automática por meio do algoritmo de propagação. Essa tag, “Acesso de memória não disponível”, foi atribuída com um grau de certeza de 0.52 pela ferramenta e pode ser confirmada ou rejeitada pelo professor. Ao ser confirmada, seu grau de certeza será atualizado para 1. Se for rejeitada, essa categorização será removida do sistema. Em ambos os casos, o algoritmo de propagação é ativado para que as alterações sejam transmitidas sobre o grafo de similaridade.



Figura 18 – Mecanismo para classificação de resposta.

A ferramenta permite ainda uma forma de controle de todas as classificações já efetuadas por professores. A Figura 19 exibe a tela referente a essa funcionalidade. Uma listagem de todas as tags armazenadas é exibida no topo da tela. Ao selecionar uma delas, os registros classificados por essa tag são exibidos, juntamente com a barra de busca para que os resultados possam ser filtrados.

As respostas classificadas com a tag selecionada são divididas, novamente, entre confirmadas e atribuídas automaticamente. Especificamente, para as atribuídas automaticamente, as opções de aceitação e rejeição da classificação são disponibilizadas. A Figura 20 apresenta um exemplo de listagem de respostas classificadas automaticamente. Para

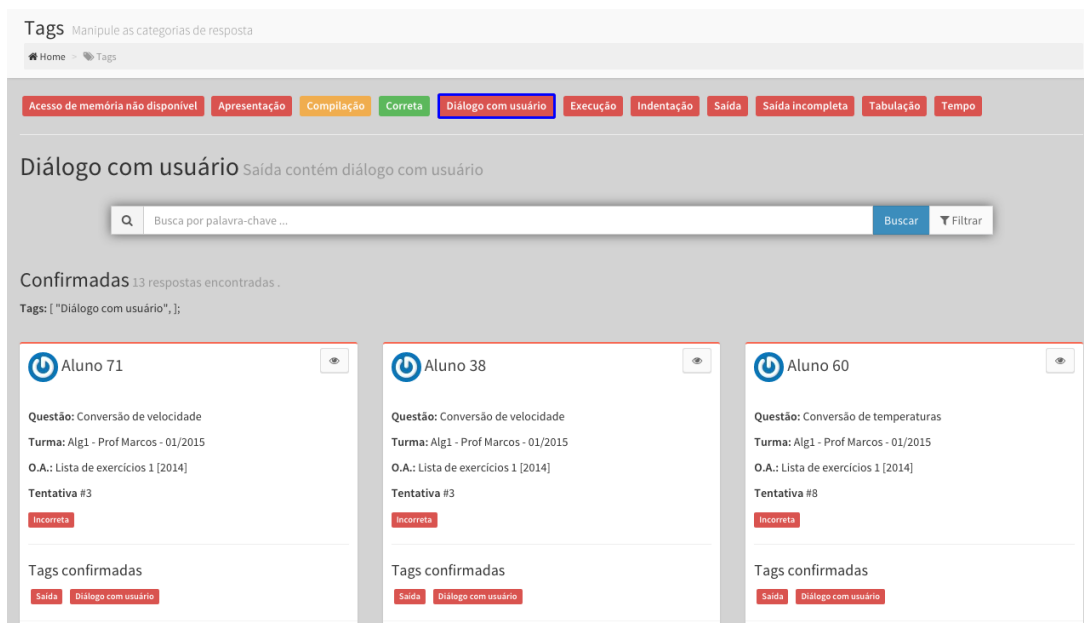


Figura 19 – Tela para manipulação de classificações.

cada registro, 3 opções são permitidas: visualização rápida da resposta, aceitar classificação e rejeitar classificação. Dessa forma, é permitido ao professor uma forma de avaliar e corrigir as classificações automáticas realizadas pela ferramenta.

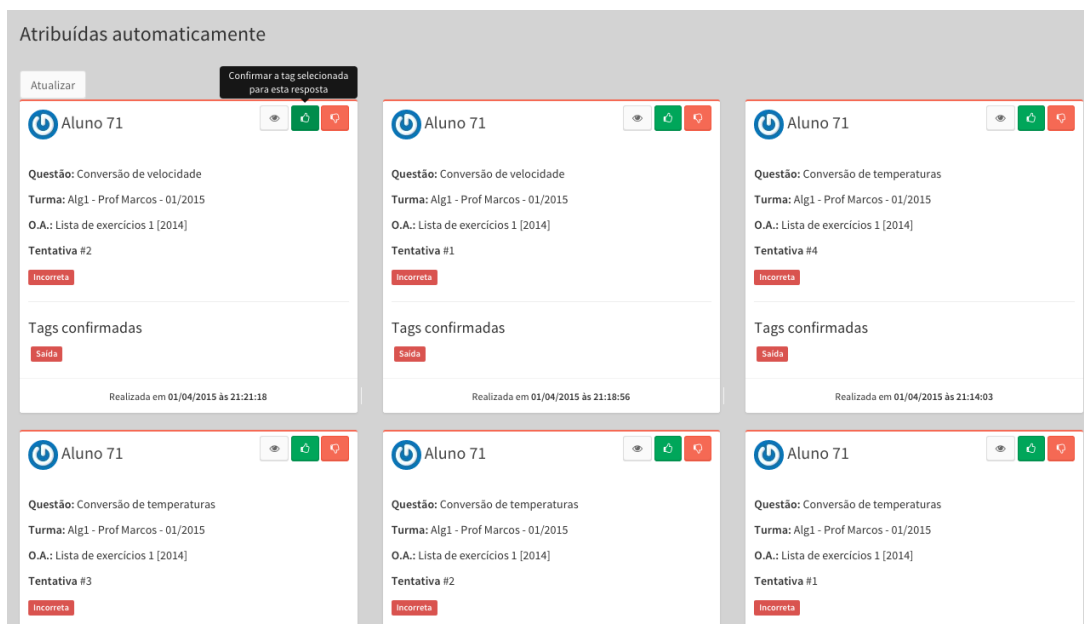


Figura 20 – Tela para manipulação de classificações automáticas.

5.2.5.2 Controle das relações de similaridade

O controle das relações de similaridade entre respostas é composto pelas seguintes operações: adição, remoção, aceitação e rejeição de relações. Estas estão disponíveis

aos professores através de dois modos de visualização: visualização rápida de relação de similaridade e grafo de manipulação.

Igualmente aos registros de resposta, as relações de similaridade também podem ser visualizadas de maneira rápida. A Figura 21 apresenta o quadro respectivo a esse tipo de visualização.

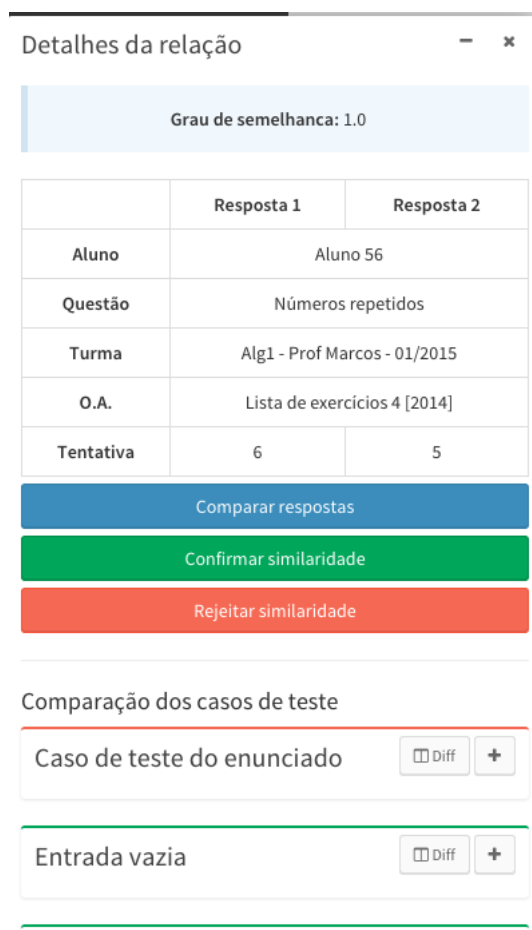


Figura 21 – Visualização rápida de aresta.

Como exposto pela Figura 21, são exibidos os detalhes da relação de similaridade, como grau de semelhança, identificação das respostas, comparação das respostas e comparação dos resultados obtidos por cada caso de teste. Ao selecionar a opção de comparação de resposta, os códigos-fonte de ambas as respostas são exibidos lado à lado, com suas diferenças salientadas. A Figura 22 mostra um exemplo de comparação de respostas. Uma comparação semelhante é exibida para a comparação entre os resultados obtidos por cada resposta para um caso de teste (Figura 23).

Mais duas opções são disponibilizadas ao professor por meio da visualização rápida de relações de similaridade: confirmação e rejeição de relação. Ao confirmar uma relação de similaridade, a exemplo da confirmação de uma classificação, o grau de semelhança entre duas respostas será atualizado para 1. A rejeição, por sua vez, irá remover a aresta do

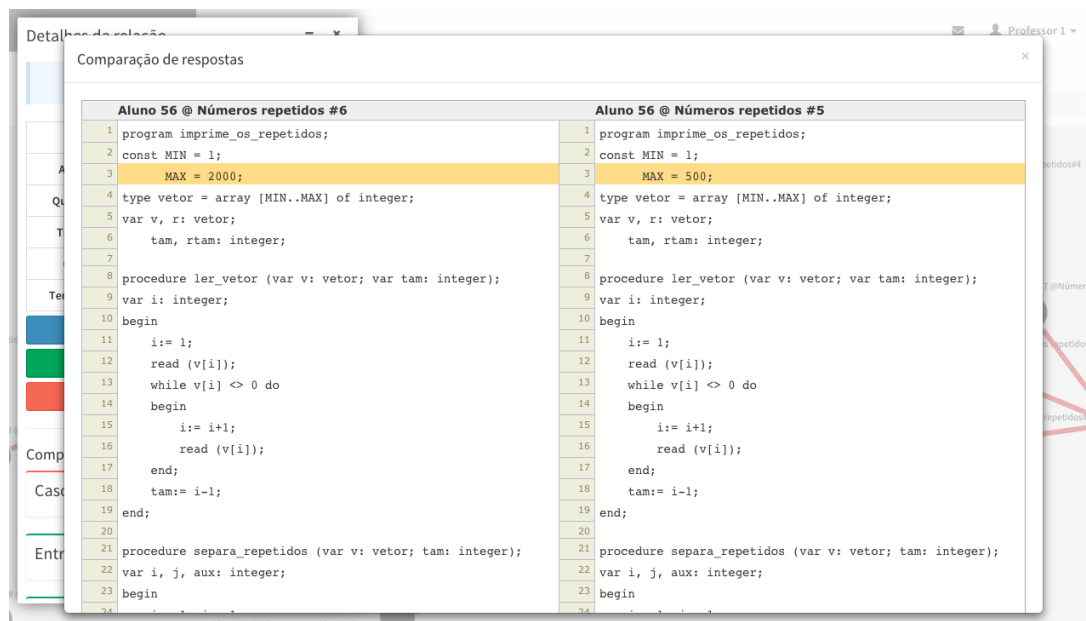


Figura 22 – Comparação de respostas.

Comparação de saídas

Saída A	Saída B
1 Os repetidos sao: 3 5 8 7	1 Os repetidos sao: 3 5 8 7
Saída esperada <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin: 5px 0;">Os repetidos sao: 5 8 7 3</div>	
Entrada utilizada <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin: 5px 0;">3 4 5 5 6 7 8 8 9 10 5 5 5 7 7 3 0</div>	

Figura 23 – Comparação de resultados obtidos para caso de teste.

grafo de similaridade. Em ambos os casos, o algoritmo de propagação de tags é novamente executado.

A manipulação visual e a adição das relações de similaridade é realizada através do grafo de manipulação. A próxima Seção apresenta detalhes dos diferentes tipos de visualização de dados disponibilizados pela ferramenta, dentre eles, o grafo de manipulação.

5.2.6 Visualização

A ferramenta FARMA-ALG provê diferentes tipos de visualização dos registros de resposta armazenados. Cada um deles são descritos a seguir.

5.2.6.1 Grafo

A funcionalidade de visualização gráfica do grafo de similaridade tem por função auxiliar na manipulação e na abstração das respostas. Por meio deste, é possível observar e interagir com registros existentes e suas relações. Tem-se acesso aos dados específicos de uma dada respostas bem como das relações entre duas respostas diferentes. A Figura 24 apresenta visualização do grafo de similaridade utilizado para realizar a manipulação dos registros. Além do próprio grafo, são exibidas uma barra de busca e outras opções de manipulação. É possível observar, à direita, um quadro de visualização rápida com informações sobre a relação selecionada (aresta em amarelo). Ao fundo estão visíveis alguns registros de respostas adicionados ao grafo e suas relações. Vértices de cor preta indicam respostas incorretas, enquanto vértices em amarelo representam respostas com erros de compilação. Vértices verdes indicam respostas corretas.

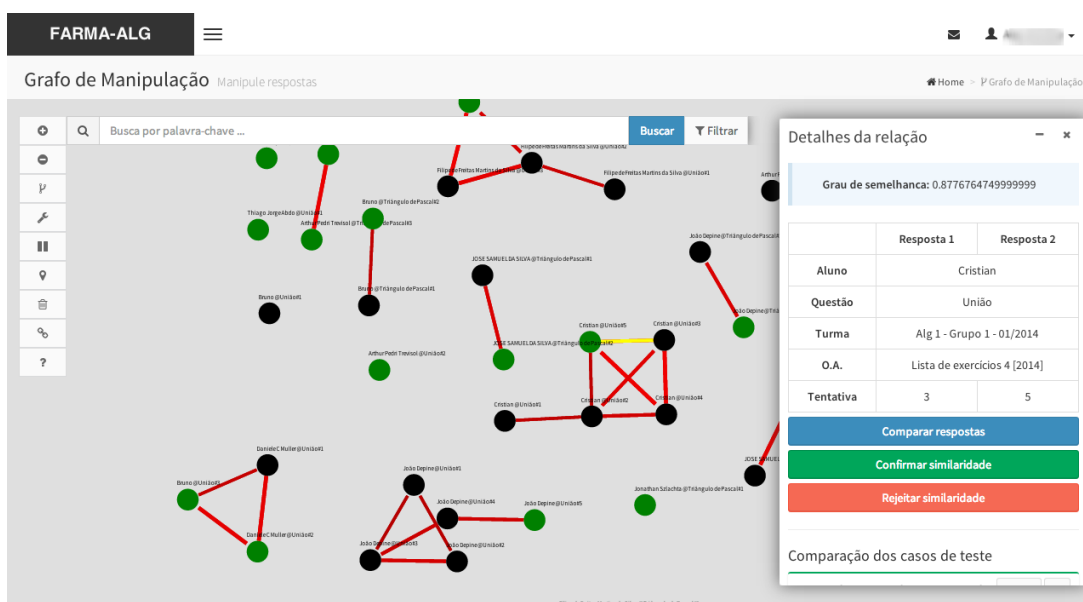


Figura 24 – Visualização do grafo de similaridade.

Ao selecionar a opção de visualização do grafo de manipulação, o professor recebe um grafo vazio. Ele pode, então, adicionar respostas de seu interesse ao grafo e verificar suas relações. A adição de respostas ao grafo é realizada através de uma barra de busca já descrita (Figura 25). Ao encontrar a resposta desejada, a ferramenta exibe três opções (Figura 26): (1) adicionar apenas a resposta escolhida ao grafo; (2) adicionar a resposta escolhida e todas as respostas semelhantes a esta; e (3) adicionar a componente conexa a qual pertence esta resposta.

A inserção das respostas semelhantes permite uma visualização dos registros imediatamente semelhantes à resposta escolhida. Assim, é possível analisar a quantidade de registros que apresentam as mesmas características e a quantidade de alunos que passaram por uma situação semelhante da representada pela resposta. Um exemplo da inserção

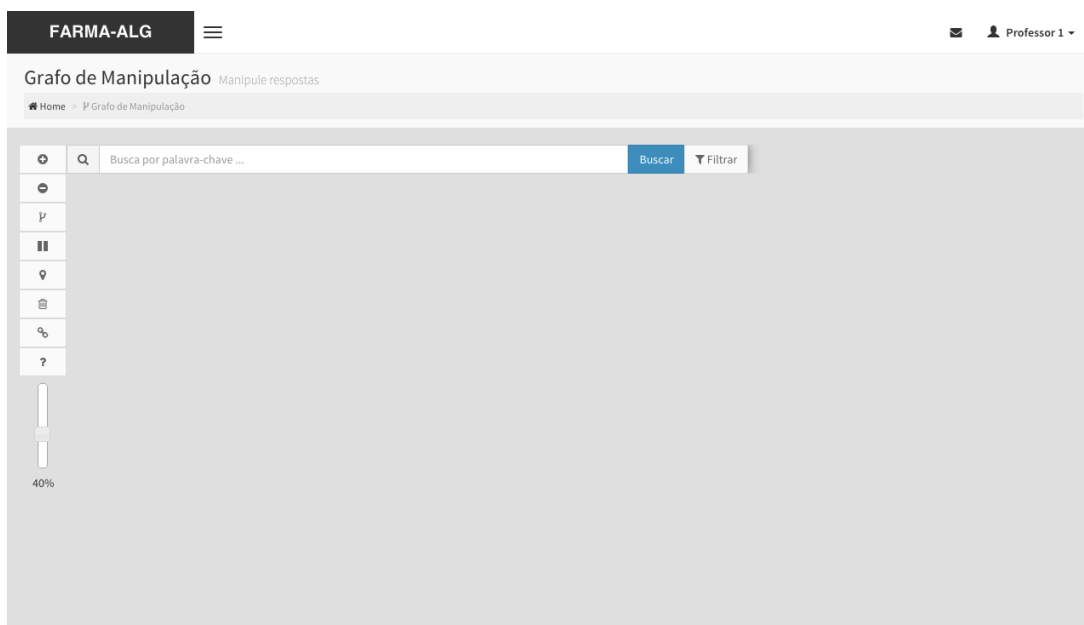


Figura 25 – Grafo de manipulação vazio com barra de busca.



Figura 26 – Opções de inserção de registro no grafo de manipulação.

de respostas semelhantes é apresentada pela Figura 27. Já a inserção da componente conexa permite uma visualização mais abrangente. Possibilita, inclusive, a análise de que rumo alunos com respostas similares tomaram para a resolução do problema. Esse tipo de inserção é exemplificado pela Figura 28.

Além da visualização gráfica das respostas e de suas relações, o grafo de similaridade permite a manipulação desses registros. Dessa forma, pode-se adicionar ou remover arestas ao grafo de maneira gráfica. Outra característica presente no grafo de manipulação é a possibilidade de filtrar as arestas do grafo por meio de seus pesos. Para tanto, é exibido no canto inferior esquerdo da tela um mecanismo para definir o limite superior de similaridade para que uma aresta de seja adicionada ao grafo. Isto é, exibe-se apenas as arestas que possuem peso maior ou igual ao estabelecido. Dessa forma, é possível, por exemplo, analisar as respostas que possuem um alto grau de similaridade. Ou ainda,

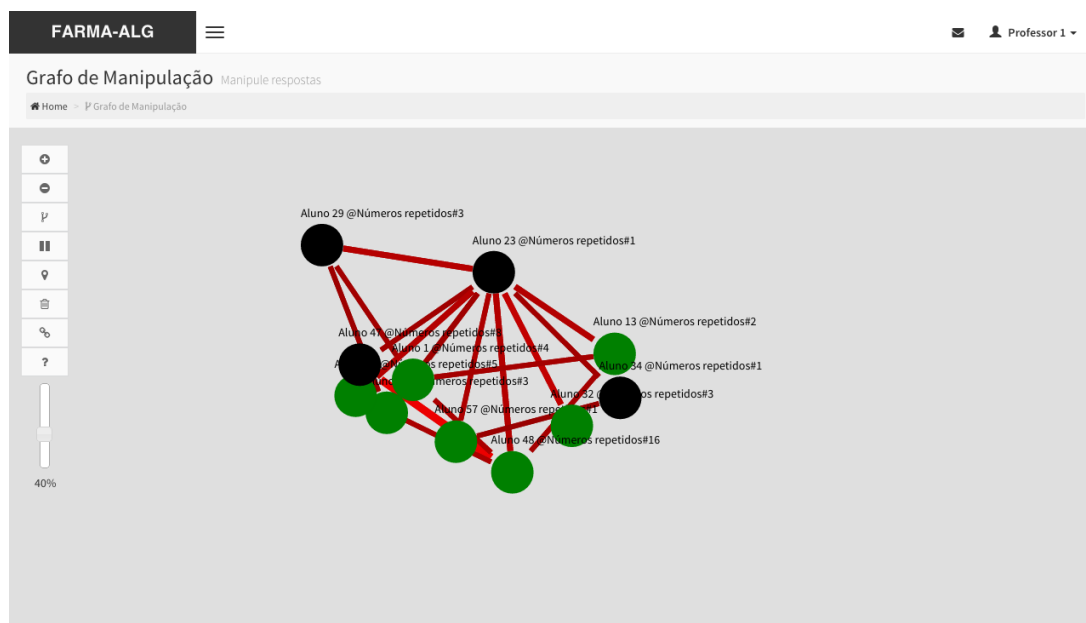


Figura 27 – Inserção de respostas semelhantes no grafo de manipulação.

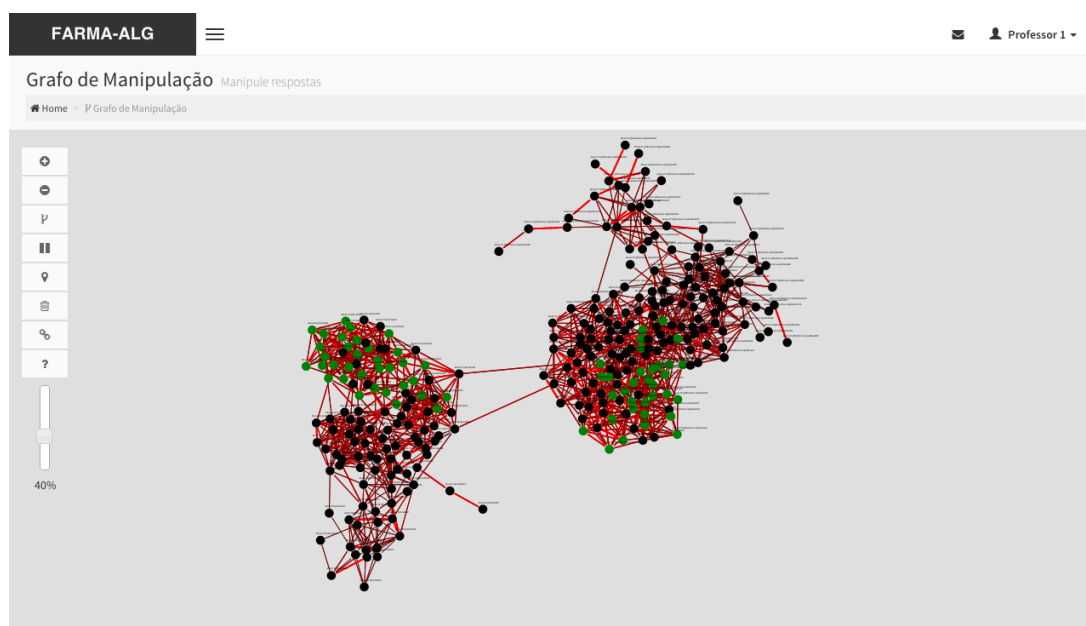


Figura 28 – Inserção de componente conexa no grafo de manipulação.

permitir que arestas de pouco peso sejam exibidas para que componentes conexas mais abrangentes sejam detectadas. As Figuras 29 e 30 exibem um mesmo conjunto de vértices, entretanto, na primeira, o grafo foi ajustado para mostrar apenas as arestas com peso maior ou igual a 0.4, enquanto a segunda exhibe apenas arestas de peso maior ou igual a 0.7. Nota-se, através das Figuras, que ao se definir um filtro para valores de similaridade alto, as componentes conexas se tornam mais escassas. Fazem-se, assim, mais evidentes os casos específicos em que há um alto grau de similaridade entre as respostas.

A interação possibilitada pela visualização do grafo de manipulação produz uma

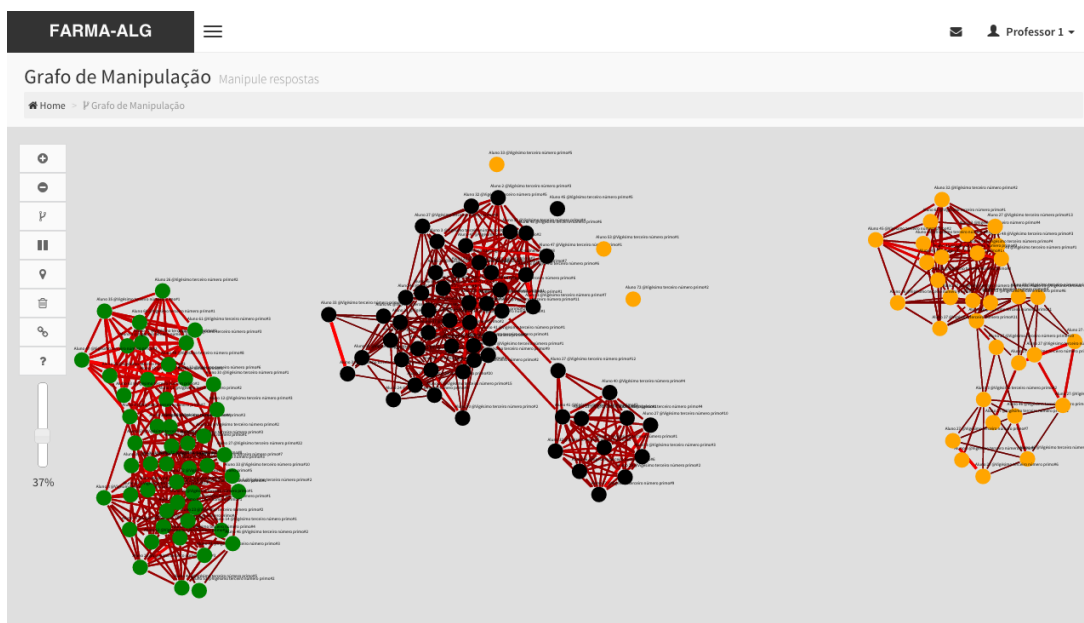


Figura 29 – Grafo de manipulação com arestas de peso maior ou igual a 0.4.

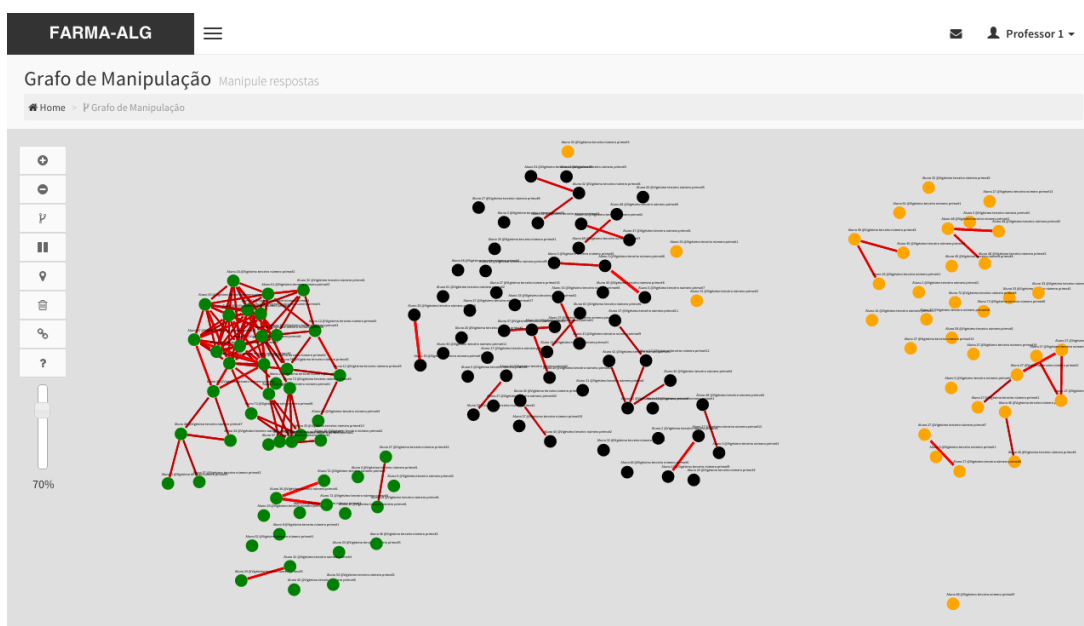


Figura 30 – Grafo de manipulação com arestas de peso maior ou igual a 0.7.

nova forma de apropriação das respostas armazenadas. A visualização não fica restrita a uma simples exibição dos dados, mas sim, permite a sua manipulação. Diferentes propriedades, como as conexões existentes entre diferentes respostas, ficam em evidência. Enfim, proporcionam-se mais instrumentos para que professores exerçam a mediação do erro e o estudo das respostas de seus alunos.

5.2.6.2 Linha do Tempo

Um outro tipo de visualização possibilita, a professores e alunos, o acesso às respostas representadas sobre uma linha do tempo. Isto é, essa visualização respeita a ordem cronológica das tentativas dos alunos e coloca em evidência a análise temporal dessas. Com isso, existem mais fundamentos para uma análise contextualizada do processo de formação de conceitos do aluno.

Em primeiro lugar, uma barra de busca é apresentada para que uma consulta seja realizada. Os resultados da consulta são, então, exibidos em forma de linha do tempo, agrupados por dia em que foram submetidas (Figura 31). Ao selecionar um dos grupos, as respostas referentes ao dia em questão são apresentadas. A Figura 32 mostra um exemplo de linha do tempo. Nela é possível observar uma pequena sequência de respostas no lado esquerdo e um quadro com detalhes referente à resposta selecionada no lado direito.

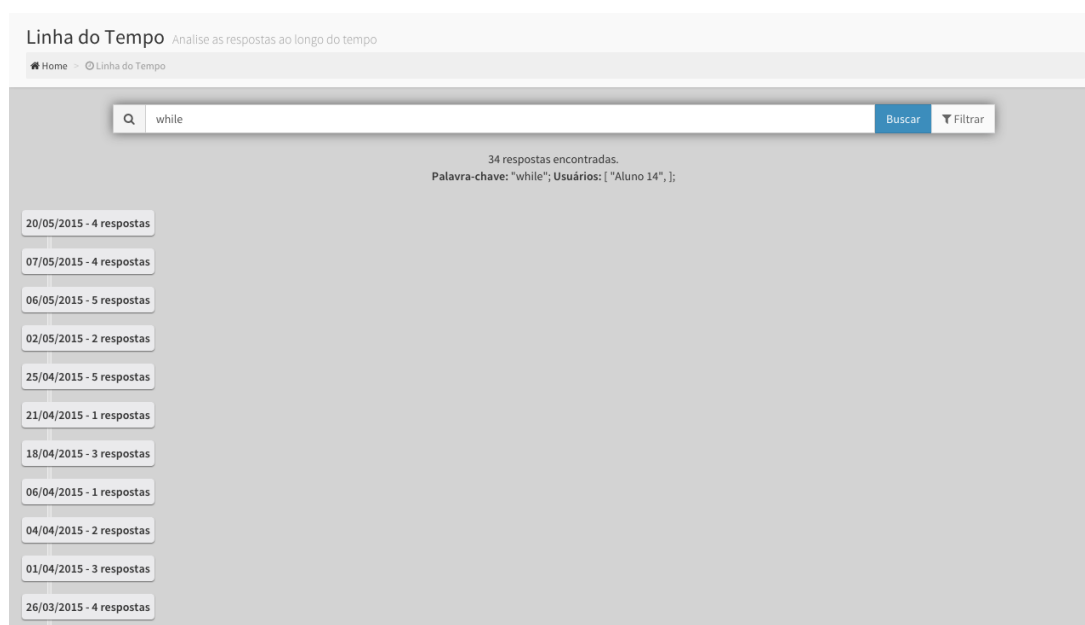


Figura 31 – Linha do tempo com respostas agrupadas por dia.

5.2.6.3 Visualização de respostas

Além da visualização rápida de respostas já descrita, a ferramenta FARMA-ALG provê uma forma de exibição mais completo de registros. Nesse modo, mais opções de interação estão disponíveis a professores e alunos. Entre elas estão: troca de comentários e análise das respostas mais semelhantes. As Figuras 33 e 34 mostram a visualização completa de repostas executadas, respectivamente, pro professores e alunos.

Dessa forma, ao visualizar uma resposta, o usuário, neste caso, professor ou aluno, pode deixar comentários referentes à resposta em questão. Se o comentário for realizado pelo professor, o aluno receberá uma notificação em sua página inicial. Caso seja o aluno

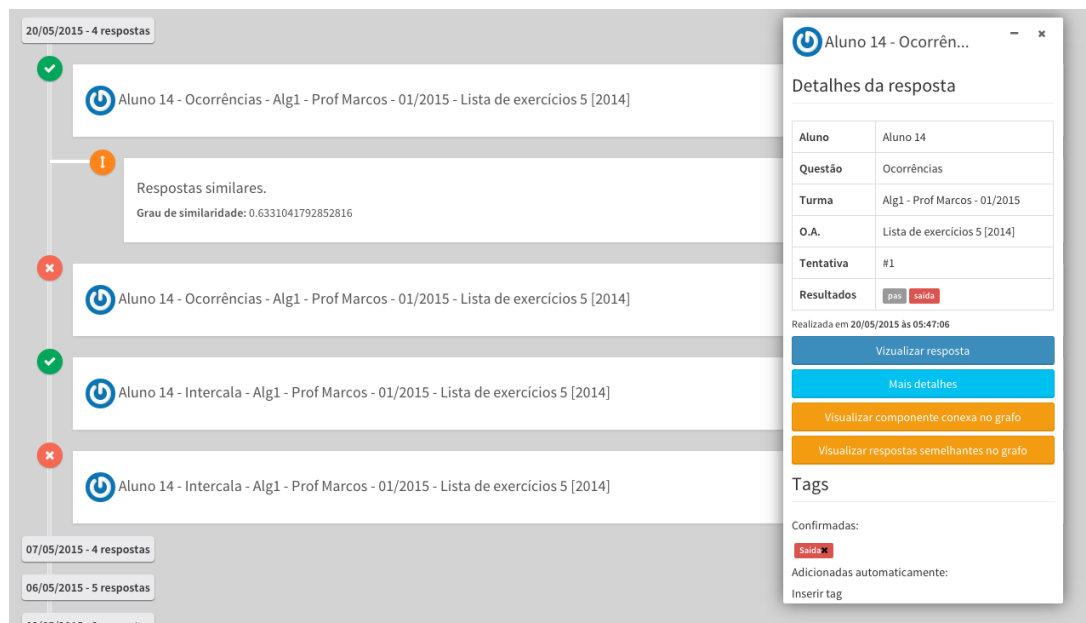


Figura 32 – Exibição de respostas em forma de linha do tempo.

que comente uma resposta, o professor da turma a qual pertence a resposta será informado. Essa funcionalidade auxilia na mediação de registros específicos de resposta. Os comentários podem ser visualizados juntamente com todas as informações relevantes sobre a resposta.

Além dos comentários, a visualização de completa de resposta disponibiliza aos usuários a análise dos registros mais semelhantes à resposta em questão. De forma semelhante ao grafo de manipulação, a visualização rápida dessas relações de similaridade está acessível. Para alunos, apenas semelhanças entre respostas submetidas por ele mesmo serão exibidas.

Um último recurso, exclusivo para professores, está presente nesse tipo de visualização. A alteração da correção de uma resposta. Por meio dessa funcionalidade, pode-se definir uma resposta incorreta como correta e vice-versa. Isso é necessário pois, em alguns casos, o sistema avaliador não é capaz de aferir de maneira satisfatória se uma dada resposta é correta ou não. Por exemplo, em questões onde os casos de teste podem sofrer pequenas variações, a avaliação realizada pela ferramenta pode identificar uma resposta correta como incorreta.

5.2.6.4 Outras visualizações

Alguns outros tipos de visualização completam a ferramenta FARMA-ALG. A Figura 6, exibida no início desse Capítulo, apresenta a tela inicial da ferramenta para um usuário do tipo professor. Diferentes tipos de informações são sumarizadas nessa tela. Entre elas: últimos comentários e mensagens recebidas, últimas respostas submetidas por alunos de suas turmas, recomendações automáticas, número de respostas corretas

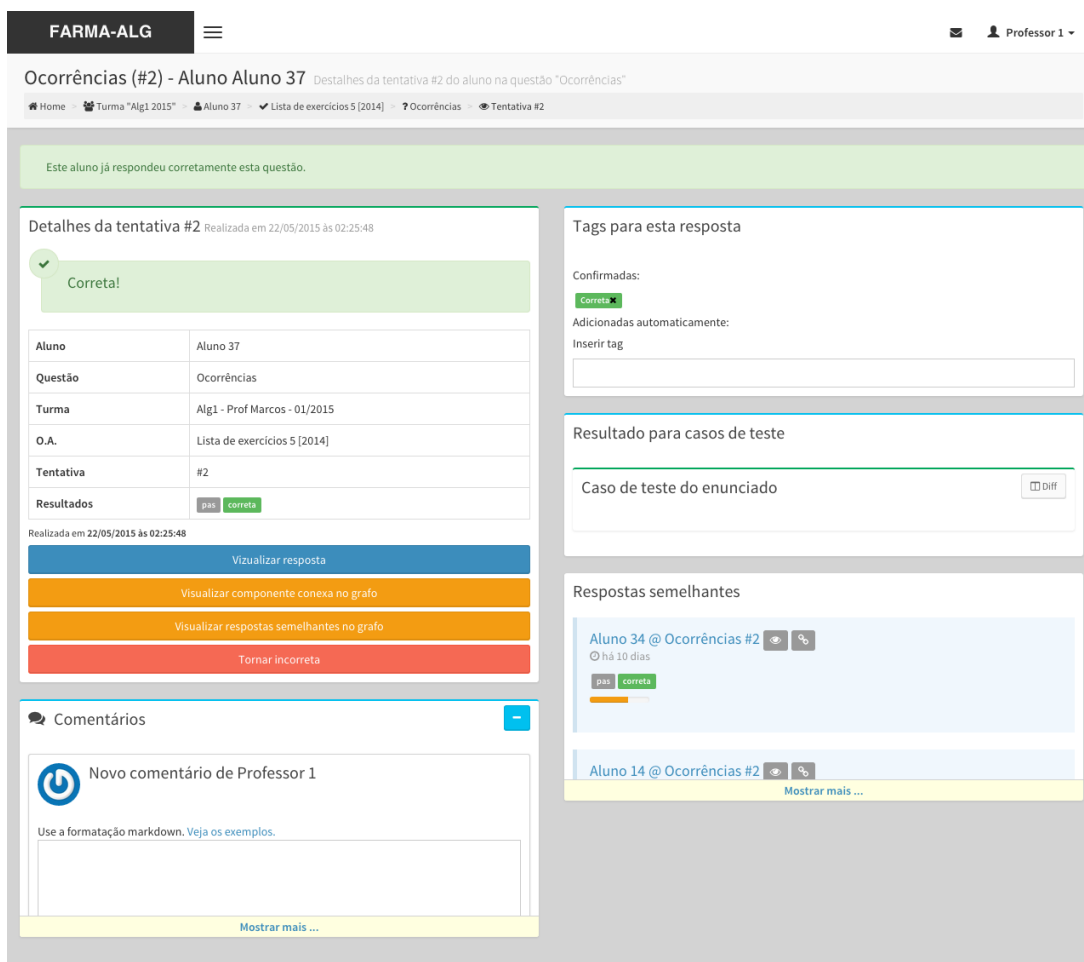


Figura 33 – Visualização completa de resposta (professor).

e incorretas armazenadas e número de alunos. Informações semelhantes são exibidas na tela inicial de alunos (Figura 35).

Além disso, diferentes tipos de estatísticas são apresentadas pela ferramenta. Ao acessar informações sobre uma turma ou um aluno específico, exibem-se graficamente dados sobre a participação do(s) aluno(s) e do número de tentativas de repostas por OA (Figura 36). Informações e estatísticas sobre as tentativas de um aluno para um OA específico também estão disponíveis (Figura 37). Por fim, ao professor, é apresentado um sumário das respostas de sua turma para um dado OA A Figura 38 apresenta um exemplo de sumário. Para cada aluno e para cada questão do OA é exibido o estado atual das tentativas do aluno (se já respondeu a questão, quantidade de tentativas e correção).

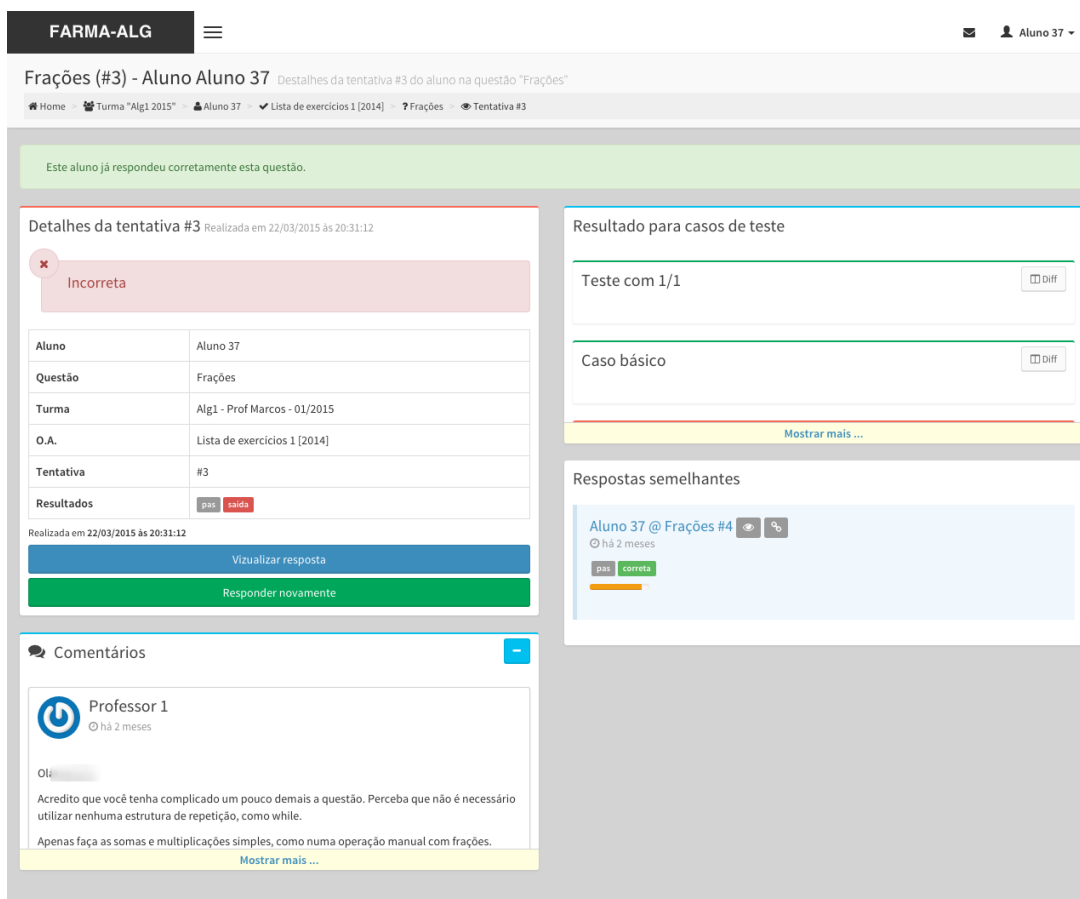


Figura 34 – Visualização completa de resposta (aluno).

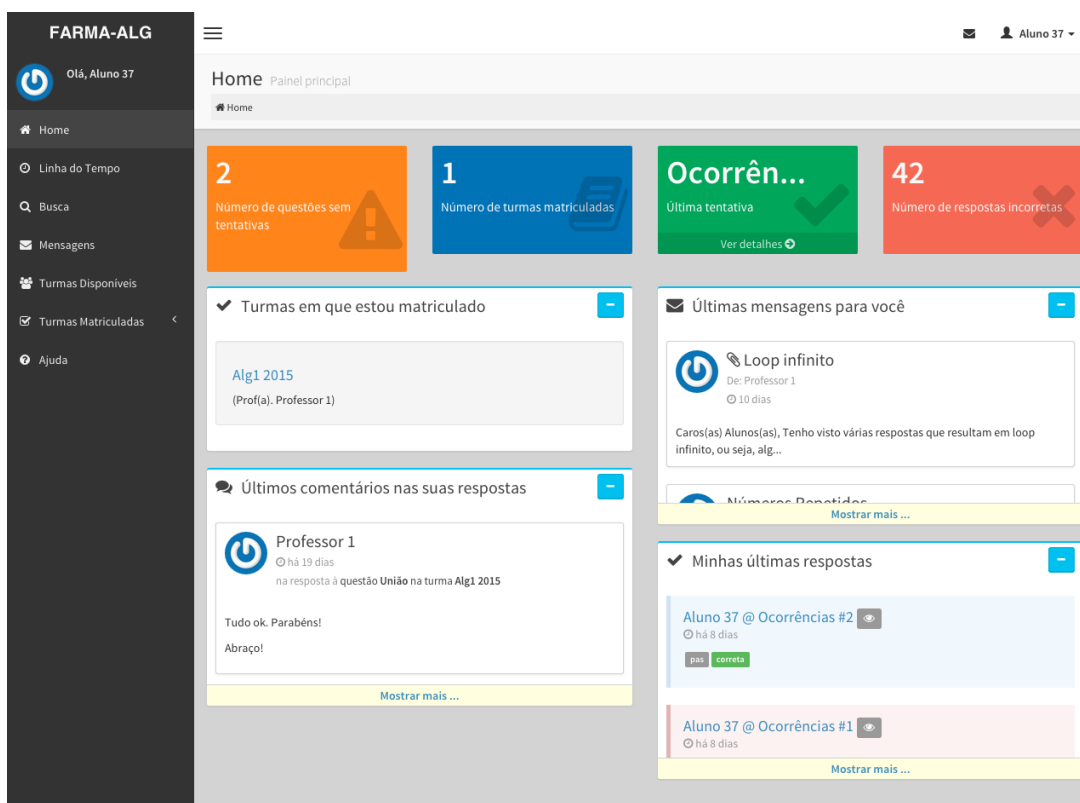


Figura 35 – Tela inicial (aluno).

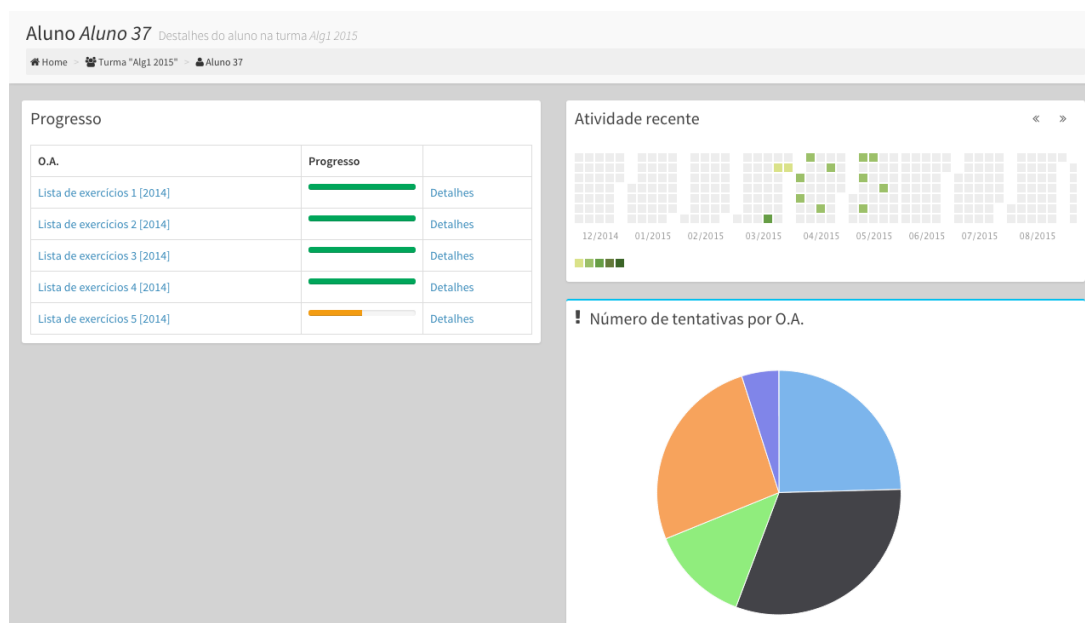


Figura 36 – Visualização de informações específicas sobre as resposta de um aluno.

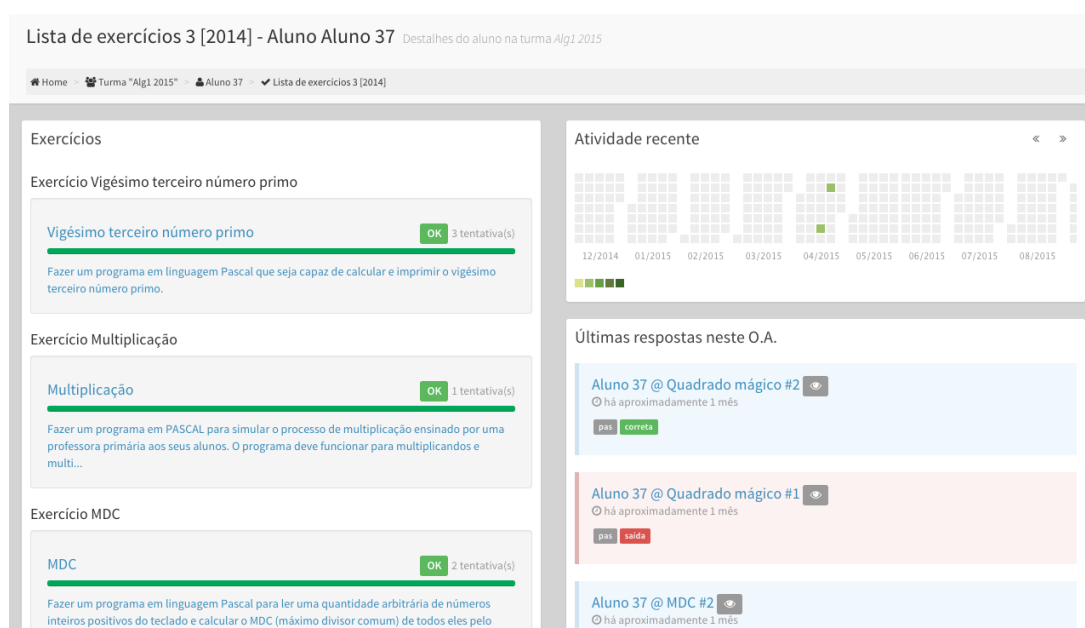


Figura 37 – Visualização de informações específicas sobre as respostas de um aluno para um OA.

Objeto de Aprendizagem Quadro resumo do desempenho dos alunos

Home turma "Alg1 2015" Lista de exercicios 5 [2014]

Quadro resumo do objeto de aprendizagem 'Lista de exercicios 5 [2014]' para a turma 'Alg1 2015'

Aluno	Exercicio Intercala	Exercicio Ocorrências	Exercicio Gera imagem	Exercicio Matriz de Vandermonde
	Intercala	Ocorrências	Gera imagem	Matriz de Vandermonde
Aluno 1	Não respondida	Não respondida	Não respondida	Não respondida
Aluno 10	Não respondida	Não respondida	Não respondida	Não respondida
Aluno 11	Não respondida	Não respondida	Não respondida	Não respondida
Aluno 12	OK 1 tentativa(s)	ERRO 3 tentativa(s)	Não respondida	OK 3 tentativa(s)
Aluno 13	OK 3 tentativa(s)	Não respondida	Não respondida	Não respondida
Aluno 14	OK 2 tentativa(s)	OK 2 tentativa(s)	Não respondida	Não respondida
Aluno 15	Não respondida	Não respondida	Não respondida	Não respondida
Aluno 16	Não respondida	Não respondida	Não respondida	Não respondida

Figura 38 – Sumário sobre as respostas de uma turma para um OA.

6 Experimentos e Resultados

Este Capítulo descreve diferentes experimentos realizados para validar a ferramenta FARMA-ALG e seus impactos nos processos de ensino e aprendizagem. Como consequência, é possível formular hipóteses com relação à qualidade do arcabouço de sistema proposto nessa tese e suas contribuições para a mediação do erro.

A organização do presente Capítulo é como segue: a Seção 6.1 descreve o experimento central executado com o objetivo de verificar contribuições do uso da ferramenta FARMA-ALG para o desempenho dos estudantes durante um semestre letivo de uma disciplina de ensino de programação de computadores. A Seção 6.2 apresenta os resultados obtidos através da aplicação de um questionário com alunos em idade universitária sobre suas respectivas concepções e experiências com relação à mediação do erro. As impressões relatadas por estudantes sobre a ferramenta FARMA-ALG são sumarizadas na Seção 6.3. Uma análise específica do algoritmo de recomendação de respostas e seu desempenho é descrita na Seção 6.4. Por fim, a Seção 6.5 reúne e discute as principais contribuições alcançadas pelo estudo realizado na presente tese.

6.1 Avaliação dos impactos da ferramenta FARMA-ALG

Um experimento com objetivo de avaliar os impactos do uso da ferramenta FARMA-ALG no desempenho dos alunos foi realizado durante esta pesquisa. Duas turmas de uma disciplina introdutória de programação de computadores foram observadas. Os alunos de uma das turmas tiveram acesso à ferramenta apresentada nessa tese, enquanto a outra utilizou os recursos padrões já aplicados historicamente na disciplina. Ao final do curso, as notas obtidas pelos alunos das duas turmas no decorrer do semestre foram comparadas em busca de indícios de que a ferramenta atuasse de maneira positiva no aprendizado dos estudantes, resultando, inclusive, em diferenças em seus desempenhos.

Os dados obtidos foram analisados através da aplicação do teste estatísticos não paramétrico *Wilcoxon-Mann-Whitney* (SIEGEL, 1975), conhecido por ser robusto e, em certas vezes, superar o também famoso *teste-t* na precisão dos resultados. Tais análises indicam sinais de que a ferramenta FARMA-ALG é capaz de contribuir positivamente na aprendizagem de alunos. Detalhes do experimento e das conclusões obtidas são descritos a seguir.

6.1.1 Detalhes do experimento

O experimento em questão foi realizado durante o primeiro semestre de 2015, com os alunos da disciplina de Algoritmos e Estruturas de Dados 1, dos cursos de Bacharelado em Ciência da Computação e Informática Biomédica da Universidade Federal do Paraná. Essa disciplina compõe a matriz curricular do primeiro semestre de ambos os cursos. Dessa forma, as turmas são formadas, em geral, por alunos recém entrados no ensino superior e repetentes de semestres anteriores.

Os alunos dos dois cursos inscritos nas disciplina foram agrupados dando origem a duas turmas mistas. A primeira, turma **A**, iniciou o semestre com 59 alunos, enquanto a turma **B** foi inicialmente composta por 57 estudantes. Para o presente experimento, a turma A foi nomeada **Grupo experimental (GE)**, para a qual seria disponibilizado o acesso à ferramenta FARMA-ALG. A turma B, por sua vez, foi identificada como **Grupo controle (GC)**, cujos alunos não fariam uso da ferramenta. Ambas os grupos (GC e GE) receberam o mesmo conteúdo durante o semestre e realizaram as mesmas avaliações.

No decorrer do curso, os alunos receberam 7 listas de exercícios, as quais deveriam ser entregues em datas previstas. As listas eram compostas por exercícios de programação de computadores para a linguagem PASCAL. Os alunos do GC resolveram as listas sem o auxílio de sistemas adicionais, ao passo que os integrantes do GE utilizaram a ferramenta FARMA-ALG como apoio para a resolução, entrega e correção de listas de exercícios.

O autor da presente tese participou do desenvolvimento da disciplina atuando como monitor. Sua responsabilidade era receber e corrigir as listas de exercícios e realizar atendimento às dúvidas dos alunos, fosse pessoalmente ou por meio digital. Portanto, além da via pessoal, a interação com os alunos do GE foi realizada principalmente através das funcionalidades do FARMA-ALG, diferentemente do GC, o qual teve uma comunicação baseada, sobretudo, na troca de emails.

Em suma, as características dos grupos formados durante o experimento foram as seguintes:

Grupo controle (GC) composto por 57 alunos; presenciou aulas regulares da disciplina de Algoritmos e Estruturas de dados 1; resolveu as listas de exercícios sem o auxílio de softwares de apoio, realizando a entrega das soluções por email ao monitor da disciplina.

Grupo experimental (GE) composto por 59 alunos; presenciou aulas regulares da disciplina de Algoritmos e Estruturas de dados 1; resolveu as listas de exercícios com o auxílio da ferramenta FARMA-ALG.

Ambos os grupos receberam a mesma carga horária de atendimento pelo monitor da disciplina. A avaliação da disciplina foi composta pela aplicação de 3 provas (as quais

podem ser encontradas nos Anexos B, C e D dessa tese), sendo computada, ao término do semestre, a média final dos alunos.

6.1.2 Pré-teste

Um pré-teste foi aplicado para verificar se os integrantes de ambos os grupos formados apresentavam um desempenho similar logo ao início da disciplina. Em outras palavras, procurou-se averiguar se a composição dos GC e GE produziu um agrupamento sem diferenças claras que pudessem desqualificar o experimento posteriormente.

O pré-teste aplicado foi retirado do trabalho apresentado por Krynski (2013). Este é composto por 15 questões da disciplina de matemática com um nível de dificuldade dentro do esperado para alunos recém entrados no ensino superior. De acordo com o autor, tais questões exigem dos alunos a utilização do que seria um conhecimento pré-algorítmico. Isto é, conhecimentos necessários e/ou desejáveis para o início do ensino de programação de computadores. O pré-teste é exposto no anexo A dessa tese.

6.1.3 Análise dos resultados obtidos

Dos 59 alunos que faziam parte do GE no início do semestre, 57 participaram da realização o pré-teste. E, dos 57 alunos que compunham inicialmente o GC, apenas 38 se submeteram ao pré-teste. Assim, o tamanho dos GC e GE foi reduzido para 38 e 57, respectivamente.

Durante o semestre letivo, alguns alunos desistiram da disciplina, não comparendo mais às aulas e não realizando as provas. Esses alunos foram retirados do experimento. Dessa forma, foram considerados válidos para o experimento apenas os alunos que realizaram o pré-teste e as três provas previstas pelo cronograma da disciplina. Portanto, ao final do semestre os GC e GE continham, nessa ordem, 24 e 38 alunos.

As Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, as notas obtidas pelos GC e GE durante o semestre avaliado pela pesquisa. A seguir apresentam-se os resultados das análises realizadas sobre os dados expostos nas referidas tabelas.

Tabela 1 – Notas do Grupo de Controle (GC)

Aluno	Pré-teste	Prova 1	Prova 2	Prova 3	Média Final
Aluno GC 1	75,00	60,00	68,00	80,00	69,33
Aluno GC 2	43,80	85,00	68,00	60,00	71,00
Aluno GC 3	56,30	86,00	68,00	40,00	64,67
Aluno GC 4	62,50	80,00	78,00	70,00	76,00
Aluno GC 5	93,80	79,00	90,00	55,00	74,67
Aluno GC 6	68,80	89,00	70,00	95,00	84,67
Aluno GC 7	75,00	0,00	90,00	35,00	41,67
Aluno GC 8	68,80	80,00	40,00	30,00	50,00
Aluno GC 9	50,00	67,00	40,00	35,00	47,33
Aluno GC 10	37,50	13,00	0,00	0,00	4,33
Aluno GC 11	62,50	37,00	15,00	25,00	25,67
Aluno GC 12	50,00	63,00	68,00	55,00	62,00
Aluno GC 13	56,30	88,00	53,00	100,00	80,33
Aluno GC 14	31,30	36,00	60,00	60,00	52,00
Aluno GC 15	5,63	71,00	80,00	100,00	83,67
Aluno GC 16	43,80	65,00	63,00	30,00	52,67
Aluno GC 17	50,00	59,00	94,00	65,00	72,67
Aluno GC 18	12,50	11,00	2,00	6,00	6,33
Aluno GC 19	87,50	80,00	80,00	100,00	86,67
Aluno GC 20	6,88	80,00	65,00	85,00	76,67
Aluno GC 21	43,80	20,00	49,00	15,00	28,00
Aluno GC 22	75,00	68,00	85,00	100,00	84,33
Aluno GC 23	62,50	80,00	60,00	55,00	65,00
Aluno GC 24	31,30	3,00	6,00	7,00	5,33
Médias	52,10	58,33	58,00	54,29	46,88
Desvio padrão	23,36	29,23	27,87	32,36	26,12

Tabela 2 – Notas do Grupo Experimental (GE)

Aluno	Pré-teste	Prova 1	Prova 2	Prova 3	Média Final
Aluno GE 1	56,30	30,00	50,00	10,00	30,00
Aluno GE 2	81,30	84,00	55,00	35,00	58,00
Aluno GE 3	50,00	73,00	25,00	55,00	51,00
Aluno GE 4	50,00	79,00	65,00	75,00	73,00
Aluno GE 5	62,50	59,00	40,00	45,00	48,00
Aluno GE 6	56,30	62,00	80,00	95,00	79,00
Aluno GE 7	37,50	49,00	20,00	0,00	23,00
Aluno GE 8	62,50	30,00	80,00	40,00	50,00
Aluno GE 9	50,00	29,00	60,00	35,00	41,33
Aluno GE 10	93,80	72,00	55,00	50,00	59,00
Aluno GE 11	56,30	58,00	85,00	70,00	71,00
Aluno GE 12	68,80	30,00	94,00	67,00	63,67
Aluno GE 13	62,50	24,00	90,00	55,00	56,33
Aluno GE 14	56,30	55,00	85,00	50,00	63,33
Aluno GE 15	75,00	63,00	80,00	70,00	71,00
Aluno GE 16	75,00	92,00	70,00	97,00	86,33
Aluno GE 17	62,50	30,00	30,00	55,00	38,33
Aluno GE 18	50,00	52,00	60,00	45,00	52,33
Aluno GE 19	68,80	64,00	80,00	80,00	74,67
Aluno GE 20	62,50	60,00	80,00	30,00	56,67
Aluno GE 21	56,30	65,00	55,00	70,00	63,33
Aluno GE 22	75,00	50,00	75,00	85,00	70,00
Aluno GE 23	56,30	39,00	55,00	80,00	58,00
Aluno GE 24	68,80	57,00	25,00	30,00	37,33
Aluno GE 25	25,00	30,00	70,00	60,00	53,33
Aluno GE 26	37,50	93,00	85,00	100,00	92,67
Aluno GE 27	62,50	49,00	80,00	83,00	70,67
Aluno GE 28	56,30	48,00	80,00	78,00	68,67
Aluno GE 29	50,00	11,00	50,00	44,00	35,00
Aluno GE 30	50,00	70,00	50,00	30,00	50,00
Aluno GE 31	68,80	22,00	45,00	50,00	39,00
Aluno GE 32	12,50	19,00	35,00	20,00	24,67
Aluno GE 33	56,30	63,00	60,00	90,00	71,00
Aluno GE 34	56,30	48,00	35,00	70,00	51,00
Aluno GE 35	56,30	63,00	65,00	76,00	68,00
Aluno GE 36	50,00	24,00	35,00	30,00	29,67
Aluno GE 37	62,50	30,00	45,00	41,00	38,67
Aluno GE 38	68,80	78,00	70,00	100,00	82,67
Médias	58,08	51,42	60,50	57,79	56,57
Desvio padrão	14,60	21,25	20,38	25,52	19,59

6.1.3.1 Verificação 1: Pré-testes GC e GE

Para definir que os ambos os grupos GC e GE foram formados através de uma mesma população, ou seja, eram inicialmente similares, é necessário verificar as amostras produzidas através da aplicação do pré-teste. Dessa maneira, tem-se as seguintes hipóteses:

H0 : Pré-testes do GC e GE tem desempenhos **similares**;

H1 : Pré-testes do GC e GE tem desempenhos **diferentes**;

Através da aplicação do teste *Wilcoxon-Mann-Whitney* para amostras independentes a partir das notas dos pré-testes de ambos os grupos, os seguintes resultados são obtidos:

$W = 386.5$, p-valor atribuído = 0.3143

Dessa forma, com um nível de 5% de significância, **não** se rejeita H0, pois p-valor > 0.05 . Este resultado indica que, de acordo com as notas obtidas através do pré-teste, não existem diferenças significativas entre os grupos GC e GE. Portanto, considera-se que, ao início da disciplina, ambos os grupos possuíam um desempenho similar no que se refere à conhecimentos pré-algoritmos.

6.1.3.2 Verificação 2: Pré-teste e pós-teste GC

A fim de verificar se, após o ensino do conteúdo da disciplina, diferenças significativas no desempenho dos alunos do GC foram produzidas, é necessária a análise das pontuações de pré e pós-teste obtidas por esse grupo. Para o presente experimento, o pós-teste é considerado como a média final obtida pelos alunos na disciplina observada. Assim, definem-se as seguintes hipóteses:

H0 : Pré-teste e Pós-teste do GC tem desempenhos **similares**;

H1 : Pré-teste e Pós-teste do GC tem desempenhos **diferentes**;

Através da aplicação do teste *Wilcoxon-Mann-Whitney* para amostras dependentes (amostras pareadas) a partir das notas do pré-teste e da média final obtidas pelo alunos do grupo GC, os seguintes resultados são produzidos:

$W = 72.5$, p-valor atribuído = 0.0278

Dessa maneira, com um nível de 5% de significância, **rejeita-se** H0, pois p-valor < 0.05 . Ou seja, pode-se afirmar que existem diferenças significativas entre as notas obtidas pelos alunos do GC no pré-teste e no pós-teste. A Figura 39 exhibe graficamente a dispersão observada pelos dados obtidos em ambos os testes.

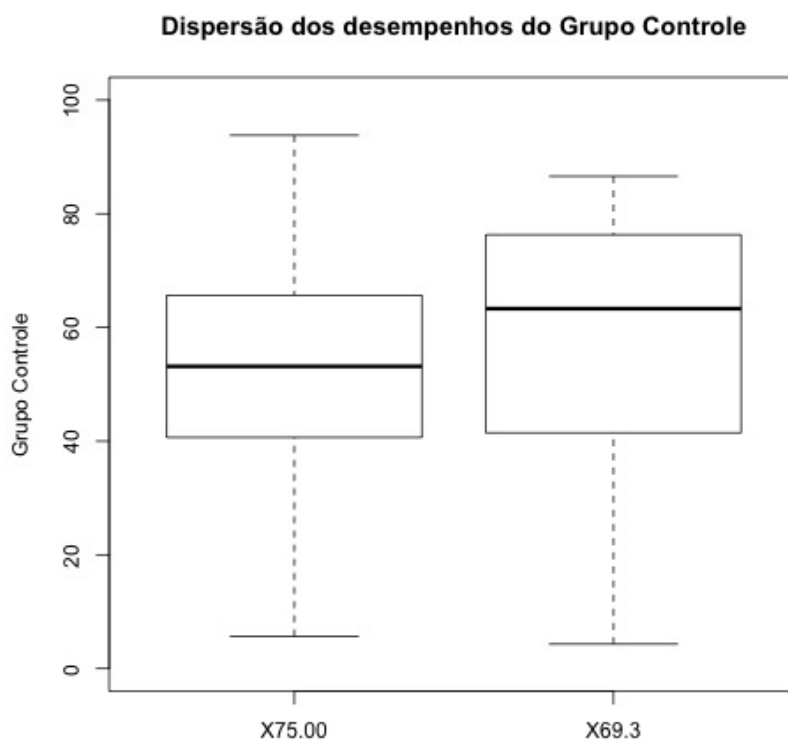


Figura 39 – Dispersão das notas obtidas (pré-teste e média final) pelo grupo GC.

6.1.3.3 Verificação 3: Pré-teste e pós-teste GE

A mesma verificação deve ser realizada para o GE. Portanto, definem-se as seguintes hipóteses:

H0 : Pré-teste e Pós-teste do GE tem desempenhos **similares**;

H1 : Pré-teste e Pós-teste do GE tem desempenhos **diferentes**;

Através da aplicação do teste *Wilcoxon-Mann-Whitney* para amostras dependentes (amostras pareadas) a partir das notas do pré-teste e da média final obtidas pelo alunos do grupo GE, os seguintes resultados são produzidos:

$W = 429$, p-valor atribuído = 0.2453

Dessa maneira, com um nível de 5% de significância, **não** se rejeita H0, pois p-valor > 0.05 . Ou seja, não se pode afirmar que existem diferenças significativas entre as notas obtidas pelos alunos do GE no pré-teste e no pós-teste. A Figura 40 exhibe graficamente a dispersão observada pelos dados obtidos em ambos os testes.

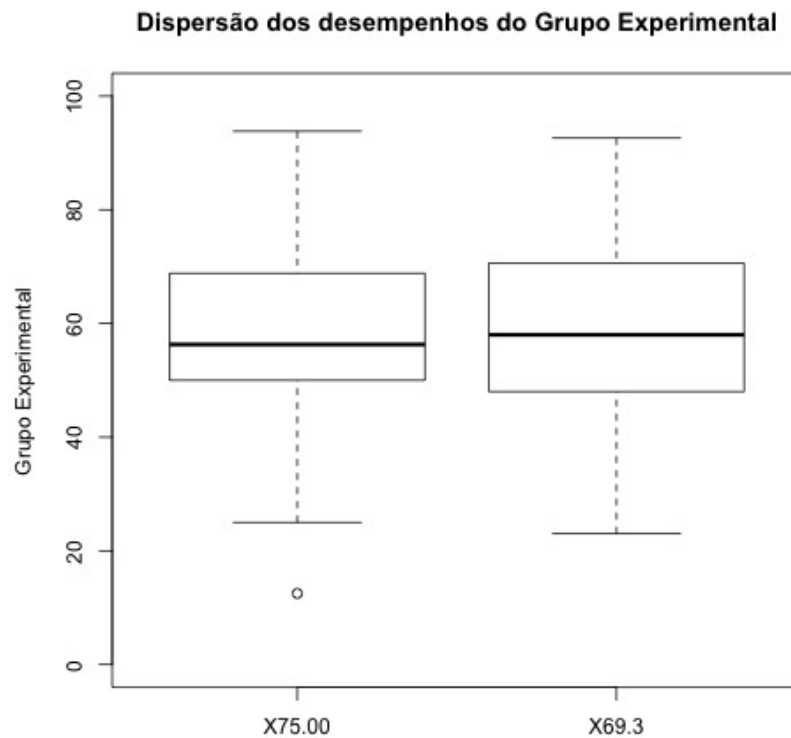


Figura 40 – Dispersão das notas obtidas (pré-teste e média final) pelo grupo GE.

6.1.3.4 Verificação 4: Pós-testes GC e GE

Para definir se, durante o semestre, foram produzidas diferenças significativas entre os alunos dos dois grupos GC e GE, é necessário verificar as amostras obtidas do pós-teste para ambos os grupos. Dessa maneira, tem-se as seguintes hipóteses:

H0 : Pós-testes do GC e GE tem desempenhos **similares**;

H1 : Pós-testes do GC e GE tem desempenhos **diferentes**;

Através da aplicação do teste *Wilcoxon-Mann-Whitney* para amostras independentes a partir das médias finais de ambos os grupos, os seguintes resultados são obtidos:

$W = 517.5$, p-valor atribuído = 0.3779

Dessa forma, com um nível de 5% de significância, **não** se rejeita H0, pois p-valor > 0.05 . Isto é, não se pode afirmar que, estatisticamente, foram produzidas diferenças entre o desempenho dos grupos GC e GE durante a disciplina. A Figura 41 exhibe graficamente a dispersão observada por ambos os grupos analisados.

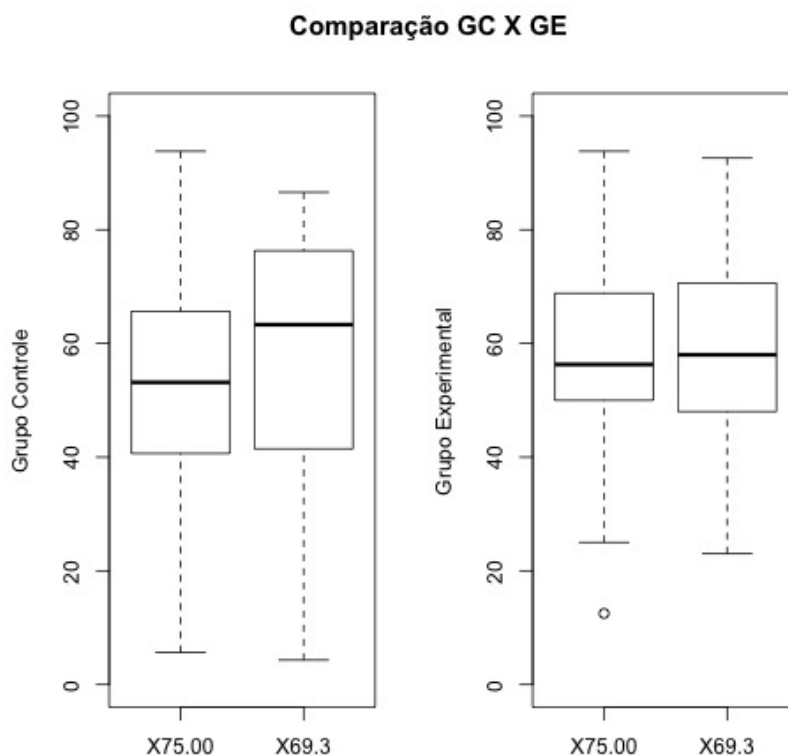


Figura 41 – Comparação das notas obtidas (pré-teste e média final) pelos grupos GC e GE.

6.1.4 Análise alternativa dos resultados (Prova 1 como Pré-teste)

A partir dos resultados relatados, constatou-se que não existem razões estatísticas para afirmar que os grupos GC e GE apresentaram diferenças significativas durante o pós-teste. Embora o GC tenha exibido diferenças entre o pré-teste e o pós-teste, o GE não obteve o mesmo comportamento.

Porém, ao se verificar os dados coletados durante o experimento, constata-se uma evolução entre as médias das notas das provas 1 e 3 do GE. O mesmo não é percebido para o GC. Nesse sentido, com o objetivo de expandir a análise realizada, propôs-se uma observação alternativa dos dados: dessa vez, consideram-se as notas da prova 1 como as notas do pré-teste.

6.1.4.1 Verificação alternativa 1: Prova 1 GC e GE

Para definir que os ambos os grupos GC e GE foram formados através de uma mesma população, ou seja, eram inicialmente similares, é necessário verificar as amostras produzidas através da aplicação do pré-teste, neste caso, da prova 1. Dessa maneira, tem-se as seguintes hipóteses:

H0 : Prova 1 do GC e GE tem desempenhos **similares**;

H1 : Prova 1 do GC e GE tem desempenhos **diferentes**;

Através da aplicação do teste *Wilcoxon-Mann-Whitney* para amostras independentes a partir das notas das provas 1 de ambos os grupos, os seguintes resultados são obtidos:

$W = 574$, p-valor atribuído = 0.0892

Dessa forma, com um nível de 5% de significância, **não** se rejeita H0, pois p-valor > 0.05 . Este resultado indica que, de acordo com as notas obtidas através da prova 1, não existem diferenças significativas entre os grupos GC e GE. Portanto, considera-se que, ao momento da primeira prova da disciplina, ambos os grupos possuíam um desempenho similar.

6.1.4.2 Verificação alternativa 2: Prova 1 e pós-teste GC

Realiza-se, então, a verificação se existem diferenças entre as notas da primeira prova e do pós-teste para o GC. Para tanto, as seguintes hipóteses são formadas:

H0 : Prova 1 e Pós-teste do GC tem desempenhos **similares**;

H1 : Prova 1 e Pós-teste do GC tem desempenhos **diferentes**;

Através da aplicação do teste *Wilcoxon-Mann-Whitney* para amostras dependentes (amostras pareadas) a partir das notas da prova 1 e da média final obtidas pelo alunos do grupo GC, os seguintes resultados são produzidos:

$W = 198$, p-valor atribuído = 0.1746

Dessa maneira, com um nível de 5% de significância, **não** se rejeita H0, pois p-valor > 0.05 . Ou seja, diferentemente da primeira análise realizada, não se verificam diferenças entre as notas obtidas para a prova 1 e o pós-teste para o GC. A Figura 42 exibe graficamente a dispersão observada pelos dados obtidos em ambos os testes para este caso.

6.1.4.3 Verificação alternativa 3: Prova 1 e pós-teste GE

A mesma verificação deve ser realizada para o GE. Portanto, definem-se as seguintes hipóteses:

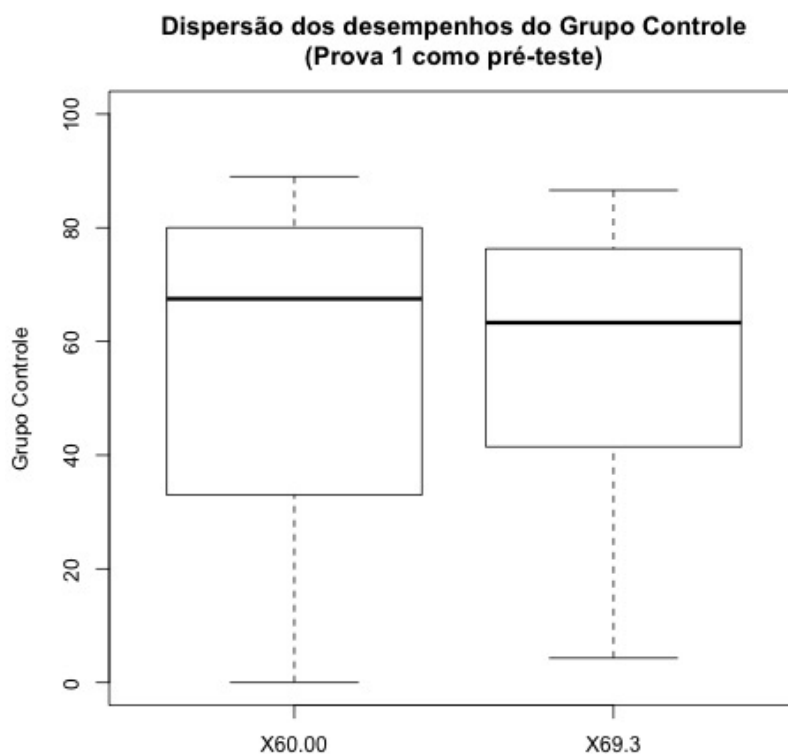


Figura 42 – Dispersão das notas obtidas (prova 1 e média final) pelo grupo GC.

H0 : Prova 1 e Pós-teste do GE tem desempenhos **similares**;

H1 : Prova 1 e Pós-teste do GE tem desempenhos **diferentes**;

Através da aplicação do teste *Wilcoxon-Mann-Whitney* para amostras dependentes (amostras pareadas) a partir das notas do prova 1 e da média final obtidas pelo alunos do grupo GE, os seguintes resultados são produzidos:

$W = 43.5$, $p\text{-value} = 0.000005581$

Dessa maneira, com um nível de 5% de significância, **rejeita-se H0**, pois $p\text{-valor} < 0.05$. Isto é, pode-se afirmar que existem diferenças significativas entre as notas obtidas pelos alunos do GE na primeira prova e no pós-teste. A Figura 43 exibe graficamente a dispersão observada pelos dados obtidos em ambos os testes. A Figura 44, por sua vez, apresenta a comparação dos resultados obtidos para os grupo GC e GE nessa análise alternativa.

6.1.5 Discussão dos resultados

Em ambas as alternativas de análise descritas, não existem razões estatísticas para afirmar a existência de diferenças significativas entre as turmas que utilizaram e não

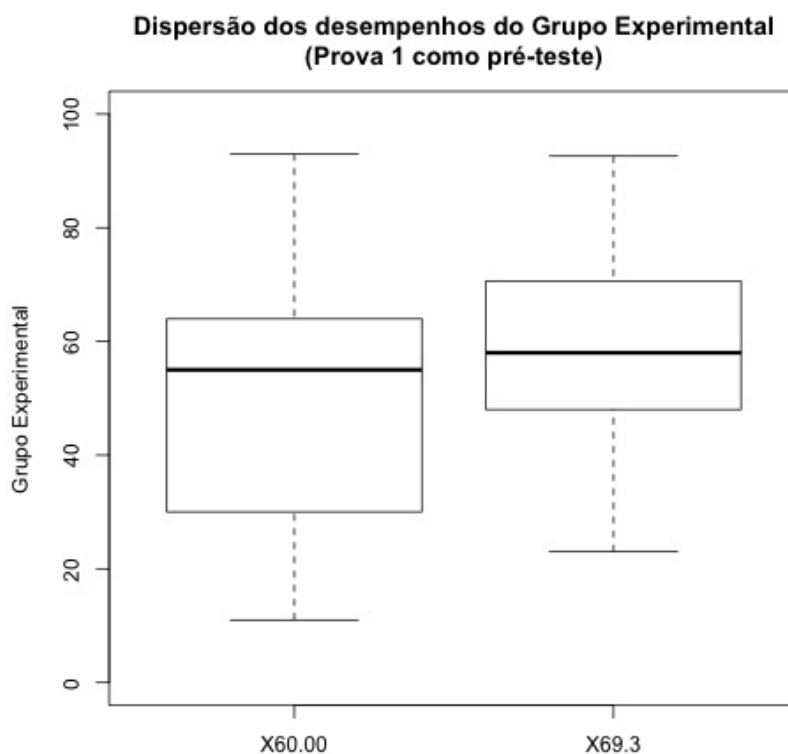


Figura 43 – Dispersão das notas obtidas (prova 1 e média final) pelo grupo GE.

utilizaram a ferramenta FARMA-ALG ao serem consideradas as médias finais obtidas pelos alunos. Entretanto, ao se analisar os dados das tabelas 1 e 2, percebe-se que o GE teve uma melhora crescente durante as provas, embora a média final tenha ficado abaixo do pré-teste. E, com exceção da primeira prova, o GE teve médias melhores que o GC.

Se, por um lado, ao se considerar as notas do pré-teste, o GC é o único que exhibe diferenças no desempenho entre os pré e pós-teste, por outro, a situação se inverte ao se tomar as notas da prova 1 como pré-teste. Portanto, levando-se em conta apenas o conteúdo ensinado durante a disciplina e não os conteúdos avaliados pelo pré-teste, o GE apresenta diferenças que indicam uma melhora no aproveitamento de seus alunos. Isso é reforçado pela análise das médias obtidas pelo grupo nas provas 2 e 3, as quais foram maiores do que a da primeira prova. O mesmo não pode ser observado no GC, para o qual houve uma queda entre a média da primeira prova e as médias da terceira prova e da média final. Mais experimentos semelhantes são necessários para se definir qual análise seria a mais relevante: considerar um pré-teste com conteúdos anteriores aos da disciplina ou apenas admitir os conteúdos ministrados durante as aulas.

Ao tratar os dados segundo um viés empírico, outras conclusões podem ser alcançadas. A primeira delas é o fato de que a ferramenta FARMA-ALG pode ter contribuído para a melhora nas notas do GE durante a segunda prova. Mais especificamente, no pe-

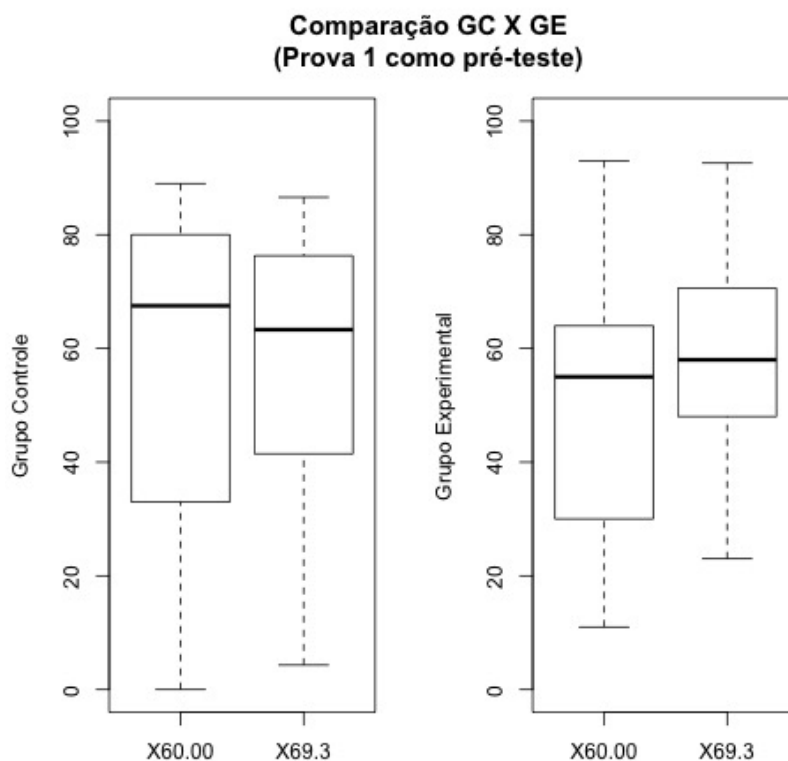


Figura 44 – Comparação das notas obtidas (prova 1 e média final) pelos grupos GC e GE.

ríodo entre as provas 1 e 2 a ferramenta FARMA-ALG foi utilizada de maneira mais apropriada pelos alunos e pelo monitor da disciplina. As respostas submetidas pelos alunos já apresentavam uma melhor qualidade e já não havia manifestação de erros causados por falta de ambientação com a ferramenta. Foi exatamente nesse contexto que, de acordo com as notas das provas 1 e 2, o GE obteve a maior melhora entre as notas, enquanto o GC apresentou uma queda. Vale ressaltar, também, que existe um salto no nível de dificuldade exibido entre as provas 1 e 2. Ao que parece, o GE foi capaz de absorver o aumento de complexidade do conteúdo da disciplina mais satisfatoriamente.

Além disso, outra conclusão pode ser formulada ao se analisar as notas dos primeiros semestres dos anos anteriores da mesma disciplina. A partir desses dados é possível notar que, historicamente, são raros os casos em que a turma obtém uma média melhor na segunda prova quando comparado com a primeira. Apenas 2 turmas de 11 observadas apresentaram esse comportamento (exibido também pelo GE).

O outro ponto que merece reflexão é taxa de desistência enfrentada pela disciplina no decorrer dos anos. Novamente, ao se observar os dados históricos da mesma disciplina, tem-se que o GE teve a terceira menor taxa de desistência entre os anos considerados. A Tabela 3 mostra as taxas de desistência verificadas nos últimos anos da disciplina em questão.

Tabela 3 – Tabela ordenada do histórico da taxa de desistência para a disciplina de Algoritmos e Estruturas de Dados I

Turma	Taxa de desistência
2010/1-A	7.69%
2013/1-A	12.50%
2015/1-A (GE)	25.42%
2013/1-B	29.79%
2011/1-A	31.67%
2011/1-C	37.50%
2014/1-B	37.50%
2013/1-C	37.84%
2015/1-B (GC)	38.59%
2014/1-C	39.39%
2011/1-B	48.15%
2010/1-B	59.02%
2014/1-A	68.12%

Assim, nota-se uma menor taxa de desistência para os alunos que utilizaram o FARMA-ALG. Até mesmo os alunos com notas significativamente baixas no GE continuaram na disciplina até a conclusão do semestre. Comportamento não observado no GC, no qual apenas os alunos com notas relativamente melhores deram continuidade ao curso.

Em suma, a despeito da análise estatística não ter indicado diferenças entre as notas dos pós-testes dos grupos GC e GE, a análise empírica dos dados produz indícios para a confirmação de que a ferramenta FARMA-ALG tenha contribuído positivamente no desempenho dos alunos. Certamente, novos testes devem ser realizados para que a confirmação dessa hipótese seja alcançada. Porém, não se podem descartar os sinais positivos levantados pelo presente experimento.

6.1.6 Dados coletados

Durante o experimento realizado, uma série de dados de uso da ferramenta FARMA-ALG foram coletados, os quais são expostos na Tabela 4. Linhas preenchidas com “–” indicam operações não disponíveis ao tipo de usuário em questão.

A partir da Tabela 4, reúnem-se indícios de que a ferramenta obteve um grau de utilização satisfatório. Especificamente, o alto número de visualização de respostas (rápida e completa) e de visualização de mensagens apontam para a compreensão de que a mediação realizada pelo monitor da disciplina através da ferramenta promoveu a reflexão dos alunos. A Figura 45 exibe a correlação entre mensagens enviadas pelo monitor da disciplina e a quantidade de visualizações de respostas para cada semana do experimento. As semanas em que houveram mensagens enviadas estão marcadas em amarelo. Através dos resultados apresentados fica evidente a correlação positiva entre a

Tabela 4 – Dados de uso da ferramenta FARMA-ALG coletados durante o experimento

Tipo	Professor	Alunos	Total
Mensagens enviadas	12	0	12
Recomendações repassadas para alunos	8	0	8
Visualização de mensagem	22	643	665
Visualização rápida de resposta	575	359	934
Visualização completa de resposta	305	373	678
Cliques no botão “fazer nova tentativa”	–	91	91
Visualização rápida de aresta do grafo	120	–	120
Criação manual de aresta no grafo	40	–	40
Aceitação de aresta no grafo	22	–	22
Rejeição de aresta no grafo	18	–	18
Busca simples	70	48	118
Visualização de linha do tempo	31	12	43
Busca por <i>tag</i>	56	–	56
Busca na visualização do grafo	75	–	75
Classificação de resposta	41	–	41
Aceitação de classificação automática de resposta	15	–	15
Remoção de classificação automática de resposta	32	–	32
Rejeição de classificação automática de resposta	78	–	78
Visualização do grafo de respostas	63	–	63
Visualização de respostas similares no grafo	11	–	11
Visualização de componente conexa no grafo	8	–	8
Visualização de estatísticas da turma	135	–	135
Visualização de estatísticas do aluno	17	2091	2108
Visualização de estatísticas de O.A.	15	511	526
Visualização de estatísticas de Questão	180	365	545
Visualização de estatísticas de quadro geral da turma	103	–	103
Comentários realizados em respostas	70	3	
Respostas submetidas	–	3693	
Quantidade de usuários	1	63	

mediação do professor e a participação dos alunos. A quantidade de cliques no botão “fazer nova tentativa”, o qual é exibido na visualização completa de respostas, também sugere que, por várias vezes, alunos realizaram novas tentativas de resposta ao observarem suas respostas e comentários do professor. Outro ponto importante que pode ser observado é a boa interação dos alunos com as funcionalidades de busca (simples e linha do tempo).

Além da análise estatística apresentada, os dados coletados durante a disciplina observada possibilitaram a realização de outros experimentos. A seguir são descritos seus resultados.

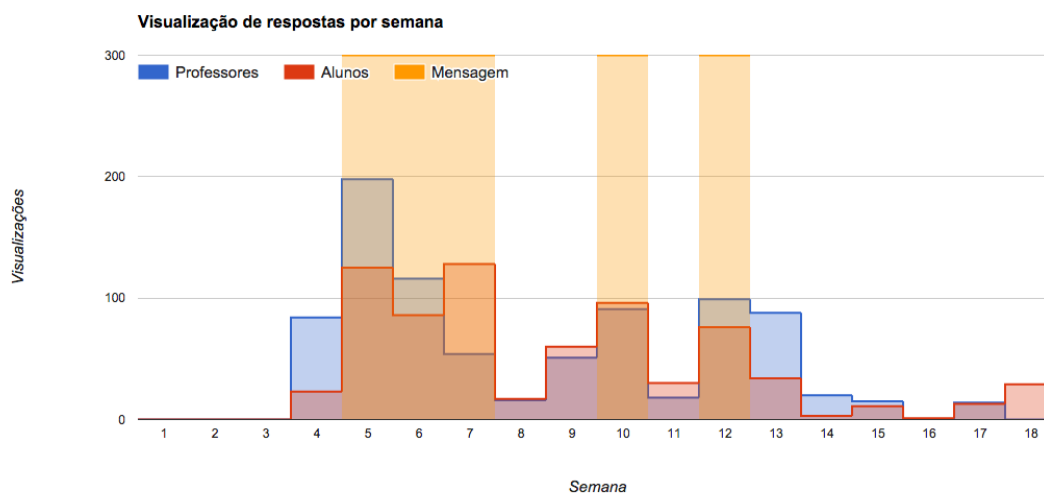


Figura 45 – Quantidade de visualizações de respostas por semana.

6.2 Visão dos alunos sobre a mediação do erro

Com o objetivo de conhecer a concepção dos alunos sobre a mediação do erro e de atrelar as conclusões teóricas obtidas com o estudo à prática educativa, um breve questionário foi aplicado aos mesmos alunos observados no primeiro experimento apresentado anteriormente. O questionário estava disponível na internet e sua realização era voluntária. Apenas foram enviados e-mails incentivando a participação dos alunos.

As oito perguntas presentes no questionário se referiam às impressões e experiências dos alunos com relação a mediação do erro durante sua aprendizagem. O questionário completo pode ser encontrado no Anexo E dessa tese. Com exceção de apenas duas questões, as respostas esperadas pelo questionário eram do formato de escala, onde os alunos deveriam escolher um valor entre 1 e 5 de acordo com o critério exposto na pergunta. A intenção desse tipo de questão era proporcionar uma maior liberdade às respostas dos estudantes, mas sem que as opções se tornassem muito amplas, garantindo, assim, a possibilidade de uma análise estatística posterior.

Nesse contexto, durante o primeiro semestre de 2015, 52 alunos responderam o questionário. Dentre esses, 37 estavam em plena utilização do sistema FARMA-ALG durante a aplicação da pesquisa como ferramenta de apoio à disciplina de Algoritmos e Estruturas de Dados I, e 15, também cursando a mesma disciplina, não tinham acesso ao FARMA-ALG. Os sumários das respostas colhidas para cada questão são apresentados nas Figuras 46 até 53.

A primeira pergunta visava obter uma breve noção da importância dada pelos alunos à mediação do erro durante a aprendizagem. Os resultados apresentados na Figura 46 demonstram que a grande maioria dos estudantes considera a mediação do erro como muito importante. O que reforça a relevância de estudos para a facilitação desse processo.

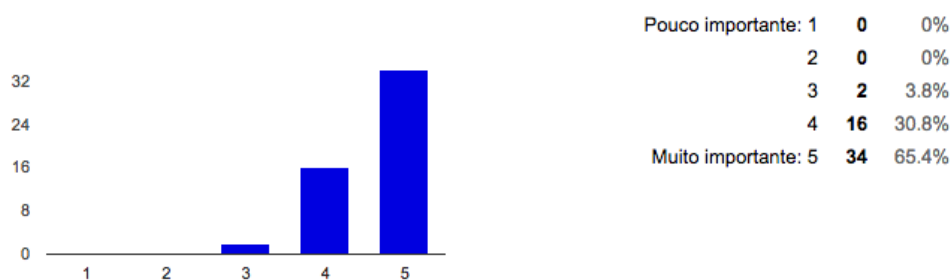
O quão importante é, para você, a análise de respostas erradas (erros) durante sua aprendizagem?

Figura 46 – Sumário das respostas para a primeira pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

Com que frequência você costuma analisar seus próprios erros nas atividades escolares/universitárias?

Figura 47 – Sumário das respostas para a segunda pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

A pergunta seguinte questionava aos alunos sobre a frequência com que realizavam a análise dos seus próprios erros. Nesse caso, a maioria das respostas se distribuíram sobre os valores de 3 à 5. Isso indica que os alunos que responderam o questionário costumam rever seus erros com uma frequência entre média e alta. Apenas 2 alunos afirmaram não ter um costume de analisar seus erros com tal frequência.

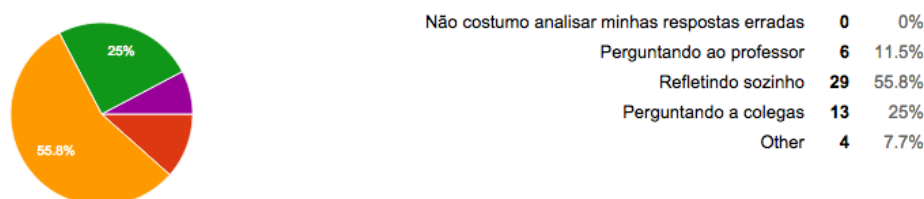
De que maneiras você costuma analisar suas repostas erradas?

Figura 48 – Sumário das respostas para a terceira pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

A terceira pergunta dava diferentes opções de escolha para que os alunos determinassem de que forma a análise dos próprios erros ocorria na maioria das vezes. Aqui, de acordo com os resultados apresentados na Figura 48, pode-se perceber algo de certa forma preocupante. A grande maioria dos alunos questionado apontou a opção “Refletindo sozinho” como a forma predominante de análise. Considerando a teoria apresentada nos Capítulos anteriores dessa tese, fica claro que a mediação do erro sem a participação

do professor se torna fragilizada. E, baseado nas respostas dos alunos, tem-se que a forma de análise do erro com participação do professor (“Perguntando ao professor”), é preferida ao questionamento a outros colegas (“Perguntando aos colegas”). Dessa maneira, constata-se a importância de uma maior participação dos professores na mediação do erro de seus alunos. Salientando, mais uma vez, a necessidade de sistemas computacionais que auxiliem professores nessa tarefa.

Na sua opinião, quão relevante seria uma ferramenta computacional para facilitar a análise de suas respostas?

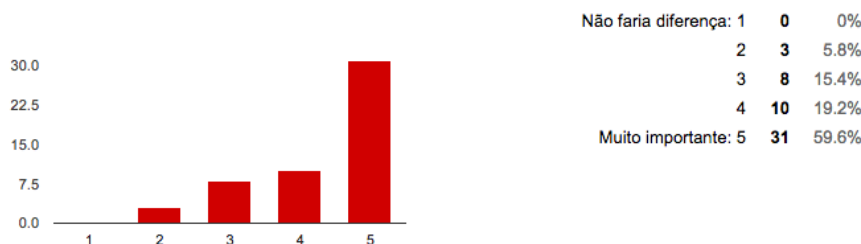


Figura 49 – Sumário das respostas para a quarta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

As respostas à quarta questão apontam com clareza a concepção dos alunos de que uma ferramenta computacional seria de grande relevância no auxílio à análise dos erros. Mais da metade dos alunos considerou a existência de tal ferramenta como “muito importante”.

Com que frequência seus professores costumam analisar respostas erradas?

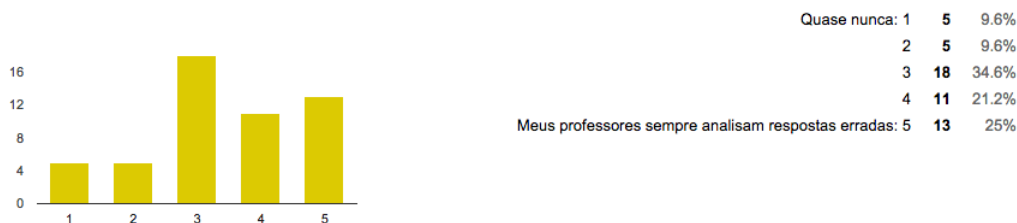


Figura 50 – Sumário das respostas para a quinta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

As quatro últimas perguntas do questionário objetivavam estabelecer um panorama de como os alunos percebiam o trabalho de mediação do erro de seus professores. Assim, a quinta questão abordou a frequência com que os estudantes percebiam tal mediação. Nesse caso, a maior parte deles apontou uma frequência média. Algo entre “Quase nunca” e “Sempre”. Quase metade dos alunos respondeu com os valores 4 e 5, indicando que seus professores comumente realizam a mediação do erro. Entretanto, é importante notar, também, que cerca de 20% dos estudantes classificou a análise dos erros por seus professores com valores 1 e 2. Ou seja, embora grande parte perceba a mediação do erro com uma alta frequência, uma parcela expressiva dos alunos discorda dessa visão.

Ambas as visões apresentadas pelos alunos para essa questão indicam pontos valiosos para a presente tese. Por um lado, o fato da maioria das respostas serem de valores

entre 3 e 5, descrevem um cenário em que a mediação do erro é executada com frequência. Nesse sentido, nota-se um campo fértil para pesquisas computacionais para o auxílio dessa tarefa. Por outro lado, os valores entre 1 e 2 mostram a necessidade, também importante, de se motivar professores para a mediação do erro. A não mediação do erro resulta, de maneira geral, da (e na) já descrita visão negativa presente no ideário docente. Portanto, ressalta-se, mais uma vez, que tal visão deve ser superada e que uma ferramenta computacional que auxilie na mediação do erro pode impulsionar esse processo.

Na sua opinião, qual a importância que seus professores dão às respostas erradas de seus alunos?

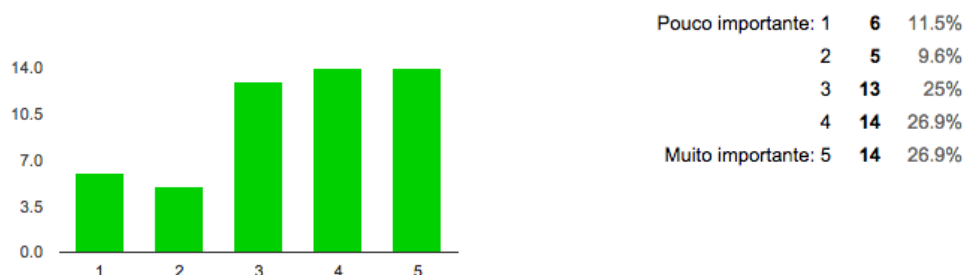


Figura 51 – Sumário das respostas para a sexta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

As repostas obtidas pela quinta questão estão em consonância com os resultados apresentados pela questão seguinte. Nesta, perguntou-se aos alunos sobre a sua percepção da importância dada por seus professores aos erros dos alunos. Mais uma vez, a maioria das respostas se distribuíram entre os valores de 3 a 5. Portanto, conclui-se que os alunos percebem que o grau de importância da mediação do erro manifestado pelos professores está entre “média” e “alta”. Porém, ainda nota-se que cerca de 20% dos alunos discordam dessa visão. Constata-se, assim, que existe uma carência no trabalho dos professores, no que se refere à mediação do erro.

Qual o seu sentimento sobre questionar o professor referente à alguma resposta incorreta?

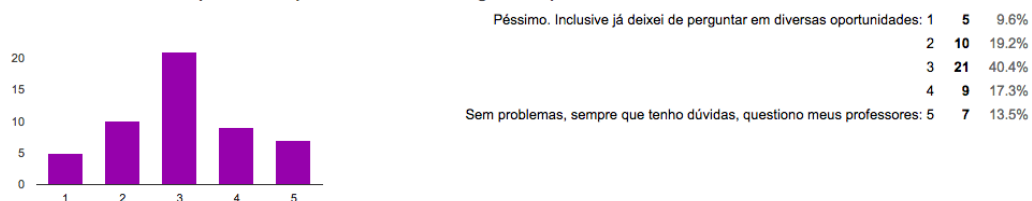


Figura 52 – Sumário das respostas para a sétima pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

Os resultados obtidos pela sétima pergunta são expressivos. Ao questionar aos alunos sobre seu sentimento no momento que em precisam manifestar alguma dúvida ao professor durante a aprendizagem, poucos afirmaram não ter problemas com isso e que costumam realizar perguntar ao professor. A grande maioria dos alunos se posicionou com um sentimento mediano, entre “péssimo” e “sem problemas”.

Nesse ponto, é necessário uma breve análise com relação ao significado do questionamento dos alunos durante a mediação do erro. Sem uma abertura para que as perguntas dos alunos aconteçam, professores tem suas possibilidades de mediação reduzidas. A manifestação de dúvidas pode trazer à tona uma necessidade de análise de algum erro. Como visto nos Capítulos anteriores, o professor não é capaz de analisar e/ou organizar todas as respostas dadas por seus alunos. Portanto, a enunciação de uma dúvida é um momento em que o professor tem acesso a um indício sobre em que ponto do conteúdo a mediação do erro deve agir.

Dessa forma, a constatação de que a maioria dos alunos se sente de maneira mediana com relação à segurança de perguntar algo ao professor sugere a necessidade de possibilitar uma melhor comunicação entre professor e aluno. Certamente, para que a mediação do erro ocorra de maneira ideal, a grande maioria das respostas deveria ter valor 5. Alunos não deveriam ter qualquer receio em levantar dúvidas. Entretanto, o que se percebe é uma realidade muito mais preocupante. Mais de um quarto dos alunos questionados afirmam ter problemas para perguntar suas dúvidas e que, inclusive, já deixaram de indagar seus professores em oportunidades anteriores.

Alguns de seus professores já utilizaram ferramentas para facilitar a análise das respostas da turma?



Figura 53 – Sumário das respostas para a oitava pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

Por fim, a oitava e última pergunta do questionário visava a constatação do uso de alguma ferramenta computacional para o auxílio da mediação do erro durante o trabalho educativo vivenciado pelos alunos. Os resultados obtidos apontam que mais de 80% dos alunos nunca tiveram professores que utilizaram alguma ferramenta do tipo. Os poucos alunos que já tiveram alguma experiência com ferramentas para facilitar a análise das respostas da turma citaram o próprio FARMA-ALG (o qual já havia sido utilizado por poucos alunos no semestre anterior) e o software Moodle. Nota-se, assim, que, embora os alunos tenham salientado, na quarta questão, que consideram muito importante ferramentas desse tipo, docentes ainda carecem de opções relevantes e de motivação para o uso de softwares para a mediação do erro.

Como mencionado, dentre os alunos questionados, 15 não tiveram acesso à ferramenta FARMA-ALG durante o semestre em que o questionário foi aplicado. Ao se analisar isoladamente as respostas desse grupo de alunos, pode-se perceber algumas diferenças. Os sumários das respostas dadas por tal grupo são apresentados nas Figuras 54 até 61.

O quão importante é, para você, a análise de respostas erradas (erros) durante sua aprendizagem?

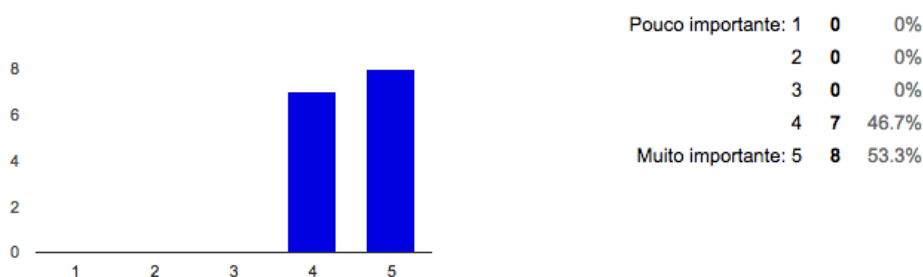


Figura 54 – Sumário das respostas para a primeira pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).

Com que frequência você costuma analisar seus próprios erros nas atividades escolares/universitárias?

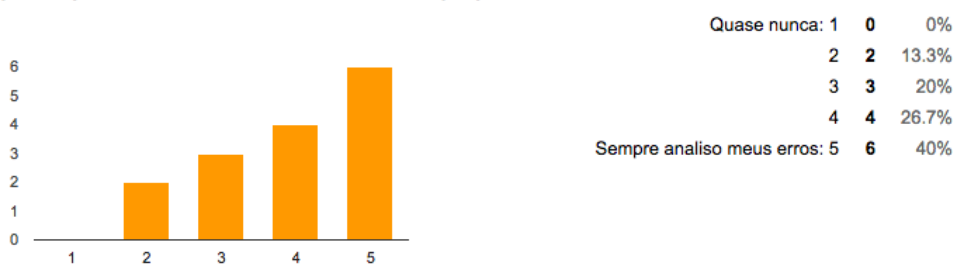


Figura 55 – Sumário das respostas para a segunda pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).

De que maneiras você costuma analisar suas repostas erradas?

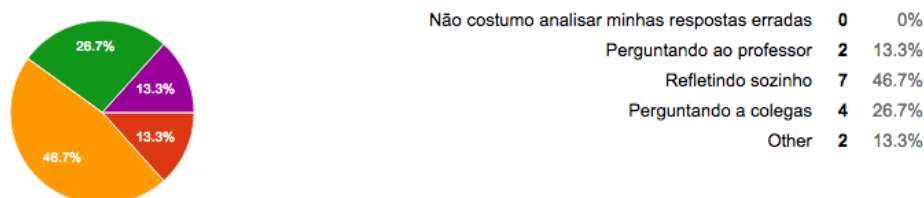


Figura 56 – Sumário das respostas para a terceira pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).

As questões 4, 5 e 6 são as que apresentam diferenças relevantes em suas respostas quando comparadas ao grupo completo de alunos. Em primeiro lugar, na questão 4, nota-se um maior ceticismo por parte dos alunos de que uma ferramenta computacional para o auxílio na mediação do erro seria relevante. Embora a maioria tenha se respondido que tal ferramenta seria muito importante, mais de 40% dos alunos responderam com valores 2 e 3. A razão dessa diferença pode estar, justamente, na mudança de percepção proporcionada pelo uso de uma ferramenta do tipo. Os alunos que já haviam tido contato como o FARMA-ALG podem ter vivenciado diferentes oportunidades em que a ferramenta se mostrou útil na análise de seus erros. Já os alunos sem acesso ao FARMA-ALG, por não terem tido acesso a outras ferramentas para mediação do erro (como mostra o sumário da questão 8; ver Figura 61) podem não ter a concepção de como um sistema computacional poderia ajudá-los na análise de seus erros.

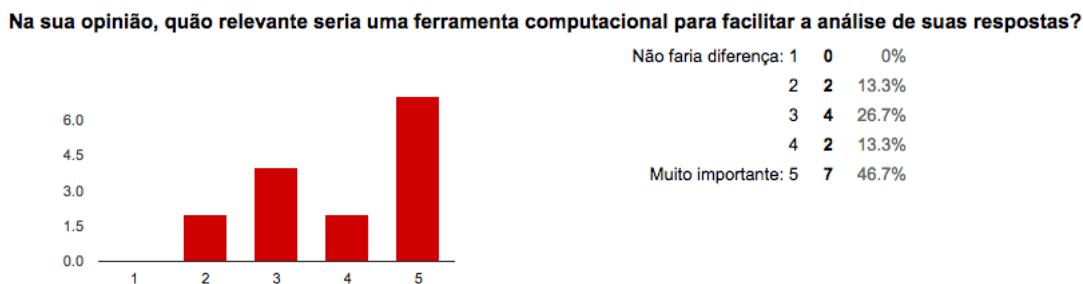


Figura 57 – Sumário das respostas para a quarta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).

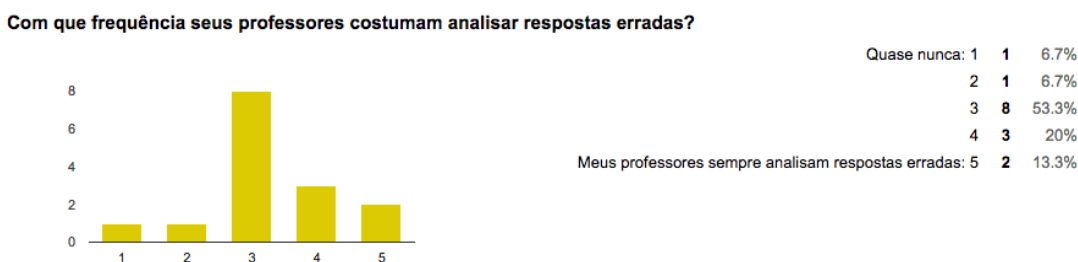


Figura 58 – Sumário das respostas para a quinta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).



Figura 59 – Sumário das respostas para a sexta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).

Os resultados da quinta questão mostram que houve um deslocamento das respostas para os valores medianos. Ao contrário das respostas apresentadas por alunos com contato com o FARMA-ALG, as quais se concentram em entre os valores 3, 4 e 5, as respostas de alunos sem acesso à ferramenta se posicionam em sua maioria sobre o valor 3. Ou seja, esse segundo grupo de alunos percebe com menor frequência a mediação do erro por seus professores. Mais uma vez, o uso da ferramenta FARMA-ALG pode ter contribuído para essa diferenciação.

Ao utilizar o FARMA-ALG, alunos notam uma maior participação do professor (no caso desse experimento, do monitor da disciplina) na mediação do erro através das funcionalidades da ferramenta. É possível que o acesso ao instrumento de facilitação de mediação tenha realmente impulsionado a percepção da atividade docente no sentido de

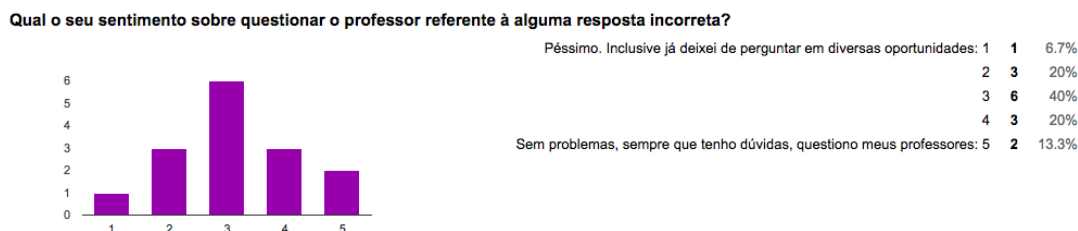


Figura 60 – Sumário das respostas para a sétima pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).

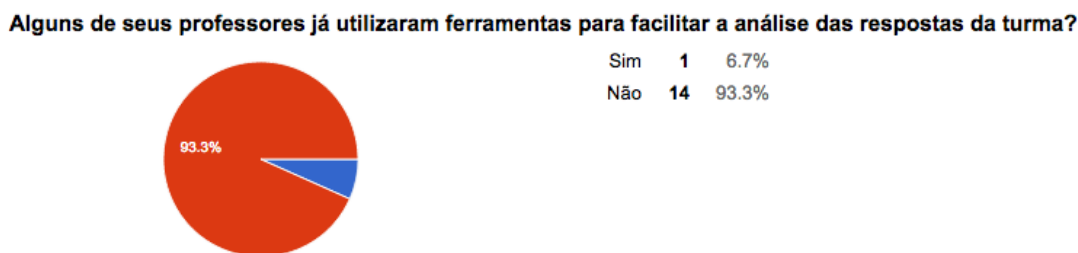


Figura 61 – Sumário das respostas para a oitava pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).

superação das dificuldades impostas à mediação do erro. Sem dúvidas, os dados coletados ainda são escassos para suportar afirmações desse tipo, porém, não se podem negar indícios de que a ferramenta apresentada por essa tese pode, sim, mudar a concepção de professores e alunos sobre a mediação do erro. A diferença de repostas obtidas pelos dois grupos de alunos observados endossam essa hipótese, indicando que o grupo sem acesso à ferramenta percebe uma menor frequência de mediação do erro por seus professores.

As respostas à questão 6, por sua vez, permitem uma análise semelhante. Enquanto o primeiro grupo considera que seus professores apresentam, em média, uma alta preocupação com o erro de seus alunos, o segundo grupo não é tão otimista e se concentra em valores mais medianos em sua resposta. Portanto, a mesma análise conferida a questão anterior, pode ser reproduzida esta. O uso da ferramenta FARMA-ALG pode ter proporcionado um contato maior dos alunos com a mediação de seus erros, influenciando as respostas do questionário.

Em suma, os resultados obtidos através da aplicação desse questionário aos alunos permitiu a constatação de que, embora alunos considerem a mediação do erro um ponto importante de sua aprendizagem, sua realização ainda não é ideal. Em geral, alunos tem receio de manifestar suas dúvidas aos professores e quantidades significativas dos estudantes não percebem com otimismo nem a frequência da mediação recebida nem a importância dada por professores aos seus erros. É possível, ainda, constatar indícios de que a utilização de um software capaz de facilitar a tarefa de mediação do erro pode proporcionar mudanças nas repostas obtidas, em direção à promoção dessa mediação.

6.3 Impressões dos alunos sobre o uso do FARMA-ALG

Um segundo questionário foi aplicado somente aos alunos que utilizaram o FARMA-ALG. Novamente, a realização do questionário, que estava disponível na internet, era voluntária. Por ter sido disponibilizado apenas ao final do semestre letivo, um número pequeno de alunos respondeu ao questionário. Dos 63 alunos registrados na ferramenta durante o semestre, apenas 9 submeteram suas respostas. O questionário completo pode ser encontrado no Anexo F.

Apesar da pequena participação dos alunos a análise dos resultados obtidos se mostra relevante para uma primeira análise da ferramenta proposta na presente tese. Assim, as Figuras 62 até 65 apresentam o sumário de cada uma das perguntas presentes no questionário.

Você considera que o uso do Farma-Alg facilitou o seu acesso as suas respostas?

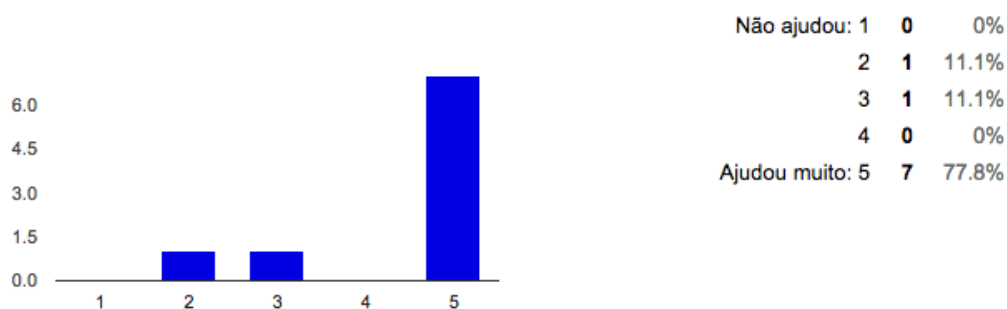


Figura 62 – Sumário das respostas para a primeira pergunta do questionário para alunos sobre as impressões da ferramenta FARMA-ALG.

A primeira questão investiga se, na opinião dos alunos, o FARMA-ALG foi capaz de facilitar o acesso às respostas dos próprios estudantes. Como exhibe a Figura 62, mais de 75% dos alunos consideraram que a ferramenta “ajudou muito” no acesso à respostas. Esse valor expressivo permite concluir que o FARMA-ALG atingiu seu objetivo básico que é armazenar e recuperar de maneira simples as respostas de todos os alunos.

O acesso as suas respostas e os comentários recebidos pela ferramenta, ajudaram na sua reflexão sobre suas respostas incorretas?

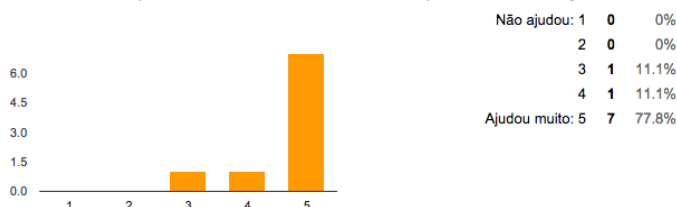


Figura 63 – Sumário das respostas para a segunda pergunta do questionário para alunos sobre as impressões da ferramenta FARMA-ALG.

Os benefícios que esse acesso às respostas e a própria mediação do professor proporcionam, foram objetos de análise da segunda pergunta. A partir dos resultados coletados, novamente, mais de 75% dos alunos consideraram que tanto o acesso quanto os comentários

deixados pelo professor (monitor da disciplina) “ajudaram muito” a reflexão dos alunos sobre seus erros.

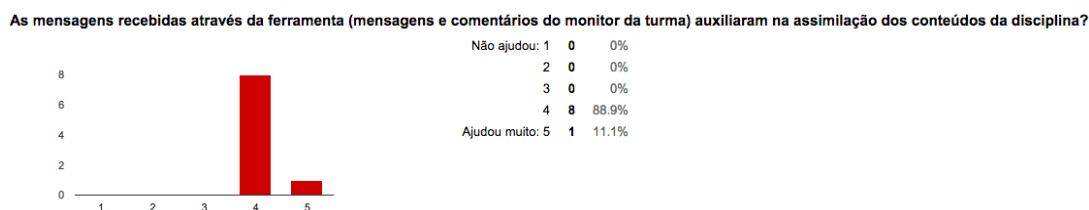


Figura 64 – Sumário das respostas para a terceira pergunta do questionário para alunos sobre as impressões da ferramenta FARMA-ALG.

A terceira questão, por sua vez, avaliou a impressão dos alunos sobre as mensagens enviadas pelos monitores da turma através da ferramenta. A maior parte dos alunos respondeu com um valor 4, indicando que esses recursos auxiliaram de maneira relevante a assimilação dos conteúdos da disciplina.

Por fim, a quarta questão visou estabelecer quais funcionalidades do FARMA-ALG mais contribuíram para a aprendizagem dos alunos. Dentre as opções dadas, cada aluno pôde escolher até 3 opções. O resultado é apresentado na Figura 65.

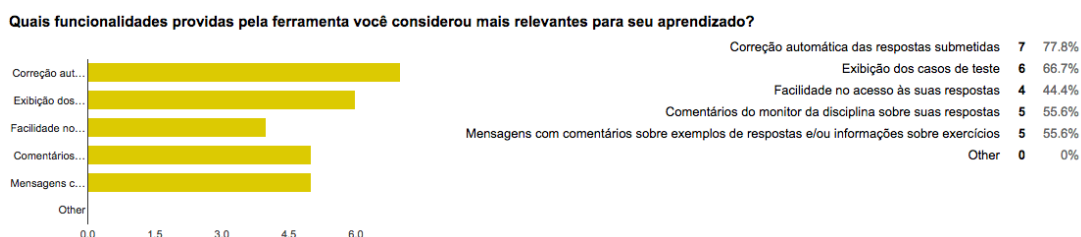


Figura 65 – Sumário das respostas para a quarta pergunta do questionário para alunos sobre as impressões da ferramenta FARMA-ALG.

A funcionalidade mais escolhida pelos alunos foi “Correção automática das respostas submetidas” seguida das “Exibição dos casos de teste”. Essas funcionalidades proporcionam importantes instrumentos para a reflexão dos alunos. Especialmente no ensino de programação de computadores, onde a percepção da correlação entre entrada, resposta e saída obtida é um importante conceito. Comentários sobre as respostas e mensagens com observações sobre exemplos de respostas receberam o mesmo número de votos. O acesso às próprias respostas do aluno foi a funcionalidade com o menor número de votos. Isso talvez se deva ao fato de que o simples acesso às respostas, em geral, não é suficiente para produzir a superação de conceitos incorretos do aluno. Daí a mediação proporcionada pelos comentários de professores através da ferramenta serem considerados mais importantes nas respostas do questionário.

Os resultados relatados produzem indícios que apontam para a confirmação da funcionalidade esperada da ferramenta FARMA-ALG. Os poucos alunos que responderam

as perguntas consideraram que a ferramenta e suas funcionalidades foram capazes de impactar positivamente tanto na análise dos erros dos alunos quanto na assimilação dos conteúdos ministrados.

6.4 Verificação do Algoritmo de Recomendação de Respostas

O algoritmo de recomendação de respostas descrito na Seção 4.3.3 foi implementado e testado através da ferramenta FARMA-ALG. Dessa forma, duas sessões de testes foram realizadas. A primeira visou analisar como o algoritmo reagiria ao ser executado sobre um conjunto real de dados e, empiricamente, a qualidade das recomendações geradas. A segunda sessão de testes foi realizada sobre os dados colhidos pelo experimento descrito anteriormente na Seção 6.1. Portanto, nessa segunda observação, considerou-se um período maior de tempo para a participação dos alunos e teve como objetivo analisar o comportamento do algoritmo para diferentes tamanhos de conjuntos de dados.

Durante a primeira sessão de testes a ferramenta foi utilizada durante ocorrências de atividades de apoio para uma disciplina de ensino de programação. No total, 53 estudantes, organizados em 3 turmas virtuais, C_1 , C_2 e C_3 , registraram-se no sistema e um conjunto de 725 respostas (138 corretas e 587 incorretas) foram coletadas. As turmas tinham, respectivamente, 18, 15 e 20 alunos e acesso à 22, 22 e 3 questões na ferramenta FARMA-ALG. Apenas respostas incorretas foram consideradas para a geração de recomendações.

Nesse contexto, três grafos de similaridade diferentes foram gerados, uma para cada turma. O algoritmo de recomendação foi, então, executado apenas uma vez e foi capaz de produzir, para a turma C_1 (237 respostas incorretas), um total de 8 recomendações para 3 grupos de 3 alunos cada. A turma C_2 (35 respostas incorretas), por sua vez, recebeu 2 recomendações para um único grupo de 7 alunos. Por fim, a terceira turma, C_3 (315 respostas incorretas), obteve 4 recomendações para 2 grupos de 7 alunos cada. De todas as 14 recomendações geradas pelo algoritmo, 10 foram repassadas aos alunos por seus professores (monitores da disciplina). A Tabela 5 apresenta o sumário desses dados.

Tabela 5 – Sessão de testes 1

	C_1	C_2	C_3
Alunos	18	15	20
Grupos	3/3	1/7	2/7
Recomendações	8	2	4
Recomendações Aceitas	6	1	3
Questões	22	22	3
Respostas incorretas	237	35	315

Como esperado, a qualidade das recomendações geradas dependem fortemente da qualidade da função de similaridade implementada. Entretanto, mesmo com uma função de similaridade relativamente simples como a apresentada na Seção 5.2.3.1, as recomendações geradas, na maioria dos casos, foram bem recebidas pelos monitores.

O conjunto de dados relativamente pequeno gerou impactos nos resultados do algoritmo. O cenário ideal para o algoritmo apresentado seria que todos os alunos tivessem respondido todas as questões disponíveis para suas turmas. Entretanto, isso não se reflete na realidade. Por esse motivo, para definir o grau de similaridade entre dois alunos, apenas questões que ambos tenham respondido foram consideradas. Assim, em um mesmo grupo, podem existir alunos que responderam a questões completamente diferentes, ocasionando, inclusive, ausência de questões relevantes para certos grupos. Uma abordagem para diminuir este problema e tornar as recomendações mais relevantes é considerar apenas as componentes conexas completamente conectadas presentes no grafo de similaridade de alunos. Entretanto, essa estratégia pode reduzir drasticamente o número de grupos encontrados e, conseqüentemente, o número de recomendações possíveis.

A segunda sessão de testes fez uso de um período mais longo de análise. Um conjunto de 63 alunos, organizados em uma única turma, interagiram durante 80 dias com o sistema, e submeteram 3211 respostas (2415 incorretas e 796 corretas). Durante este período, o algoritmo foi executado várias vezes por dia, gerando, ao passar do tempo, diferentes conjuntos de recomendação. Os dados foram armazenados no decorrer deste processo.

Duas limitações foram impostas ao algoritmo durante esta sessão de testes. (1) para cada resposta, apenas as 10 arestas de maior peso foram mantidas no grafo. Ou seja, o grau máximo do grafo de respostas foi limitado em 10, sendo mantidas apenas as relações de maior similaridade. E, (2) dado o conjunto a_1, a_2, \dots, a_n de tentativas de respostas de um aluno qualquer para uma dada questão, apenas as repostas $a_1, a_{\frac{n}{2}}$ e a_n foram consideradas. Isto é, para cada aluno, apenas um conjunto de no máximo 3 respostas para cada questão foram utilizadas pelo algoritmo: a primeira tentativa, uma intermediária e a última. Essas medidas foram realizadas para diminuir o tempo de execução do algoritmo.

Análises dos resultados obtidos pelo algoritmo proposto foram realizadas em diferentes momentos do experimento. Buscou-se expor seu funcionamento para diferentes números de respostas e questões. Os dados coletados durante o experimento estão descritos na tabela 6. Cada linha representa um momento de coleta de dados. Cada coluna exhibe os dados obtidos para cada um desses momentos. Os dados apresentados são, respectivamente: total de respostas submetidas, total de respostas incorretas submetidas, número de questões disponíveis e número de alunos que responderam pelo menos uma questão.

A Figura 66 exhibe o gráfico dos dados de recomendações obtidos para diferentes quantidades de respostas incorretas utilizadas. Nota-se uma tendência de aumento no

Tabela 6 – Sessão de testes 2

Respostas	Respostas Incorretas	Questões	Alunos
3201	2400	17	63
2961	2160	17	63
2721	1920	17	63
2481	1680	13	63
2241	1440	9	59
2001	1200	9	59
1761	960	9	57
1521	720	9	45
1281	480	7	37
1041	240	5	28
901	100	5	13

número de recomendações produzidas pelo algoritmo na medida em que aumentam o número de respostas incorretas e de questões disponíveis. Com o aumento do número de respostas, existe uma maior probabilidade de formação de arestas no grafo de alunos. Assim, mais recomendações acabam por ser geradas.

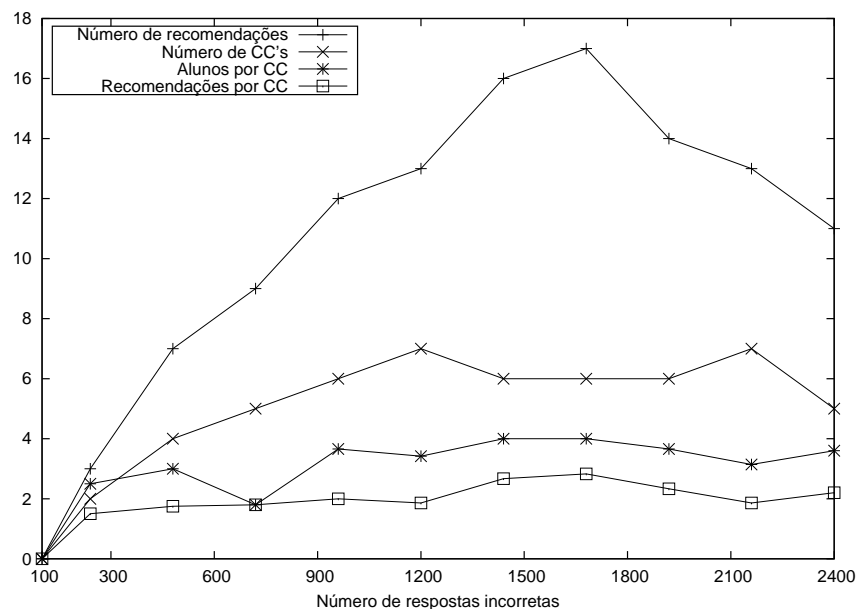


Figura 66 – Dados de recomendação obtidos para diferentes quantidades de respostas incorretas.

Entretanto, essa não é uma relação direta. Como se pode perceber, houve uma queda no número de recomendações geradas para os três últimos momentos do experimento. Essa queda coincide com a disponibilização de novas questões para os alunos.

Neste caso, dois pontos devem ser levados em conta: (1) a inclusão de novas perguntas é um momento em que nem todos os alunos as responderam e (2) as respostas para novas questões de alunos antes considerados semelhantes podem ser tão diferentes que acabam por retirar arestas do grafo de alunos.

O gráfico da Figura 66 aponta, também, o número de componentes conexas (CC) formadas pelo algoritmo, a quantidade média de alunos em cada CC e o número médio de recomendações geradas para uma CC. Nota-se que, a partir de 1000 respostas utilizadas, o algoritmo foi capaz de produzir cerca de 2 recomendações para cada grupo de alunos semelhantes.

Como mencionado na Seção 4.3.3.1, a aresta entre dois estudantes só é adicionada ao grafo se seu peso for maior do que um dado limiar Θ . Tanto para a primeira sessão de testes quanto para a segunda, o valor de Θ foi fixado em 0.8. Porém, o efeito do valor de Θ também foi avaliado utilizando os dados coletados pelo segundo experimento. Levou-se em conta os resultados obtidos para diferentes valores de Θ em ambientes com 240, 1440 e 2400 respostas incorretas. Os gráficos apresentados pelas Figuras 67 e 68 apontam os resultados obtidos.

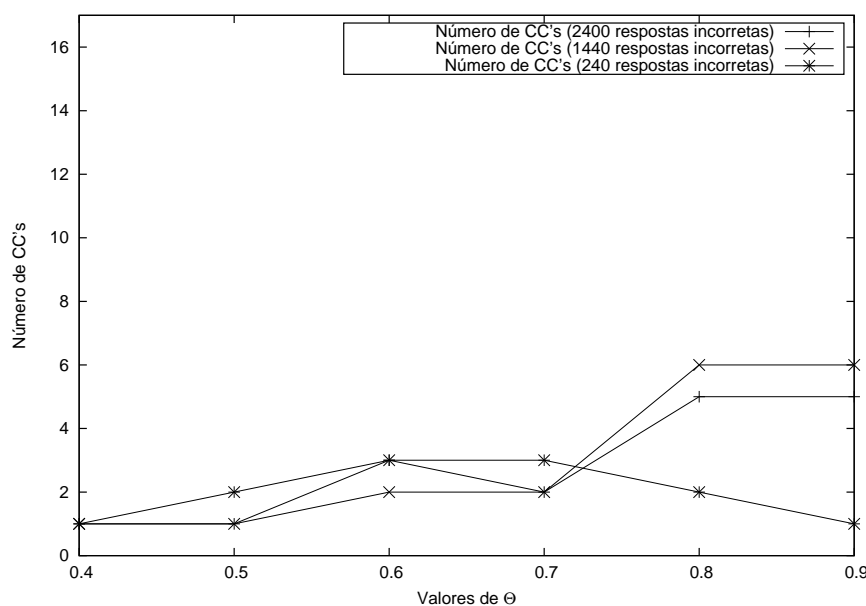


Figura 67 – Número de CC's obtidas para diferentes valores de Θ .

Nota-se que baixos valores de Θ , por permitirem que alunos com pouca similaridade entre si sejam considerados, dificultam a separação da turma em mais componentes conexas. As CC conexas formadas acabam por serem grandes, diminuindo a qualidade das recomendações. Nesse sentido, a Figura 67 mostra que, com o aumento de Θ , o número de

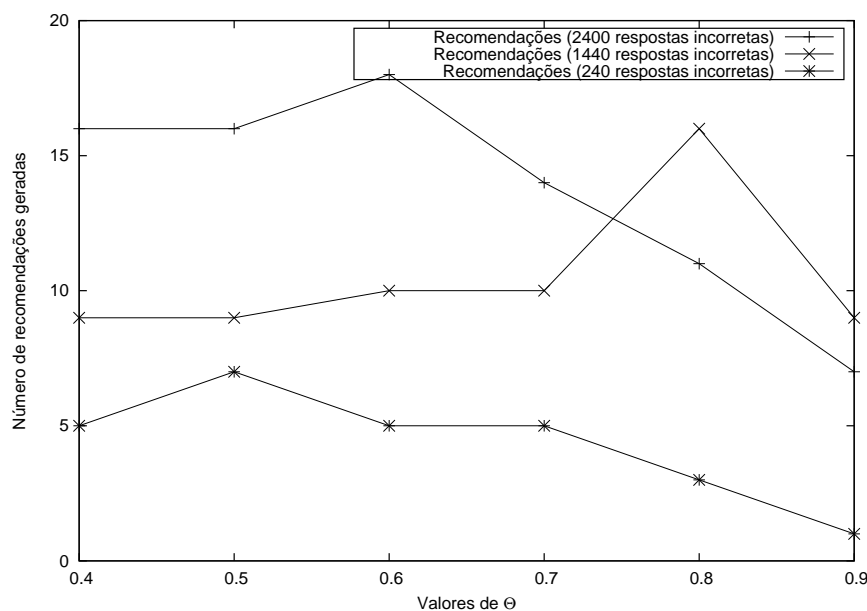


Figura 68 – Número de recomendações obtidos para diferentes valores de Θ .

CC's obtidas também aumenta. Pois com a retirada de arestas, as componentes conexas tendem a se dividirem em componentes menores. Com o aumento de Θ o algoritmo é capaz de realizar uma melhor separação dos alunos em grupos e de refinar a qualidade das recomendações. A Figura 68, por sua vez, aponta o número de recomendações obtidos para diferentes valores de Θ . Neste caso, apenas valores entre 0.8 e 0.9 causaram diminuições expressivas no número de recomendações. Isso se deve ao fato da diminuição brusca de arestas no grafo de alunos.

Os testes realizados indicam que o algoritmo foi capaz de gerar recomendações relevantes em diferentes cenários. O número de recomendações obtidas se mostrou aceitável em todos os momentos verificados. Entretanto, ainda há a necessidade de novos testes com um conjunto de dados mais completo.

Embora os experimentos executados durante essa pesquisa tenham objetivado investigar o máximo de características e impactos do uso da ferramenta FARMA-ALG, alguns itens não foram contemplados. A maior razão para isso foi a falta de tempo hábil para realização de mais experimentos e a dificuldade em encontrar sujeitos dispostos a participar destas investigações.

Nesse sentido, pode-se citar dois importantes experimentos que não foram realizados: (1) impactos do uso da ferramenta FARMA-ALG para professores; e (2) avaliação do algoritmo de classificação semi-automática de respostas. Experimentos para ambas estão planejados para trabalhos futuros a essa tese.

6.5 Contribuições alcançadas

Algumas contribuições para a comunidade científica e para a sociedade em geral foram alcançadas através do trabalho executado durante o desenvolvimento desta tese. Essa Seção, em consonância com o objetivos levantados no Capítulo 1, reúne e descreve as mais relevantes delas.

Um importante resultado obtido é a discussão levantada sobre a mediação do erro e sua contribuição para os processos de ensino e aprendizagem. Procurou-se identificar, com base em uma fundamentação sólida, quais as especificidades do uso do erro durante o trabalho educativo. O produto dessa investigação, descrito ao longo do Capítulo 3, é a apresentação de uma teorização clara da participação da mediação do erro durante o processo de formação de conceitos científicos dos alunos. Disponibiliza-se, dessa forma, suporte para pesquisas futuras com relação ao erro na educação, especialmente na informática educativa.

Nesse mesmo contexto, esta pesquisa promoveu a união entre Pedagogia Histórico-Crítica, a Psicologia Histórico-Cultural e a produção científica de informática educativa. Como foi relatado na Seção 2.3, a contribuição oriunda dessas linhas de pesquisa ainda é rara no campo de pesquisa de computação, sendo esse dominado pelas “pedagogias do aprender a aprender”. Portanto, o papel de ligação entre tais linhas teóricas realizado por este trabalho traz à tona a importante discussão sobre a fundamentação teórica (pedagógica e psicológica) em pesquisas de informática educativa. Contribuiu-se, de maneira incisiva, para esse diálogo, através da apresentação das necessidades de uma fundamentação coerente e da descrição dos pressupostos teóricos da Pedagogia Histórico-Crítica e da Psicologia Histórico-Cultural, os quais guiaram o restante do trabalho.

Com base nessa fundamentação teórica, foram descritas, também, as especificidades do ensino de programação de computadores e da mediação do erro nesse contexto. Assim, através da apresentação de uma nova análise do ensino desse domínio do conhecimento, abrem-se caminhos para diferentes visões e avanços de pesquisas educacionais nesse campo.

Como proposta para intervenção no problema da mediação erro, apresentou-se um arcabouço de sistema para auxiliar e promover tal mediação na educação escolar. Dessa maneira, por meio dessa contribuição, procurou-se ir além da simples constatação de um problema teórico (mediação do erro) e sua descrição, para se alcançar mudanças qualitativas reais no trabalho educativo. O arcabouço descrito nessa tese visa a quebra de paradigma na educação ao favorecer a superação da visão tradicional do erro.

Os resultados materiais mais evidentes obtidos através do arcabouço proposto foram a implementação e a aplicação da ferramenta FARMA-ALG. Através da pesquisa, foi possível a criação de tal ferramenta, a qual é um instrumento robusto para o auxílio e

promoção da mediação do erro no ensino de programação de computadores. Resultados de experimentos apresentados nas Seções 6.1 à 6.4 indicam que a ferramenta foi bem recebida e que pode provocar impactos positivos para a mediação do erro e para o aprendizado dos alunos.

Além disso, como resultado direto da aplicação da ferramenta FARMA-ALG, obteve-se a criação de um rico banco de dados de respostas para exercícios de ensino de programação. Além das respostas propriamente ditas, o conjunto de dados levantado agrega diferentes informações sobre os registros, como dados temporais, classificações semi-automáticas, relações de similaridade, entre outros. No momento de escrita dessa tese, algumas pesquisas da área de computação já fazem uso do banco de dados criado.

Essas e outras contribuições foram compartilhadas com a comunidade acadêmica através da produção de artigos científicos, na busca de suas devidas validações. A Seção seguinte descreve de maneira sucinta os artigos aceitos para publicação originados a partir deste trabalho até o momento.

6.5.1 Publicações

O trabalho descrito na presente tese originou 4 artigos aceitos em conferências científicas nacionais e internacionais. O primeiro deles, aceito no 25^o **Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2014)**, intitulado *Mediação do erro na educação: um arcabouço de sistema para a instrumentalização de professores e alunos* introduz a problemática da mediação do erro na educação escolar e descreve os traços iniciais do arcabouço proposto nessa tese.

O segundo trabalho descreve a ferramenta FARMA-ALG e as especificidades da mediação do erro no ensino de programação de computadores. Foi aceito para publicação na **17th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2015)** e é intitulado *FARMA-ALG: an Application for Error Mediation in Computer Programming Skill Acquisition*.

Os dois últimos trabalhos aceitos até a data de escrita dessa tese, tratam do algoritmo de recomendação de respostas. O primeiro deles, aceito na **15th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2015)**, intitulado *Automatic Recommendation of Students' Answers for Error Mediation*, descreve as linhas gerais do algoritmo. O segundo, por sua vez, aprofunda-se no algoritmo em questão apresentando os primeiros resultados de sua utilização. Este último artigo foi aceito na **X Conferência Latino-Americana de Objetos e Tecnologias de Aprendizagem (LACLO 2015)** e possui o mesmo título do anterior.

7 Considerações Finais

Neste estudo foram expostas as principais dificuldades enfrentadas por professores e alunos no uso do erro como parte fundamental do processo de ensino e aprendizagem. Neste sentido, com base em vários estudos¹, expôs-se a necessidade da mediação do erro na educação escolar, bem como a superação da visão tradicional do erro.

Para tanto, em primeiro lugar, procurou-se instigar a necessidade da tomada de um posicionamento crítico no campo da Filosofia da Educação. Através de um levantamento das principais linhas teóricas presentes nesse campo, foram expostas seus principais conceitos, agregando subsídios para a escolha de uma abordagem norteadora para o restante do estudo: a Pedagogia Histórico-Crítica.

Tendo-se definida uma orientação teórica pedagógica, iniciou-se a investigação do objeto de estudo deste trabalho, a mediação do erro na educação escolar. Dessa forma, a partir de uma revisão histórica da concepção de erro no ideário docente, concluiu-se a forte presença de uma visão negativa deste, com claros traços oriundos da pedagogia tradicional. Nomeada de visão tradicional do erro, essa forma de perceber a falha dos alunos acaba por trazer inúmeras dificuldades para o trabalho educativo, contribuindo em muito para a perpetuação do fenômeno do fracasso escolar. Suas principais consequências foram expostas e analisadas, como a culpabilização do aluno, diagnóstico incorreto de distúrbios de aprendizagem e sua consequente medicalização.

Isto posto, buscou-se, através das bases teóricas fornecidas pela Psicologia Histórico-Cultural, a definição da participação do erro durante o processo de formação de conceitos científicos do aluno. Dessa maneira, apontou-se o erro como parte integrante do processo de construção de conhecimento, sendo ressaltada a indispensabilidade da sua mediação durante a educação escolar.

Nesse contexto, iniciou-se a investigação das possíveis contribuições da Informática Educativa para a problemática do erro no trabalho educativo. Evidenciou-se, através da revisão bibliográfica que as pesquisas existentes na literatura de informática educativa, apesar de considerarem o uso do erro durante o processo de ensino e aprendizagem, não apresentam meios de professores e alunos manipularem registros de resposta. Em geral, os trabalhos apresentam apenas processos de diagnóstico e de remediação automática de erros, sem a participação do professor e sem qualquer análise das relações existentes entre diferentes erros. Por consequência, não se promove a mediação do erro (apenas sua análise empírica individual) e não há instrumentalização de professores e alunos para essa atividade. Outro ponto observado na literatura foi a forte presença de pedagogias

¹ [Serconek \(2011\)](#), [Serconek \(2006\)](#), [Aquino \(1997a\)](#), [Aquino \(1997b\)](#), [Machado \(1997\)](#) entre outros.

alinhadas ao lema “aprender a aprender”, as quais levam a uma valorização da aprendizagem em detrimento da transmissão do conhecimento. Fato que vai contra à abordagem histórico-cultural tomada como referência por esta tese.

A fim de suprir a carência exposta, e com o objetivo de instrumentalizar professores e alunos, foi apresentado um arcabouço de sistema fundamentado na Pedagogia Histórico-Crítica e na Psicologia Histórico-Cultural. Tal arcabouço descreve as linhas gerais de um sistema para a manipulação de registros de respostas que promova a mediação do erro com participação efetiva do professor.

O fundamento tomado como base na definição do arcabouço foi o de que o armazenamento, a recuperação, a visualização e a manipulação de registros de respostas pode promover a mediação do erro e a superação da sua visão tradicional. Cada uma dessas funcionalidades foram expostas em detalhes.

Com objetivo de verificar as reais contribuições providas pelo arcabouço, realizou-se a sua implementação para o domínio do ensino de programação de computadores. Para esse fim, objetivou-se, em um primeiro momento, o estudo da importância da mediação do erro especificamente para tal domínio do conhecimento. Apoiado nas conclusões obtidas, deu-se, assim, origem à ferramenta FARMA-ALG. Detalhes de implementação e funcionamento desta foram exibidos.

Por fim, resultados de diferentes experimentos realizados com a ferramenta FARMA-ALG foram relatados. Dessa maneira, por meio da aplicação da ferramenta em um ambiente real de ensino, concluiu-se que esta apresenta indícios de uma contribuição positiva para a mediação do erro no ensino de programação de computadores. Foi possível verificar, também, que as diferentes funcionalidades propostas pelo arcabouço, como busca, recomendação, classificação e visualização de respostas permitem o auxílio da mediação do erro, promovendo-a e abrindo horizontes para a superação da visão tradicional do erro.

7.1 Resultados alcançados

Diante do exposto, conclui-se que o desenvolvimento do arcabouço e da ferramenta aqui propostos, e sua posterior aplicação em ambientes reais de ensino, apresentou alguns resultados relevantes para a comunidade científica.

De maneira direta, seguindo os objetivos deste trabalho, acredita-se que a presente pesquisa produziu subsídios para a mediação do erro na educação escolar e que esta é capaz de promover a superação da visão tradicional do erro. Além disso, este trabalho visou fomentar pesquisas sobre o uso do erro no processo de ensino e aprendizagem tanto na literatura de informática educacional quanto no campo pedagógico. Contribuiu-se, de maneira incisiva, para esse diálogo, através da apresentação das necessidades de

uma fundamentação teórica coerente e da descrição dos pressupostos tanto da Pedagogia Histórico-Crítica quanto da Psicologia Histórico-Cultural. Neste sentido, espera-se também, que, por intermédio dessa pesquisa, se inicie uma aproximação mais efetiva dessas abordagens ao campo da informática educativa.

A teorização clara da participação da mediação do erro durante o processo de formação de conceitos científicos dos alunos foi, também, uma importante contribuição alcançada. Disponibilizou-se, dessa forma, apoio para pesquisas futuras com relação ao erro na educação, especialmente na informática educativa.

A criação e disponibilização de um banco de dados rico para futuras pesquisas também são consideradas importantes produtos originados para este trabalho. Ao final dos estudos aplicados, foi possível disponibilizar um conjunto de dados sobre registros de respostas para o domínio de programação de computadores. Estes dados já estão sendo utilizados para diferentes pesquisas em andamento no momento de escrita desta tese.

O arcabouço descrito e a ferramenta FARMA-ALG somam-se aos resultados produzidos por esse trabalho. Dessa maneira, além do estudo teórico da questão do uso do erro na educação escolar, procurou-se prover instrumentos para que professores e alunos superem as condições adversas à mediação do erro. O próprio conceito de grafo de similaridade de respostas, bem como os diferentes algoritmos apresentados, como a recomendação automática e a classificação semi-automática de respostas, são importantes contribuições para a área de informática educativa. Esses e outros resultados foram compartilhados e validados pela comunidade científica por meio de artigos publicados em conferências relevantes nacionais e internacionais.

Diante da análise desta pesquisa, evidenciou-se que esta apresenta contribuições relevantes para a comunidade científica e, **principalmente, para professores e alunos da educação escolar.**

7.2 Trabalhos Futuros

Diferentes trabalhos futuros são vislumbrados para esta pesquisa. Em primeiro lugar, mais experimentos para validação do arcabouço proposto e da ferramenta FARMA-ALG devem ser conduzidos. Dessa forma, através de investigações mais longas e completas, será possível identificar com clareza as reais contribuições alcançadas para a mediação do erro.

A pesquisa sobre o cálculo de similaridade entre registros de respostas também se inclui como intenções para trabalhos futuros. Com a criação de métricas de similaridade capazes de analisar a semântica das respostas, agregaria-se alto valor para o desempenho da ferramenta FARMA-ALG.

A análise da recomendação de erros no processo de ensino e aprendizagem é outro alvo para pesquisas futuras. Investigações adicionais às apresentadas nesta tese podem definir mais subsídios para a confirmação dos indícios de que o algoritmo de recomendação automática de respostas é capaz de favorecer positivamente na mediação do erro.

Pode-se citar, também, a pesquisa e o desenvolvimento de uma ferramenta para a criação automática de provas. Nesta ferramenta, o sistema, com base nos dados estatísticos de cada exercício, como taxa de acerto, classificação de erros mais comuns, número médio de tentativas e etc., pode sugerir quais exercícios são considerados relevantes para a aplicação de uma prova.

Outro possível destino para pesquisas está na análise dos dados de erros coletados durante a pesquisa. Assim, partindo dos resultados obtidos, estudos sobre o conjunto de erros para o domínio de programação de computadores e sua classificação, proposta pelos professores, podem guiar pesquisas sobre a modelagem de aprendizes. O estudo da própria classificação dos erros obtida através da ação do professores sobre o sistema proposto já se mostra um rico campo para novas investigações.

Por fim, planeja-se o aprofundamento do estudo da mediação do erro na educação escolar. Para tanto, almeja-se seguir o trabalho conjunto entre informática educativa, psicologia e pedagogia apresentado, promovendo a importante integração dessas áreas do conhecimento.

Referências

- ADAM, A.; LAURENT, J.-P. Laura, a system to debug student programs. *Artificial Intelligence*, v. 15, n. 1-2, p. 75 – 122, 1980. ISSN 0004-3702. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0004370280900235>>. Citado na página 86.
- AINSWORTH, S. Deft: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, v. 16, n. 3, p. 183 – 198, 2006. ISSN 0959-4752. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959475206000259>>. Citado na página 87.
- ALTHUSSER, L. Aparelhos ideológicos de estado. *Rio de Janeiro: Graal*, v. 2, 1985. Citado na página 32.
- AQUINO, J. G. *Erro e fracasso na escola: alternativas teóricas e práticas*. [S.l.]: Summus, 1997. Citado 4 vezes nas páginas 18, 57, 59 e 171.
- AQUINO, J. G. O mal-estar na escola contemporânea: erro e fracasso em questão. In: AQUINO, JULIO GROPPA. *Erro e fracasso na escola: alternativas teóricas e práticas*. [S.l.]: Summus, 1997. Citado 3 vezes nas páginas 17, 60 e 171.
- ARANHA, M. L. de A. *Filosofia da educação*. 3 ed.. ed. [S.l.]: Moderna, 2006. Citado na página 34.
- BARANAUSKAS, M. C. C. et al. Uma taxonomia para ambientes de aprendizado baseados no computador. In: *O computador na sociedade do conhecimento*. Campinas, SP: UNICAMP/NIED, 1999. Citado 3 vezes nas páginas 83, 84 e 85.
- BARKER-PLUMMER, D.; COX, R.; DALE, R. Student translations of natural language into logic: The grade grinder corpus release 1.0. In: *Proceedings of The 4th International Conference on Educational Data Mining*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 51–60. Citado na página 89.
- BICUDO, N. A. C. *Fracasso Escolar: Uma Síntese das Primeiras Leituras*. 2007. Disponível em: <<http://www.ppe.uem.br/>>. Citado na página 59.
- BOULAY, B. du. Intelligent systems for teaching programming. In: *Artificial Intelligence Tools in Education*. [S.l.]: Elsevier Science, 1988. Citado na página 86.
- CHAMPAIGN, J.; COHEN, R. An annotations approach to peer tutoring. In: CITESEER. *The 3rd International Conference on Educational Data Mining (EDM 2010)*. [S.l.], 2010. p. 231–240. Citado na página 89.
- CHAUI, M. *Convite à filosofia*. 14 ed.. ed. [S.l.]: Ática, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.
- COMENIUS, I. A. *Didática magna*. São Paulo: Martins Fontes, 1997. Citado na página 53.

- DEVINE, T. et al. Improving pedagogy by analyzing relevance and dependency of course learning outcomes. In: *Workshop on Knowledge Discovery in Educational Data, 17th ACM Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 83–90. Citado na página 90.
- DUARTE, N. Concepções afirmativas e negativas sobre o ato de ensinar. *Cadernos Cedes*, Centro de Estudos Educação e Sociedade, v. 19, n. 44, p. 1–6, 1998. Citado na página 43.
- DUARTE, N. *Vigotski e o "Aprender a Aprender". Crítica às apropriações neoliberais e pós-modernas da teoria vigotskiana*. 5. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2011. Citado 8 vezes nas páginas 35, 36, 37, 41, 42, 46, 56 e 57.
- DURAND, G.; LAPLANTE, F.; KOP, R. A learning design recommendation system based on markov decision processes. In: *KDD-2011: 17th ACM SIGKDD conference on knowledge discovery and data mining*. [S.l.: s.n.], 2011. Citado na página 89.
- DYCKHOFF, A. L. et al. elat: An exploratory learning analytics tool for reflection and iterative improvement of technology enhanced learning. In: *The 4th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2011)*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 355–356. Citado na página 90.
- FAGUNDES, L. d. C.; MAÇADA, D.; SATO, L. Aprendizes do futuro: as inovações começaram. coleção informática para a mudança na educação—ministério da educação. *Brasília: Estação Palavra*, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 45.
- FERREIRA, B. d. J. P.; DUARTE, N. O lema aprender a aprender na literatura de informática educativa. *Educação e Sociedade*, Scielo, v. 33, p. 1019 – 1035, 12 2012. ISSN 0101-7330. Citado 10 vezes nas páginas 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 81 e 90.
- GAUDENCIO, M. et al. Eu sei o que vocês fizeram (agora e) na aula passada: o tstview no acompanhamento de exercícios de programação. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2013. v. 24, n. 1. Citado na página 90.
- GOGUADZE, G. et al. Evaluating a bayesian student model of decimal misconceptions. In: *The 4th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2011)*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 301–306. Citado na página 88.
- HASEMER, T. *An empirically-based debugging system for novice programmers*. Tese (Doutorado) — Open University, Human Cognition Research Laboratory, United Kingdom, 1983. Citado na página 86.
- ISOTANI, S. et al. Can erroneous examples help middle-school students learn decimals? In: *Towards Ubiquitous Learning*. [S.l.]: Springer, 2011. p. 181–195. Citado na página 85.
- JIN, W. et al. Towards automatic hint generation for a data-driven novice programming tutor. In: *Workshop on Knowledge Discovery in Educational Data, 17th ACM Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. [S.l.: s.n.], 2011. Citado na página 89.
- JOHNSON, M.; BARNES, T. Edm visualization tool: Watching students learn. In: *The 3rd International Conference on Educational Data Mining (EDM 2010)*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 297–298. Citado na página 90.

- JOHNSON, W.; SOLOWAY, E. Proust: Knowledge-based program understanding. *Software Engineering, IEEE Transactions on*, SE-11, n. 3, p. 267–275, 1985. ISSN 0098-5589. Citado na página 86.
- KRYNSKI, E. M. *Modelagem do processo de aquisição de conhecimento apoiado por ambientes inteligentes*. Tese (Doutorado em Informática) — Universidade Federal do Paraná - Departamento de Informática, Curitiba, PR, Brasil, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 84, 86 e 141.
- LEITE, M. D. *Arquitetura para Remediação de Erros Baseada em Múltiplas Representações Externas*. Tese (Doutorado em Informática) — Universidade Federal do Paraná - Departamento de Informática, Curitiba, PR, Brasil, 2013. Citado na página 87.
- LEITE, M. D.; PIMENTEL, A. R.; OLIVEIRA, F. D. Um estudo sobre classificação de erros: uma proposta aplicada a objetos de aprendizagem. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2011. v. 1, n. 1. Citado na página 87.
- LEITE, M. D.; PIMENTEL, A. R.; PIETRUCHINSKI, M. H. Remediação de erros baseada em múltiplas representações externas e classificação de erros aplicada a objetos de aprendizagem inteligentes. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2012. v. 23, n. 1. Citado na página 87.
- LUAN, J. Data mining and its applications in higher education. *New directions for institutional research*, Wiley Online Library, v. 2002, n. 113, p. 17–36, 2002. Citado na página 88.
- LUKEY, F. Understanding and debugging programs. *International Journal of Man-Machine Studies*, v. 12, n. 2, p. 189 – 202, 1980. ISSN 0020-7373. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020737380800174>>. Citado na página 86.
- LURIA, A. R. *Fundamentos de neuropsicologia*. Rio de Janeiro: LTC, 1981. Citado na página 108.
- MACHADO, A. M. Avaliação e fracasso: a produção coletiva da queixa escolar. In: AQUINO, JULIO GROPPA. *Erro e fracasso na escola: alternativas teóricas e práticas*. [S.l.]: Summus, 1997. Citado 6 vezes nas páginas 17, 59, 60, 61, 62 e 171.
- MARCZAL, D. *FARMA: Uma ferramenta de autoria para objetos de aprendizagem de conceitos matemáticos*. Tese (Doutorado em Informática) — Universidade Federal do Paraná - Departamento de Informática, Curitiba, PR, Brasil, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 9, 112 e 113.
- MARCZAL, D.; DIRENE, A. Um arcabouço que enfatiza a retroação a contextos de erro na solução de problemas. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 19, n. 01, 2011. ISSN 1414-5685. Disponível em: <<http://ceie-sbc.tempsite.ws/pub/index.php/rbie/article/view/1298>>. Citado na página 87.
- MARCZAL, D.; DIRENE, A. Farma: Uma ferramenta de autoria para objetos de aprendizagem de conceitos matemáticos. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2012. v. 23, n. 1. Citado 3 vezes nas páginas 84, 87 e 111.

- MARTINS, L. M. *O Desenvolvimento do Psiquismo e a Educação Escolar: contribuições à luz da psicologia histórico-cultural e da pedagogia histórico-crítica*. 1. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2013. Citado 16 vezes nas páginas 21, 35, 45, 63, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 108 e 109.
- MARTINS, L. M. Os fundamentos psicológicos da pedagogia histórico-crítica e os fundamentos pedagógicos da psicologia histórico-cultural. *Germinal: Marxismo e Educação em Debate*, v. 5, n. 2, p. 130–143, 2014. Citado 4 vezes nas páginas 71, 72, 73 e 74.
- MARX, K. *Manuscritos econômico-filosóficos*. [S.l.]: Boitempo Editorial, 2004. Citado na página 30.
- MCLAREN, B. M. et al. To err is human, to explain and correct is divine: a study of interactive erroneous examples with middle school math students. In: *21st Century Learning for 21st Century Skills*. [S.l.]: Springer, 2012. p. 222–235. Citado na página 85.
- MEDEIROS, T. J.; SILVA, T. R. da; ARANHA, E. H. da S. Ensino de programação utilizando jogos digitais: uma revisão sistemática da literatura. *RENTE*, v. 11, n. 3, 2013. Citado na página 43.
- MEIRA, M. E. M. Para uma crítica da medicalização na educação. *Psicologia Escolar e Educacional*, SciELO Brasil, v. 16, n. 1, p. 135–142, 2012. Citado na página 62.
- MÉSZÁROS, I.; TAVARES, I. *A teoria da alienação em Marx*. [S.l.]: Boitempo, 2007. Citado na página 30.
- MURRAY, T.; WOOLF, B.; MARSHALL, D. Lessons learned from authoring for inquiry learning: A tale of authoring tool evolution. In: SPRINGER. *Intelligent Tutoring Systems*. [S.l.], 2004. p. 197–206. Citado na página 85.
- NOGARO, A.; GRANELLA, E. O erro no processo de ensino e aprendizagem. *Revista de Ciências Humanas*, v. 5, n. 5, p. p–31, 2012. Citado na página 18.
- NWAIGWE, A.; KOEDINGER, K. R. The simple location heuristic is better at predicting students' changes in error rate over time compared to the simple temporal heuristic. In: PECHENIZKIY, M. et al. (Ed.). *The 4th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2011)*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 71–80. ISBN 978-90-386-2537-9. Citado na página 88.
- OLIVEIRA, F. D. *Suporte ao Aprendizado Apoiado por Múltiplas Representações Externas Através da Análise e Remediação de Erros*. Mestrado — Universidade Federal do Paraná - Departamento de Informática, Curitiba, PR, Brasil, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 65 e 87.
- OLIVEIRA, M. K. de. Sobre diferenças individuais e diferenças culturais: o lugar da abordagem histórico-cultural. In: AQUINO, JULIO GROPPA. *Erro e fracasso na escola: alternativas teóricas e práticas*. [S.l.]: Summus, 1997. Citado 8 vezes nas páginas 17, 61, 64, 65, 66, 67, 68 e 69.
- PAIVA, R.; BITTENCOURT, I. I.; SILVA, A. P. da. Uma ferramenta para recomendação pedagógica baseada em mineração de dados educacionais. In: *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2013. v. 1, n. 1. Citado na página 89.

- PAPERT, S. *Constructionism versus instructionism*. 1980. Disponível em: <http://www.papert.org/articles/const_inst/const_inst1.html>. Acesso em: 22 nov. 2013. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 84.
- PAPERT, S. *A máquina das crianças: repensando a escola na era da informática*. [S.l.: s.n.], 1994. Citado na página 46.
- PAPERT, S. *The Future of School*. 2000. Disponível em: <<http://www.papert.org/articles/freire/freirePart1.html>>. Acesso em: 22 nov. 2013. Citado na página 44.
- PATTO, M. H. S. *A produção do fracasso escolar: histórias de submissão e rebeldia*. 1. ed. São Paulo: T. A. Quiroz, 1996. Citado 4 vezes nas páginas 17, 60, 61 e 62.
- PEÑA-AYALA, A. Educational data mining: A survey and a data mining-based analysis of recent works. *Expert Systems with Applications*, v. 41, n. 4, Part 1, p. 1432 – 1462, 2014. ISSN 0957-4174. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417413006635>>. Citado 3 vezes nas páginas 86, 87 e 88.
- PIAGET, J. *Para onde vai a educação?* Rio de Janeiro: José Olympio, 1984. Citado na página 43.
- PIAGET, J. *Seis estudos de psicologia*. Tradução de: Maria Alice Magalhães D'Amorim e Paulo Sérgio L. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006. Citado na página 54.
- PINTO, N. B. *O erro como estratégia didática: estudo do erro no ensino da matemática elementar*. [S.l.]: Papyrus Editora, 2000. Citado na página 18.
- RAMOS, G. S. *Detecção e remediação de erros na generalização de conceitos matemáticos por meio de sistemas tutores inteligentes*. Mestrado — Universidade Federal do Paraná - Departamento de Informática, Curitiba, PR, Brasil, 2011. Citado na página 87.
- RAU, M.; SCHEINES, R. Searching for variables and models to investigate mediators of learning from multiple representations. In: *The 5th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2012)*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 110–117. Citado na página 88.
- ROBINS, A.; ROUNTREE, J.; ROUNTREE, N. Learning and teaching programming: A review and discussion. *Computer Science Education*, Taylor & Francis, v. 13, n. 2, p. 137–172, 2003. Citado na página 107.
- ROMERO, C.; VENTURA, S. Educational data mining: A survey from 1995 to 2005. *Expert Systems with Applications*, v. 33, n. 1, p. 135 – 146, 2007. ISSN 0957-4174. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417406001266>>. Citado na página 87.
- ROMERO, C.; VENTURA, S. Educational data mining: A review of the state of the art. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, v. 40, n. 6, p. 601–618, 2010. ISSN 1094-6977. Citado na página 87.
- SAVIANI, D. *Educação do senso comum à consciência filosófica*. 11 ed.. ed. [S.l.]: Autores Associados, 1980. Citado na página 41.
- SAVIANI, D. *Escola e Democracia*. 41. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 1997. Citado 16 vezes nas páginas 21, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 39, 45, 46, 47, 48 e 83.

- SAVIANI, D. *Pedagogia Histórico-Crítica. Primeiras Aproximações*. 11. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2012. Citado 7 vezes nas páginas 6, 21, 37, 38, 39, 40 e 43.
- SERCONEK, G. C. *O Conceito e a Abordagem Do Erro Na Prática Docente Nas Séries Iniciais Do Ensino Fundamental*. Mestrado — Universidade Estadual de Maringá - Programa de Pós-Graduação em Educação, Maringá, PR, Brasil, 2006. Citado 9 vezes nas páginas 18, 19, 57, 58, 59, 78, 79, 81 e 171.
- SERCONEK, G. C. As perspectivas de conhecimento e o enfoque histórico-cultural de mediação do erro. *Anais do V Encontro Brasileiro de Educação e Marxismo: Marxismo, Educação e Emancipação Humana*, Abril 2011. Citado 7 vezes nas páginas 21, 52, 53, 54, 55, 77 e 171.
- SFORNI, M. S. de F. *Aprendizagem Conceitual e Organização do Ensino: Contribuições da Teoria da Atividade*. 1. ed. Araraquara, SP: JM Editora, 2004. Citado 6 vezes nas páginas 71, 72, 74, 76, 77 e 110.
- SHAPIRO, E. Y. *Algorithmic Program Debugging*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1983. ISBN 0262192187. Citado na página 86.
- SIEGEL, S. *Estatística não-paramétrica para as ciências do comportamento*. [S.l.]: McGraw-Hill São Paulo, 1975. Citado na página 139.
- SMIRNOV, A. A.; MENSHINSKAIA, N. A. El pensamiento. In: A. A. SMIRNOV AND A. N. LEONTIEV AND S. L. RUBINSTEIN AND B. M. TIEPLOV. *Psicologia*. México: Grijalbo, 1960. p. 232–276. Citado na página 109.
- SNYDERS, G.; ALBARRAN, M. H. *Escola, classe e luta de classes*. [S.l.: s.n.], 1977. Citado na página 32.
- SUDOL, L. A.; RIVERS, K.; HARRIS, T. K. Calculating probabilistic distance to solution in a complex problem solving domain. In: *The 5th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2012)*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 144–147. Citado na página 89.
- SURPATEAN, A.; SMIRNOV, E. N.; MANIE, N. Similarity functions for collaborative master recommendations. In: *The 5th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2012)*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 230–231. Citado na página 89.
- TOSCHER, A.; JAHREER, M. Collaborative filtering applied to educational data mining. *KDD Cup*, 2010. Citado na página 89.
- TULESKI, S. C.; EIDT, N. M. Repensando os distúrbios de aprendizagem a partir da psicologia histórico-cultural. *Psicologia em estudo*, SciELO Brasil, v. 12, n. 3, p. 531–540, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 17, 61 e 62.
- VIALARDI, C. et al. A case study: data mining applied to student enrollment. In: *Proceedings of Third Educational Data Mining Conference*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 333–335. Citado na página 89.
- VIALARDI, C. et al. A data mining approach to guide students through the enrollment process based on academic performance. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, Springer Netherlands, v. 21, n. 1-2, p. 217–248, 2011. ISSN 0924-1868. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11257-011-9098-4>>. Citado na página 89.

VIGOTSKI, L. S. *A construção do pensamento e da linguagem*. 2 ed.. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2009. Citado na página 67.

ZAPATA-GONZALEZ, A. et al. Using data mining in a recommender system to search for learning objects in repositories. In: *The 4th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2011)*. [S.l.: s.n.], 2011. Citado na página 89.

Anexos

ANEXO A – Pré-teste

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Setor de Ciências Exatas
Departamento de Informática

Algoritmos e Estruturas de Dados 1
Professores: Marcos Castilho e Daniel Weingaertner
Doutorando: Alexander Robert Kutzke

Data: 06 de Março de 2015.

Aluno: _____ Nota: _____

Email: _____

Avaliação - Problemas Pré-Algorítmicos

Importante

- As questões foram extraídas do arquivo da Olimpíada Brasileira de Matemática (2003 a 2007);
- A avaliação é individual e sem qualquer tipo de consulta;
- A interpretação dos enunciados faz parte da prova.

Questão 1 (2007, Fase 1, Nível 1, Problema 6)

Sílvia pensou que seu relógio estava atrasado 10 min e o acertou, mas na verdade o relógio estava adiantado 5 min. Cristina pensou que seu relógio estava adiantado 10 min e o acertou, mas na verdade o relógio estava atrasado 5 min. Logo depois, as duas se encontraram, quando o relógio de Sílvia marcava 10 horas. Neste momento, que horas o relógio de Cristina indicava?

- (a) 9h 30min
- (b) 9h 50min
- (c) 10h
- (d) 10h 5min
- (e) 10h 15min

Questão 2 (2007, Fase 1, Nível 1, Problema 11)

Uma loja de CD's realizará uma liquidação e, para isso, o gerente pediu para Anderlaine multiplicar todos os preços dos CD's por 0,68. Nessa liquidação, a loja está oferecendo um desconto de:

- (a) 68%
- (b) 6,8%
- (c) 0,68%
- (d) 3,2%
- (e) 32%

Questão 3 (2007, Fase 2, Nível 1, Problema 1)

O número $N = 1010010100101\dots$ contém somente os algarismos 0 e 1, de modo que o número de algarismos 0 entre dois algarismos 1 é um ou dois, alternadamente. O número N tem exatamente 101 algarismos. Qual é a soma de todos os algarismos do número N ?

R: _____

Questão 4 (2007, Fase 2, Nível 2, Problema 5)

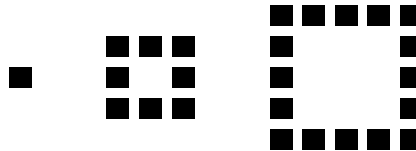
Em 1949 o matemático indiano D. R. Kaprekar, inventou um processo conhecido como *Operação de Kaprekar*. Primeiramente escolha um número de quatro dígitos (não todos iguais), em seguida escreva a diferença entre o maior e o menor número que podem ser formados a partir de uma permutação dos dígitos do número inicial. Repetindo o processo com cada número assim obtido, obtemos uma seqüência. Por exemplo, se o primeiro número for 2007, o segundo será $7200 - 0027 = 7173$. O terceiro será $7731 - 1377 = 6354$.

Começando com o número 1998, qual será o 2007-ésimo termo da seqüência?

R: _____

Questão 5 (2006, Fase 1, Nível 1, Problema 13)

Usando pastilhas de cerâmica preta na forma de quadradinhos foi composta uma decoração numa parede, mostrada parcialmente abaixo:



Quantas pastilhas foram empregadas em toda a decoração considerando-se que na última peça montada foram utilizadas 40 pastilhas?

- (a) 60
- (b) 68
- (c) 81
- (d) 100
- (e) 121

Questão 6 (2006, Fase 1, Nível 3, Problema 10)

Uma seqüência tem 9 números reais, sendo o primeiro 20 e o último, 6. Cada termo da seqüência, a partir do terceiro, é a média aritmética de todos os anteriores. Qual é o segundo termo da seqüência?

- (a) -8
- (b) 0
- (c) 4
- (d) 14
- (e) 2006

Questão 7 (2005, Fase 1, Nível 1, Problema 2)

Numa caixa havia 3 meias vermelhas, 2 brancas e 1 preta. Professor Piraldo retirou 3 meias da caixa. Sabendo-se que nenhuma delas era preta, podemos afirmar sobre as 3 meias retiradas que:

- (a) são da mesma cor.
- (b) são vermelhas.
- (c) uma é vermelha e duas são brancas.
- (d) uma é branca e duas são vermelhas.
- (e) pelo menos uma é vermelha.

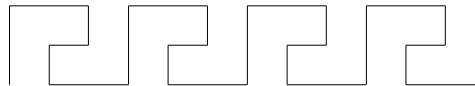
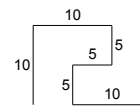
Questão 8 (2005, Fase 1, Nível 2, Problema 16)

Em um ano, no máximo quantos meses têm cinco domingos?

- (a) 3
- (b) 4
- (c) 5
- (d) 6
- (e) 7

Questão 9 (2005, Fase 1, Nível 2, Problema 15)

Um serralheiro solda varetas de metal para produzir peças iguais que serão juntadas para formar o painel abaixo. O desenho ao lado apresenta as medidas, em centímetros, de uma dessas peças. O serralheiro usa exatamente 20 metros de vareta para fazer o seu trabalho.



Qual dos desenhos abaixo representa o final do painel?

- (a)
- (b)
- (c)
- (d)
- (e)

Questão 10 (2004, Fase 1, Nível 1, Problema 13)

Um artesão começa a trabalhar às 8h e produz 6 braceletes a cada vinte minutos; seu auxiliar começa a trabalhar uma hora depois e produz 8 braceletes do mesmo tipo a cada meia hora. O artesão pára de trabalhar às 12h mas avisa ao seu auxiliar que este deverá continuar trabalhando até produzir o mesmo que ele. A que horas o auxiliar irá parar?

- (a) 12h
- (b) 12h30min
- (c) 13h
- (d) 13h30min
- (e) 14h30min

Questão 11 (2004, Fase 1, Nível 2, Problema 20)

Sobre uma mesa estão três caixas e três objetos, cada um em uma caixa diferente: uma moeda, um grampo e uma borracha. Sabe-se que:

- A caixa verde está à esquerda da caixa azul;
- A moeda está à esquerda da borracha;
- A caixa vermelha está à direita do grampo;
- A borracha está à direita da caixa vermelha.

Em que caixa está a moeda?

- (a) Na caixa vermelha.
- (b) Na caixa verde.
- (c) Na caixa azul.
- (d) As informações fornecidas são insuficientes para se dar uma resposta.
- (e) As informações fornecidas são contraditórias [acerca da moeda].

Questão 12 (2004, Fase 2, Nível 1, Problema 7)

Esmeralda, de olhos vendados, retira cartões de uma urna contendo inicialmente 100 cartões numerados de 1 a 100, cada um com um número diferente. Qual é o número mínimo de cartões que Esmeralda deve retirar para ter certeza de que o número do cartão seja um múltiplo de 4?

R: _____

Questão 13 (2003, Fase 1, Nível 2, Problema 8)

Considere um número inteiro x e faça com ele as seguintes operações sucessivas: multiplique por 2, some 1, multiplique por 3 e subtraia 5. Se o resultado foi 220, o valor de x é:

- (a) um número primo.
- (b) um número par.
- (c) um número entre 40 e 50.
- (d) um número múltiplo de 3.
- (e) um número cuja soma dos algarismos é 9.

Questão 14 (2003, Fase 1, Nível 2, Problema 15)

Você está em um país estrangeiro, a LUCIÂNIA, e não conhece o idioma, o LUCIANÊS, mas sabe que as palavras "BAK" e "KAB" significam *sim* e *não*, porém não sabe qual é qual. Você encontra uma pessoa que entende português e pergunta: "KAB significa *sim*?" A pessoa responde "KAB". Pode-se deduzir que:

- (a) KAB significa sim.
- (b) KAB significa não.
- (c) A pessoa que respondeu mentiu.
- (d) A pessoa que respondeu disse a verdade.
- (e) Não é possível determinar sem um dicionário LUCIANÊS-PORTUGUÊS.

Questão 15 (2003, Fase 1, Nível 3, Problema 18)

Carlinhos pensa num número ímpar positivo menor do que 100. Pedrinho se dispõe a descobrir que número é esse fazendo a seguinte pergunta, quantas vezes forem necessárias: "O número que você pensou é maior, menor ou igual a x ? ". Note que x é um número que Pedrinho escolhe.

Quantas perguntas desse tipo Pedrinho poderá ter que fazer até descobrir o número pensado por Carlinhos?

- (a) 5
- (b) 7
- (c) 15
- (d) 25
- (e) 45

Questão 16 (2003, Fase 2, Nível 1, Problema 6)

Anos bissextos são múltiplos de 4, exceto aqueles que são múltiplos de 100 mas não de 400. Quantos anos bissextos houve desde a Proclamação da República, em 1889, até hoje? [Lembre-se que esta questão é de 2003!]

R: _____

ANEXO B – Prova 1

1ª Prova de Algoritmos e Estruturas de Dados I (10/04/15)

Questão 1 (20 pontos)

Um comerciante quer dar duas categorias de desconto para seus produtos: ou de 30 ou de 40%. A vitrine de sua loja apresenta sempre os produtos com preço ORIGINAL, sem desconto. Se o produto custa (sem desconto) menos de R\$ 87,00 (oitenta e sete Reais), o desconto será de 30%, senão o desconto será de 40%.

Para definir o preço COM desconto, o comerciante define primeiro, secretamente, o preço de cada mercadoria já considerando o desconto. Devido a isso, o seu problema passou a ser o de determinar o preço original de cada mercadoria para divulgar na vitrine.

Escreva um programa em linguagem Pascal que permite ler, a partir do teclado, um número Real positivo representando o preço COM DESCONTO de uma única mercadoria. O programa deve calcular e imprimir o preço a ser anunciado da mercadoria, de acordo com o que foi descrito anteriormente. Veja os exemplos abaixo. Note que pequenas aproximações menores do que um centavo podem ser adotadas pelo programa.

```
./preco_original                               ./preco_original
Digite o preco com o desconto: 51.37          Digite o preco com o desconto: 55.42
O preco original para 30% eh 73.39           O preco original para 40% eh 92.37
```

Questão 2 (40 pontos)

Um número de Keith é um número inteiro, superior a 9, tal que os seus algarismos, ao começarem uma sequência de Fibonacci (formada por somas de 2-em-2 números, ou de 3-em-3, ou de 4-em-4, e assim por diante), alcançam posteriormente o referido número. Um exemplo é 47, porque a sequência de Fibonacci que começa com 4 e 7 (4, 7, 11, 18, 29, 47) alcança o 47. Outro exemplo, mas que possui três algarismos, é 197: $1+9+7=17$, $9+7+17=33$, $7+17+33=57$, $17+33+57=107$, $33+57+107=197$. Alguns Números de Keith conhecidos são: 14, 19, 28, 47, 61, 75, 197, 742, 1104, 1537, 2208, 2580, 3684, 4788, 7385, 7647, 7909, 31331, 34285. Fazer um programa em linguagem Pascal capaz de ler do teclado um número inteiro positivo de apenas dois algarismos. O programa deve determinar se o número lido é um número de Keith ou não. Veja exemplos de execução abaixo.

```
./keith                                         ./keith
Entre com o numero: 61                         Entre com o numero: 45
Sim, eh um numero de Keith.                   Nao eh um numero de Keith.
```

Questão 3 (40 pontos)

Dizemos que uma sequência de inteiros é k-alternante se for composta alternadamente por segmentos de números pares de tamanho k e segmentos de números ímpares de tamanho k (ou na ordem ímpares-pares). Veja exemplos da definição:

A sequência 1 3 6 8 9 11 2 4 1 7 6 8 é 2-alternante.

A sequência 2 1 4 7 8 9 é 1-alternante.

A sequência 4 2 3 1 6 4 2 9 não é alternante.

A sequência 1 3 5 é 3-alternante.

Fazer um programa em Pascal capaz de ler vários números inteiros positivos terminada por zero (o zero não faz parte da sequência k-alternante). O programa deve determinar se a sequência de números lidos é k-alternante ou não. Se for, o programa deve calcular e imprimir o valor de k dentro da frase “Sim, eh k-alternante”. Caso contrário, deve ser impressa a mensagem “Nao eh alternante”. Exemplos de entrada e saída são:

```
./eh_k_alternante                             ./eh_k_alternante
1 3 6 8 9 11 2 4 1 7 6 8 0 <ENTER>          4 2 8 3 1 7 6 4 6 2 9 7 0 <ENTER>
Sim, eh 2-alternante                          Nao eh alternante
```

ANEXO C – Prova 2

2ª Prova de Algoritmos e Estruturas de Dados I (20/05/15)

Critérios que serão valorados na correção

- A lógica, a criatividade, a sintaxe, o uso correto dos comandos e dos tipos, os nomes das variáveis, a indentação, uso equilibrado de comentários no código e, evidentemente, a clareza. Nesta prova, você deverá sobretudo escrever códigos modulares, usando corretamente **funções** e/ou **procedimentos**, conforme o caso, além de uso correto de variáveis locais ou globais e a passagem de parâmetros por referência ou por valor. Finalmente, sua solução deve fazer uso correto da estrutura de vetores. Boa prova!

Questão 1 (40 pontos)

Fazer um programa em Pascal para ler uma sequência (não necessariamente ordenada) com uma quantidade arbitrária de números inteiros não-nulos do teclado. Sempre que um número negativo é lido, o programa deve sortear um dos números positivos já lidos desde o início da execução e imprimí-lo na tela do computador. Os números positivos devem ser todos considerados com igual probabilidade no sorteio. O último número lido é o zero, o qual só deve ser usado para terminar a execução do programa. Veja um exemplo de execução abaixo:

```
./sorteia
33 51 23 594 66 128 11 73 -8 19 8 311 434 -2 -1 89 22 123 621 -1 71 18 0 <ENTER>
128 51 19 128
```

Questão 2 (60 pontos)

Fazer um programa em Pascal para ler uma sequência (não necessariamente ordenada) com uma quantidade arbitrária de números inteiros positivos do teclado. O último número lido é o zero. Após a leitura, o programa deve então alterar o vetor de forma que todos os elementos repetidos sejam movidos para o final do vetor, mas de maneira que estes últimos fiquem em ordem crescente. Veja os exemplos de execução abaixo:

```
./move
5 3 8 2 3 9 8 9 7 5 3 <ENNTER>
5 3 8 2 9 7 3 3 5 8 9
```

```
./move
4 4 3 3 2 2 <ENTER>
4 3 2 2 3 4
```

ANEXO D – Prova 3

3ª Prova de Algoritmos e Estruturas de Dados I 26/06/2015

- P: O que será corrigido?
R: A lógica, a criatividade, a sintaxe, o uso correto dos comandos, a correta declaração dos tipos, os nomes das variáveis, a indentação, o uso equilibrado de comentários no código e, evidentemente, a clareza. A modularidade, o correto uso de funções e procedimentos, incluindo passagem de parâmetros e o bom uso de variáveis locais e globais serão especialmente observados.

- **Introdução:** Suponha que você receba o mapa de um labirinto, no qual existem alguns caminhos que levam da entrada dele para a saída e, como em todo labirinto, alguns caminhos que são becos sem saída. O problema é não apenas encontrar um caminho que leva à saída, mas determinar o menor caminho existente.

A seguir está um trecho de código em *Pascal* que resolve este problema usando um algoritmo clássico encontrado na literatura da computação. O código apresenta algumas declarações de constantes, tipos e variáveis bem como um programa principal que será detalhado em seguida.

```

Program labirinto;
Const
    MAX = 100;
    PAREDE = -1;
    VAZIO = 0;
    LIN = 1;
    COL = 2;
Type
    labirinto= array [1..MAX,1..MAX] of integer;
    coordenada = array [1..2] of integer;
    fila= array [1..MAX] of coordenada;
Var
    L: labirinto;
    tamL, entrada, saida, elem, vizinho: coordenada;
    F: fila; tamF: integer;
    distancia: integer;
Begin
    iniciaFila(F, tamF);
    distancia := 1;
    lerLabirinto(L, tamL, entrada, saida);

    marcaElemLabirinto(L, saida, distancia);
    insereElemFila (F, tamF, saida);

    repeat
        retiraElemFila(F, tamF, elem);
        distancia := valorElemLabirinto(L, elem) + 1;
        "para cada vizinho a ser marcado de elem"
        begin
            marcaElemLabirinto(L, vizinho, distancia);
            insereElemFila(F, tamF, vizinho);
        end;
    until (filaVazia(F, tamF));

    imprimeMenorCaminho(L, entrada);
End.

```

- **Detalhamento:** Este programa foi concebido para receber uma entrada de dados no seguinte formato: a primeira linha da entrada de dados contém as dimensões de uma matriz de inteiros; a segunda linha contém as coordenadas da entrada do labirinto (uma posição da matriz); a terceira linha contém as coordenadas da saída do labirinto (uma outra posição da matriz); as outras linhas contém os elementos da matriz propriamente dita, constituída de elementos que podem ser 0 (zero) ou -1 (menos 1). Os zeros representam posições pelas quais se pode “passar” na matriz, enquanto que os -1 representam “paredes”. Um exemplo de entrada de dados é:

```
6 12
1 1
6 12
0 0 0 -1 0 0 0 -1 0 -1 0 0
0 -1 0 -1 0 -1 0 0 0 -1 0 -1
0 0 0 0 0 -1 0 -1 -1 -1 0 -1
-1 0 -1 -1 0 -1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 -1 -1 0 -1 0
0 -1 0 -1 -1 -1 0 0 -1 0 -1 0
```

Note que um labirinto pode possuir várias possibilidades de entrada e saída, mas o programa deve encontrar um caminho mínimo entre as coordenadas indicadas no arquivo de entrada passando apenas por elementos da matriz propriamente dita.

A ideia do algoritmo é marcar cada posição da matriz que não seja uma parede com valores inteiros que representam a distância desta posição para a saída. Para isto, ele inicia marcando a posição da saída com o valor 1 e toda outra posição (L,C) é marcada com o valor K desde que exista algum vizinho já marcado com valor (K-1). Os vizinhos válidos são: o da esquerda (L,C-1), o da direita (L,C+1), o da posição de cima (L-1,C) e o da posição de baixo (L+1,C), desde que estas coordenadas estejam dentro dos limites da matriz.

Após esta etapa, a matriz acima fica como mostrado na figura seguinte:

```
19 18 17 -1 13 12 11 -1 13 -1 7 8
18 -1 16 -1 14 -1 10 11 12 -1 6 -1
17 16 15 14 13 -1 9 -1 -1 -1 5 -1
-1 15 -1 -1 12 -1 8 7 6 5 4 3
15 14 13 12 11 10 9 -1 -1 6 -1 2
16 -1 14 -1 -1 -1 10 11 -1 7 -1 1
```

- **Implementação:** Para implementar esta ideia, o programa principal, contendo ainda uma linha em pseudo-código, usa o seguinte algoritmo (que depende da correta inicialização das estruturas de dados): marca a posição da saída com o valor 1 (um) e insere seus vizinhos válidos no final de uma fila. Em seguida, até que a fila esvazie completamente, retira uma coordenada do início da fila, descobre qual é a distância K que esta tem da saída e para cada um dos seus vizinhos válidos: (1) anota $K + 1$ no vizinho; e (2) insere o vizinho no final da fila.
- **Menor caminho:** Na última linha do programa, após o laço que marca as distâncias na matriz, existe uma chamada a um procedimento que recebe uma matriz preenchida como descrito acima e encontra o menor caminho para se chegar da entrada do labirinto na sua saída. O menor caminho é encontrado partindo-se da entrada do labirinto e escolhendo sucessivamente em cada etapa o vizinho que tem um valor menor que o atual, até se chegar na saída, que tem o valor 1. Basta anotar de alguma maneira este caminho e em seguida imprimí-lo.
- **Questão única (100 pontos):** Sem fazer este último procedimento, sua tarefa é refinar o programa principal e implementar todas as outras funções e procedimentos.
- **Questão bônus (10 pontos extra):** Da maneira como você achar conveniente, implemente o procedimento que imprime o menor caminho.

ANEXO E – Questionário Mediação do Erro

- Alunos



Edit this form

Mediação do Erro na Educação - Alunos

O objetivo deste questionário é levantar informações sobre a concepção e a qualidade da mediação do erro na prática discente da comunidade escolar/universitária.

Entenda "mediação do erro" como a análise, por parte do aluno e/ou do professor, de erros cometidos durante processo de ensino e aprendizagem de conteúdos escolares/universitários. Por exemplo, a atenção dada pelo professor a exercícios resolvidos de maneira incorreta por um certo aluno, ou ainda, a revisão das questões incorretas em uma prova.

Por favor, responda as perguntas com atenção e veracidade. Suas respostas serão de grande importância para a pesquisa em desenvolvimento*.

A sua participação é voluntária e pode ser interrompida por você a qualquer momento que considerar pertinente. Suas respostas só serão consideradas quando o questionário for respondido completamente e as respostas submetidas.

Nenhum dado pessoal será coletado e/ou revelado.

Qualquer dúvida, por favor, entre em contato pelo email:
alexander@inf.ufpr.br

Desde já, agradecemos pela sua participação.

*Este questionário faz parte da Pesquisa de Doutorado em Informática do aluno Alexander Robert Kutzke do Departamento de Informática, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

* Required

Sobre a mediação do erro na sua prática

As perguntas abaixo se referem à mediação do erro que ocorre na sua vida escolar/universitária, por exemplo: como você lida com os seus erros, que importância você dá a eles, como o professor participa desse processo e

etc.

O quão importante é, para você, a análise de respostas erradas (erros) durante sua aprendizagem? *

Refleta qual a importância que você atribui para respostas em que você errou. Por exemplo, respostas erradas que você, por acaso, teve em uma prova.

1 2 3 4 5

Pouco importante Muito importante

Com que frequência você costuma analisar seus próprios erros nas atividades escolares/universitárias? *

Refleta, por exemplo, se você costuma rever seus erros, ou se o professor lhe ajuda com isso eventualmente.

1 2 3 4 5

Quase nunca Sempre analiso meus erros

De que maneiras você costuma analisar suas repostas erradas? *

Escolha as opções que mais se identificam com sua vivência.

- Não costumo analisar minhas respostas erradas
- Perguntando ao professor
- Refletindo sozinho
- Perguntando a colegas
- Other:

Na sua opinião, quão relevante seria uma ferramenta computacional para facilitar a análise de suas repostas? *

1 2 3 4 5

Não faria diferença Muito importante

Sobre a mediação realizada por seus professores

As perguntas abaixo se referem ao modo com que seus professores, de maneira geral, lidam com respostas incorretas durante as aulas e outras atividades.

Com que frequência seus professores costumam analisar respostas erradas? *

Refleta se seus professores costumam dar algum retorno sobre respostas incorretas, seja em provas ou outras atividades.

1 2 3 4 5

Quase nunca Meus professores sempre analisam respostas erradas

Na sua opinião, qual a importância que seus professores dão às repostas erradas de seus

alunos? *

Refleta sobre o quanto seus professores estão preocupados em saber sobre suas respostas incorretas.

1 2 3 4 5

Pouco importante Muito importante

Qual o seu sentimento sobre questionar o professor referente à alguma resposta incorreta? *

Como você se sente quando tem dúvidas e pensa em perguntar ao professor.

1 2 3 4 5

Péssimo. Inclusive já deixei de perguntar em diversas oportunidades Sem problemas, sempre que tenho dúvidas, questiono meus professores

Alguns de seus professores já utilizaram ferramentas para facilitar a análise das respostas da turma? *

Ferramentas computacionais.

- Sim
 Não

Sem sim, você lembra quais foram?

Submit

Never submit passwords through Google Forms.

Powered by
 Google Forms

This content is neither created nor endorsed by Google.

[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)

ANEXO F – Questionário FARMA-ALG

[Edit this form](#)

Farma-Alg

As questões a seguir tem o objetivo de avaliar as contribuições da ferramenta Farma-Alg no seu aprendizado durante a disciplina de Algoritmos e Estruturas de Dados I. Por favor, responda com o máximo de seriedade.

*** Required**

Você considera que o uso do Farma-Alg facilitou o seu acesso as suas respostas? *

1 2 3 4 5

Não ajudou Ajudou muito

O acesso as suas respostas e os comentários recebidos pela ferramenta, ajudaram na sua reflexão sobre suas respostas incorretas? *

1 2 3 4 5

Não ajudou Ajudou muito

As mensagens recebidas através da ferramenta (mensagens e comentários do monitor da turma) auxiliaram na assimilação dos conteúdos da disciplina? *

1 2 3 4 5

Não ajudou Ajudou muito

Quais funcionalidades providas pela ferramenta você considerou mais relevantes para seu aprendizado? *

Selecione no máximo 3 opções

- Correção automática das respostas submetidas
- Exibição dos casos de teste
- Facilidade no acesso às suas respostas
- Comentários do monitor da disciplina sobre suas respostas
- Mensagens com comentários sobre exemplos de respostas e/ou informações sobre exercícios
- Other:

Sugestões e comentários

Deixe aqui qualquer comentário que você considere relevante sobre o uso da ferramenta Farma-Alg: sugestões, críticas, elogios etc.

Submit

Never submit passwords through Google Forms.

Powered by
 Google Forms

This content is neither created nor endorsed by Google.

[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)