



Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em  
**Computação Aplicada**  
Mestrado Acadêmico

Tiago Roberto Kautzmann

Um Modelo de Agente Pedagógico para o Treinamento  
Adaptativo da Habilidade Metacognitiva de Monitoramento  
do Conhecimento em Sistemas Tutores Inteligentes

São Leopoldo, 2015

Tiago Roberto Kautzmann

UM MODELO DE AGENTE PEDAGÓGICO PARA O TREINAMENTO ADAPTATIVO  
DA HABILIDADE METACOGNITIVA DE MONITORAMENTO DO CONHECIMENTO  
EM SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para a obtenção do título de Mestre em  
Computação Aplicada, pelo Programa  
Interdisciplinar de Pós-Graduação em  
Computação Aplicada da Universidade do  
Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Augustin Jaques Maillard

São Leopoldo

2015

K21m Kautzmann, Tiago Roberto

Um modelo de agente pedagógico para o treinamento adaptativo da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento em sistemas tutores inteligentes / por Tiago Roberto Kautzmann. – 2015.

171 f. : il., 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, 2015.

Orientação: Profa. Dra. Patrícia Augustin Jaques Maillard.

1. Metacognição. 2. Instrução metacognitiva. 3. Habilidade de monitoramento do conhecimento. 4. Sistemas tutores inteligentes. I. Título.

CDU 37:004

Catálogo na Fonte:

Bibliotecária Vanessa Borges Nunes - CRB 10/1556

Tiago Roberto Kautzmann

Um Modelo de Agente Pedagógico para o Treinamento Adaptativo da Habilidade  
Metacognitiva de Monitoramento do Conhecimento em Sistemas Tutores Inteligentes

Dissertação apresentada à Universidade do  
Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Mestre em Computação Aplicada.

Aprovado em 28 de julho de 2015.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Sandro José Rigo – UNISINOS

---

Prof. Dr. Daniel V. Abs da Cruz – UNISINOS

---

Prof. Dr. Seiji Isotani - USP

Profa. Dra. Patrícia Augustin Jaques Maillard

Visto e permitida a impressão  
São Leopoldo,

Prof. Dr. Cristiano André da Costa  
Coordenador PPG em Computação Aplicada

Dedico este trabalho aos meus familiares  
e a todos que contribuíram para sua realização.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais, Ernesto e Silanda, por terem me dado tudo o que sempre precisei: amor e carinho. Todo o resto foi conquistado com base nestes gestos afetivos que sempre tive à disposição. Também agradeço aos demais familiares, que compreenderam a minha ausência, em muitos momentos, como algo necessário para a conquista de um importante objetivo.

Agradeço à minha orientadora, Patrícia, que nestes 2 anos de Mestrado se mostrou uma pessoa competente, atenciosa e muito querida. Meu obrigado à atenção e ao comprometimento durante a orientação deste trabalho.

Também agradeço aos demais professores do curso de Mestrado que transmitiram sua expertise e, sempre que necessário, estiveram à disposição para o esclarecimento de dúvidas e troca de ideias.

Um agradecimento às escolas que foram parceiras durante a realização das avaliações com alunos e aos integrantes do grupo de pesquisa PAT2Math, especialmente o Henrique Seffrin, que sempre esteve à disposição para o esclarecimento de dúvidas relacionadas à pesquisa com o sistema tutor.

*“Not ignorance, but ignorance of ignorance, is the death of knowledge.”*

Alfred North Whitehead

## RESUMO

Alunos conscientes de seus processos cognitivos apresentam melhores desempenhos e são mais estratégicos do que alunos que não possuem essa consciência. O conhecimento de uma pessoa sobre os próprios processos cognitivos é chamado de metacognição. É um construto fundamental para a aprendizagem autorregulada, em que o próprio aluno define suas metas de aprendizagem, planeja e seleciona estratégias de estudo, monitora e avalia o seu desempenho e controla sua aprendizagem. Mais especificamente, a habilidade metacognitiva fundamental para as demais habilidades é a de monitoramento do conhecimento, a capacidade de uma pessoa de identificar o que sabe e o que não sabe. Os processos metacognitivos podem ser melhorados através de treinamento. Os trabalhos relacionados treinam habilidades metacognitivas, porém, apresentam, no mínimo, alguma das seguintes lacunas: não incitar o aluno, explicitamente, a refletir sobre seu conhecimento; não explicitar a importância da habilidade de monitoramento do conhecimento; não avaliar a habilidade de monitoramento do conhecimento. Além disso, nenhum dos trabalhos adapta ao aluno a etapa da instrução que incita o monitoramento do conhecimento. O presente trabalho propõe um modelo de agente pedagógico para treinar, explicitamente, a habilidade do aluno de monitorar o seu conhecimento. O modelo adapta a quantidade e o conteúdo da instrução metacognitiva ao aluno, a fim de fazê-lo: ter uma atitude menos reativa, refletindo sobre seu conhecimento antes de resolver uma tarefa; refletir sobre o conhecimento já demonstrado; refletir sobre tarefas similares resolvidas anteriormente. O modelo pode ser integrado a Sistemas Tutores Inteligentes do tipo *step-based* que forneçam informações sobre o conhecimento do aluno no domínio, o histórico de resolução de tarefas e o conhecimento possível de ser aplicado em um próximo passo de tarefa. O agente foi implementado e integrado ao STI de álgebra PAT2Math para uma avaliação experimental com 63 alunos. Os resultados da avaliação apresentaram evidências indicando que a instrução do agente pode melhorar a habilidade de monitoramento do conhecimento do aluno. Os resultados também indicaram que a instrução do agente pode melhorar o desempenho do aluno no domínio. Além disso, foi encontrada uma alta correlação entre a habilidade metacognitiva e o desempenho do aluno no domínio.

**Palavras-chave:** Metacognição. Instrução Metacognitiva. Habilidade de Monitoramento do Conhecimento. Sistemas Tutores Inteligentes.



## ABSTRACT

Students who are aware of their metacognitive processes have better performance and are more strategic than students who do not have this awareness. Metacognition is the knowledge of a person on their own cognitive processes. It is a fundamental construct for self-regulated learning, in which the students define their learning goals, plans and select study strategies, monitor and evaluate their performance and control their learning. More specifically, a fundamental metacognitive skill is knowledge monitoring, that is, a person's ability to identify what she knows and what she does not know. The metacognitive processes can be improved through training. Some related works have sought to train learner's metacognitive skills, however, they have at least some of the following shortcomings: do not incite the student to reflect on their knowledge explicitly; do not explain the importance of metacognitive skills; do not evaluate the knowledge monitoring skill. In addition, none of the work adapts the instruction step that incites the monitoring of knowledge to student's knowledge and metacognitive skills. The present work proposes a pedagogical agent model to train, explicitly, the student's ability to monitor his knowledge. The model adapts the quantity and content of metacognitive instruction to the student, so that: he would have a less reactive attitude, he would reflect on their knowledge before solving a task; he would reflect on the knowledge already demonstrated; he would reflect on similar tasks resolved earlier. The model can be integrated with step-based Intelligent Tutoring Systems that provide information about the student's knowledge in the domain, the solving task history and the possible knowledge to be applied in a next step. The agent was implemented and integrated into an algebra STI for an experimental evaluation with 63 students. Evaluation results presented evidences indicating that the instruction of the agent can improve the student's knowledge monitoring ability. The results also indicated that the agent's instruction can improve student performance in the domain. In addition, a high correlation between metacognitive level and performance in the domain was found.

**Key-words:** Metacognition. Metacognition Instruction. Knowledge Monitoring Ability. Intelligent Tutoring Systems.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Conceitos relevantes sobre metacognição .....	25
Quadro 2 – Métodos comuns aplicados na avaliação metacognitiva .....	33
Quadro 3 – Unidades de conhecimento inferidas e mantidas pelo Modelo de Aluno.....	59
Quadro 4 – ACAs que treinam habilidades metacognitivas.....	65
Quadro 5 – Matriz de escores KMA.....	89
Quadro 6 – Exemplo de avaliações KMA e seus pesos .....	89
Quadro 7 – Classificação KMA.....	91
Quadro 8 – Níveis de <i>prompts</i> metacognitivos .....	99
Quadro 9 – Fluxo de processamento do Ciclo Externo .....	114
Quadro 10 – Fluxo de processamento do ciclo interno .....	115
Quadro 11 – Prompts <i>metacognitivos</i> exibidos pelo APA .....	116
Quadro 12 – Fluxo de processamento do mecanismo de <i>prompts</i> metacognitivos.....	118
Quadro 13 – Fluxo do processo de estimativa do conhecimento .....	119
Quadro 14 – Fluxo de <i>self-explanation</i> .....	120
Quadro 15 – Questões do questionário de engajamento .....	141

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mecanismo teórico do relacionamento entre metacognição e cognição.....	29
Figura 2: Modelo de metacognição de Tobias e Everson.....	31
Figura 3: Matriz de escore e estimativa de item.....	35
Figura 4: Rendimento de alunos nas três condições instrucionais de Bloom.....	44
Figura 5: Interdisciplinaridade do campo de pesquisa de IA e Educação.....	46
Figura 6: Iterações <i>outer loop</i> e <i>inner loop</i> .....	53
Figura 7: Agente Pedagógico Animado Steve.....	55
Figura 8: Arquitetura do sistema especialista do PAT2Math.....	57
Figura 9: Fragmento de tabela de banco de dados que guarda o conhecimento do aluno.....	60
Figura 10: Interface do PAT2Math + PATEquation.....	61
Figura 11: Refletômetro utilizado pelo modelo RA.....	70
Figura 12: Arquitetura do modelo RA.....	71
Figura 13: Interface gráfica do MetaTutor.....	74
Figura 14: Modelo de comportamento desejado de <i>help-seeking</i> .....	77
Figura 15: Exemplo de tarefa e passos de tarefa no domínio de equações algébricas.....	86
Figura 16: Fluxograma do funcionamento do ciclo interno do agente metacognitivo.....	92
Figura 17: Regra de ativação do ciclo interno quando decisão por nível metacognitivo.....	94
Figura 18: Regras de seleção dos níveis de <i>prompts</i> .....	101
Figura 19: Arquitetura do agente metacognitivo e sua interação com o STI.....	104
Figura 20: Agente Pedagógico Animado PAT.....	109
Figura 21: Arquitetura de implementação do agente metacognitivo integrado ao PAT2Math .....	113
Figura 22: Caixa de diálogo da estimativa de conhecimento.....	118
Figura 23: <i>Feedback</i> imediato de comportamento inadequado.....	118
Figura 24: Caixa de <i>Self-Explanation</i> .....	121
Figura 25: <i>Feedback</i> atrasado sobre nível metacognitivo insatisfatório.....	122
Figura 26: <i>Feedback</i> atrasado sobre nível metacognitivo satisfatório.....	122
Figura 27: Fragmento da interface do PATEquation.....	123
Figura 28: Projeto da avaliação.....	126
Figura 29: Agente metacognitivo modificado para o grupo de controle.....	128

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Panorama dos alunos participantes da avaliação .....	130
Tabela 2 – Informações estatísticas dos índices metacognitivos nos grupos de alunos .....	133
Tabela 3 – Informações sobre os ganhos de índice metacognitivo nos grupos de alunos.....	135
Tabela 4 – Informações sobre o desempenho no domínio nos grupos de alunos.....	136
Tabela 5 – Correlação do índice metacognitivo com o desempenho no domínio.....	137
Tabela 6 – Resultados estatísticos do questionário de engajamento .....	140

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Gráfico do teste estatístico sobre os índices metacognitivos no pós-teste .....	133
Gráfico 2 – Médias do índice metacognitivo no pré-teste e pós-teste dos grupos de alunos .	134
Gráfico 3 - Correlação do índice KMA X desempenho no grupo experimental.....	139

## LISTA DE SIGLAS

ACA	Ambiente Computacional de Aprendizagem
AJAX	Asynchronous Javascript and XML
AMT	Affective Meta-Tutoring
ANOVA	Analysis of Variance
APA	Agente Pedagógico Animado
API	Application Programming Interface
CAI	Computer Aided Instruction
CG	Coeficiente Gamma
CH	Coeficiente Hamman
DOM	Document Object Model
EOL	Ease of Learning
FOC	Feeling of Confidence
FOK	Feeling of Knowing
FOS	Feeling of Satisfaction
GUI	Graphical User Interface
IA	Inteligência Artificial
ICAI	Intelligent Computer Aided Instruction
JOL	Judgement of Learning
JSP	Java Server Pages
KMA	Knowledge Monitoring Assessment
KMB	Knowledge Monitoring Bias
MC	Monitoramento do Conhecimento
MIRA	Metacognitive Instruction using a Reflective Approach
MVC	Model-View-Controller
PAT	Pedagogical and Affective Tutor
PAT2Math	Personal Affective Tutor to Math
PLN	Processamento de Linguagem Natural
RA	Reflection Assistant
RBD	Rede Bayesiana Dinâmica
SA	Step Analyzer
SG	Step Generator

SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
STI	Sistema Tutor Inteligente
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
WBLE	Web-Based Learning Environment
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>20</b>
<b>1.2</b>	<b>Organização do documento .....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>METACOGNIÇÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1</b>	<b>Visão Geral.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	<b>Componentes da Metacognição.....</b>	<b>24</b>
2.2.1	Conhecimento metacognitivo.....	24
2.2.2	Julgamento e monitoramento dos próprios processos de aprendizagem.....	26
2.2.3	Autorregulação e controle da cognição .....	27
<b>2.3</b>	<b>Aprendizagem autorregulada.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4</b>	<b>Relacionamento entre a metacognição e a cognição.....</b>	<b>28</b>
<b>2.5</b>	<b>Monitoramento do conhecimento .....</b>	<b>30</b>
<b>2.6</b>	<b>Avaliação da metacognição.....</b>	<b>33</b>
2.6.1	KMA - <i>Knowledge Monitoring Assesment</i> .....	34
<b>2.7</b>	<b>Instrução metacognitiva.....</b>	<b>36</b>
2.7.1	<i>Scaffolding</i> .....	37
2.7.2	<i>Prompts e feedbacks</i> .....	38
2.7.3	<i>Self-explanation</i> .....	39
2.7.4	Instrução da habilidade do monitoramento do conhecimento.....	40
<b>3</b>	<b>SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Visão geral .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>Arquitetura .....</b>	<b>46</b>
3.2.1	Módulo do Domínio .....	47
3.2.2	Modelo do Aluno.....	48
3.2.3	Módulo de Tutoria.....	49
3.2.4	Módulo de Comunicação.....	52
<b>3.3</b>	<b>Funcionamento .....</b>	<b>52</b>
3.3.1	<i>Outer Loop</i> .....	53
3.3.2	<i>Inner Loop</i> .....	54
<b>3.4</b>	<b>Agentes pedagógicos animados .....</b>	<b>55</b>
<b>3.5</b>	<b>PAT2Math.....</b>	<b>56</b>
3.5.1	Sistema especialista .....	56



3.5.2	Modelo de Aluno .....	58
<b>3.6</b>	<b>PATEquation .....</b>	<b>61</b>
<b>4</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS .....</b>	<b>63</b>
<b>4.1</b>	<b>Modelo RA – Reflection Assistant Model.....</b>	<b>69</b>
<b>4.2</b>	<b>MetaTutor .....</b>	<b>73</b>
<b>4.3</b>	<b>Help Tutor .....</b>	<b>75</b>
<b>4.4</b>	<b>MIST .....</b>	<b>78</b>
<b>4.5</b>	<b>Treinamento de habilidades investigatórias .....</b>	<b>79</b>
<b>4.6</b>	<b>Outros trabalhos .....</b>	<b>79</b>
<b>4.7</b>	<b>Considerações finais .....</b>	<b>82</b>
<b>5</b>	<b>MODELO DE AGENTE PEDAGÓGICO METACOGNITIVO.....</b>	<b>85</b>
<b>5.1</b>	<b>Escores KMA .....</b>	<b>88</b>
<b>5.2</b>	<b>Índice KMA.....</b>	<b>90</b>
<b>5.3</b>	<b>Ciclos do agente metacognitivo .....</b>	<b>91</b>
5.3.1	Ciclo interno do agente metacognitivo.....	92
5.3.2	Ciclo externo do agente metacognitivo .....	93
<b>5.4</b>	<b><i>Feedbacks</i> atrasados e imediatos.....</b>	<b>96</b>
<b>5.5</b>	<b><i>Prompts</i> metacognitivos.....</b>	<b>98</b>
5.5.1	Seleção dos níveis de <i>prompts</i> .....	100
<b>5.6</b>	<b>Arquitetura do agente metacognitivo .....</b>	<b>103</b>
5.6.1	O STI na arquitetura do agente metacognitivo.....	104
5.6.2	Arquitetura interna do agente metacognitivo .....	105
<b>6</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO E INTEGRAÇÃO COM O STI PAT2MATH .....</b>	<b>108</b>
<b>6.1</b>	<b>Agente Pedagógico Animado .....</b>	<b>109</b>
<b>6.2</b>	<b>Implementação e integração do agente metacognitivo com o PAT2Math .....</b>	<b>110</b>
6.2.1	Fluxo do Ciclo Externo .....	114
6.2.2	Fluxo do Ciclo Interno.....	115
6.2.3	<i>Prompts</i> metacognitivos .....	115
6.2.4	Estimativas de conhecimento e atualização do índice metacognitivo.....	118
6.2.5	<i>Self-Explanations</i> .....	120
6.2.6	<i>Feedbacks</i> atrasados .....	121
<b>6.3</b>	<b>Teste-piloto .....</b>	<b>122</b>
<b>6.4</b>	<b>Cenário de exemplo .....</b>	<b>123</b>
<b>7</b>	<b>AVALIAÇÃO E RESULTADOS.....</b>	<b>125</b>

<b>7.1</b>	<b>Materiais e métodos.....</b>	<b>125</b>
<b>7.2</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>130</b>
7.2.1	Ganhos na habilidade metacognitiva.....	131
7.2.2	Ganhos de desempenho no domínio.....	135
7.2.3	Correlação do índice metacognitivo com o desempenho no domínio.....	137
7.2.4	Questionário de engajamento .....	139
<b>7.3</b>	<b>Discussão sobre os resultados .....</b>	<b>142</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>145</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>149</b>
	<b>APÊNDICE A – ESTIMATIVAS DO CONHECIMENTO NO PRÉ-TESTE .....</b>	<b>158</b>
	<b>APÊNDICE B – DESEMPENHO NO DOMÍNIO NO PRÉ-TESTE .....</b>	<b>159</b>
	<b>APÊNDICE C – ESTIMATIVAS DO CONHECIMENTO NO PÓS-TESTE .....</b>	<b>160</b>
	<b>APÊNDICE D – DESEMPENHO NO DOMÍNIO NO PÓS-TESTE .....</b>	<b>161</b>
	<b>APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO APLICADO NO PÓS-TESTE DA AVALIAÇÃO.....</b>	<b>162</b>
	<b>APÊNDICE F – AMOSTRAS DE DADOS DA AVALIAÇÃO .....</b>	<b>163</b>
	<b>APÊNDICE G - MENSAGENS DOS <i>PROMPTS</i> METACOGNITIVOS.....</b>	<b>165</b>
	<b>APÊNDICE H – DIAGRAMA DE CLASSES DA CAMADA DE SERVIÇO DO AGENTE METACOGNITIVO .....</b>	<b>169</b>
	<b>APÊNDICE I – MODELO LÓGICO DO BANCO DE DADOS .....</b>	<b>170</b>
	<b>ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....</b>	<b>171</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Saber identificar o que se sabe e o que não se sabe sobre determinado domínio de conhecimento é ingrediente fundamental para o sucesso escolar. Alunos que possuem esta habilidade metacognitiva são mais propensos a remediar suas fraquezas de aprendizagem, mobilizando esforços para a aquisição dos conhecimentos deficitários. (FOGARTY, 1994). Também são mais predispostos a buscarem ajuda, quando necessário (STAVRIANOPOULOS, 2007), e a estudarem estrategicamente, definindo objetivos, planejando, selecionando estratégias, monitorando e avaliando o progresso dos estudos. (TOBIAS; EVERSON, 2002).

A habilidade do aluno de identificar o que sabe e o que não sabe é chamada por pesquisadores da área de Psicologia Educacional como **habilidade de monitoramento do conhecimento**. É considerada uma habilidade metacognitiva (conhecimento de uma pessoa sobre os próprios processos cognitivos), pois exige do aluno o monitoramento de um componente da sua cognição, a memória. Estudos indicam que o monitoramento preciso do conhecimento tem relação com o sucesso na aprendizagem em todos os cenários acadêmicos. (TOBIAS; EVERSON, 2002).

É conhecido que nem todos os alunos se engajam espontaneamente em um pensamento metacognitivo, ao menos que sejam explicitamente encorajados, através de atividades instrucionais. (SCHOENFELD, 1987; BERARDI-COLETTA; BUYER; DOMINOWSKI; RELLINGER, 1995; BRANSFORD et al., 1999; CHI; BASSOK; LEWIS; REIMANN; GLASER, 1989). Além disso, já foi demonstrado que processos metacognitivos podem ser melhorados através de treinamento. (DESOETE; ROEYERS; DE CLERCQ, 2003; KRAMARSKI; MEVARECH; ARAMI, 2002). Dessa forma, pesquisadores recomendam o foco do ensino visando à melhora das habilidades metacognitivas dos alunos. (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 1999).

Sobre o treinamento de habilidades metacognitivas, Veenman, Hout-Wolters e Afflerbach (2006) destacam três fundamentos: a) a instrução metacognitiva deve ser integrada na instrução de domínio específico; b) os alunos devem ser informados sobre a utilidade das ações metacognitivas; c) o treinamento deve ser prolongado. Desoete (2009) também coloca que uma característica importante para o projeto de instrução metacognitiva é que as habilidades metacognitivas devem ser explicitamente ensinadas, ou seja, os alunos precisam ser informados que estão recebendo instrução sobre tais habilidades.

Ambientes computacionais de aprendizagem podem apoiar a melhora do conhecimento metacognitivo dos alunos através de uma instrução que fornece uma assistência que é diminuída à medida que a competência do aluno aumenta. (AZEVEDO; HADWIN, 2005). Este tipo de assistência é conhecida como *scaffolding*. (WOOD et al., 1976 apud AZEVEDO; HADWIN, 2005, p. 368). Além disso, é importante para a aprendizagem dos alunos que os ambientes computacionais de aprendizagem possuam características de adaptabilidade e individualização do ensino. (MCCALLA, 1992; AZEVEDO; HADWIN, 2005).

É possível encontrar na literatura trabalhos que buscam treinar habilidades metacognitivas em ambientes computacionais de aprendizagem, entre as quais, comportamentos relativos à aprendizagem autorregulada, um construto vinculado à metacognição. No entanto, os trabalhos relacionados apresentam, no mínimo, alguma das seguintes lacunas: a) não explicitar, durante a instrução, a importância da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento para o aprendizado do aluno; b) não incitar o aluno, de forma explícita, a monitorar o seu conhecimento; c) não avaliar a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento. Além disso, nenhum dos trabalhos relacionados utiliza o nível corrente da habilidade de monitoramento do conhecimento do aluno, o conhecimento do aluno no domínio e o histórico de resolução de tarefas do aluno para adaptar a etapa da instrução que incita o aprendiz a monitorar o seu conhecimento. Este é o diferencial do trabalho proposto em relação aos trabalhos relacionados. As lacunas de cada trabalho relacionado são descritas na seção 4.

Não se tem conhecimento de ambientes computacionais de aprendizagem que adaptam o treinamento da habilidade de monitoramento do conhecimento a informações individuais do aluno. Para que essa adaptação seja possível, o treinamento do monitoramento do conhecimento deve ser integrado a sistemas de aprendizagem que forneçam ensino individualizado, ou seja, em que a instrução seja adaptada ao aprendiz, como no caso dos Sistemas Tutores Inteligentes.

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) utilizam técnicas de inteligência artificial que permitem adaptar a assistência de acordo com as necessidades e características do aluno. Os STIs são capazes de inferir e mapear o conhecimento do estudante através de um componente chamado Modelo de Aluno. Estas informações são guardadas para serem utilizadas nas tomadas de decisão do sistema relativas à adaptação do ensino para cada aluno. Os STIs também são capazes de representar o conhecimento especialista em um domínio através de um componente chamado Sistema Especialista. Este componente permite ao STI resolver os

mesmos problemas do domínio apresentados ao aluno e indicar se a solução do aluno está correta. Além disso, os STIs são ambientes computacionais que possibilitam a condição de ensino *one-to-one tutoring*, que atribui um tutor humano para cada aluno. Sabe-se que o desempenho dos estudantes nessa condição é superior ao desempenho na condição de instrução convencional em sala de aula, em que uma turma de alunos é ensinada por um único professor. (BLOOM, 1984). De fato, estudos recentes de meta-análise têm mostrado que STIs podem ser tão efetivos quanto um professor particular. (MA et al., 2014; STEENBERGEN-HU; COOPER, 2013, 2014). Em especial, os tutores do tipo *step-based*, que assistem os estudantes na resolução passo-a-passo de equações, mostraram-se ainda mais efetivos (VANLEHN, 2011).

O presente trabalho desenvolveu um modelo de agente pedagógico metacognitivo para treinar a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento do aluno, através de ações de *scaffolding* (*prompts*, *feedbacks* e *self-explanations*) que são adaptadas (quantidade de intervenções e conteúdo do *scaffolding*) ao conhecimento e histórico de atividades do aprendiz e ao seu nível metacognitivo. Além disso, o treinamento metacognitivo do agente é explícito, ou seja, o aluno é informado sobre a importância da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento na sua aprendizagem. O agente pretende melhorar o comportamento de monitoramento do conhecimento do aluno, fazendo-o: a) ter uma atitude menos reativa, refletindo sobre seu conhecimento antes de tentar resolver uma tarefa; b) refletir sobre o conhecimento já demonstrado; c) refletir sobre tarefas similares resolvidas anteriormente. O agente pedagógico foi modelado como um Agente Pedagógico Animado (APA), com o objetivo de possibilitar que as interações do aluno com o sistema ocorram de forma mais natural e antropomórfica. (LESTER et al., 1997). Os APAs são representados por um personagem animado (JAQUES; NUNES, 2012) que simula a presença de um professor (LESTER et al., 1997).

O modelo proposto pode ser integrado a STIs do tipo *step-based* que acompanham os passos de solução de tarefas dos alunos, e que disponibilizam informações inferidas por componentes inteligentes como o Modelo de Aluno e o Sistema Especialista. O modelo de agente pedagógico foi implementado e integrado, como estudo de caso, ao STI PAT2Math (*Personal Affective Tutor to Math*), um sistema tutor *step-based* que assiste os alunos nos passos de resolução de equações de 1º e 2º graus com uma incógnita. O sistema possui um editor de álgebra denominado PATEquation que auxilia o estudante durante a resolução de equações algébricas. Também conta com um Sistema Especialista responsável por corrigir equações algébricas, verificar se os passos do aluno são corretos e identificar os possíveis

caminhos de resolução em um próximo passo. (JAQUES et al., 2013). Além disso, possui um Modelo de Aluno que guarda o histórico de resolução de equações do aluno e um mecanismo de inferência de conhecimento que infere a probabilidade do aluno de dominar as unidades de conhecimento no domínio. (SEFFRIN, 2015).

Para verificar a hipótese de pesquisa foi realizada uma avaliação experimental do agente pedagógico proposto, seguindo um desenho grupo de controle versus grupo experimental com pré e pós-testes. O agente pedagógico animado foi integrado ao STI de álgebra PAT2Math e utilizado por 63 alunos de turmas de 7ª e 8º Anos do Ensino Fundamental em quatro escolas da região do Vale dos Sinos, no Rio Grande do Sul, durante três ou quatro semanas, dependendo da escola. Os alunos foram atribuídos, aleatoriamente, a dois grupos: controle e experimental. O grupo experimental utilizou o STI com a instrução metacognitiva do agente. O outro grupo, de controle, utilizou o STI sem a instrução metacognitiva. Através de sessões de pré e pós-testes, foram coletados dados dos alunos relativos à habilidade de monitoramento do conhecimento e o desempenho no domínio. Um questionário foi aplicado no pós-teste possibilitando que os alunos avaliassem o seu engajamento nas sessões de uso do sistema. Os resultados foram analisados e descritos na seção 7.2.

## **1.1 Objetivos**

A hipótese de pesquisa que o presente trabalho busca mostrar é: “um agente pedagógico que fornece instrução explícita e individualizada sobre a habilidade de monitoramento do conhecimento em um STI melhora a habilidade do aluno em monitorar o que ele sabe e o que não sabe para resolver um determinado problema”. Dessa forma, o objetivo geral do trabalho é verificar se um agente pedagógico melhora a habilidade de monitoramento do conhecimento dos alunos através do treinamento individualizado e explícito dessa habilidade por ações de reflexão metacognitiva em um Sistema Tutor Inteligente. Um diferencial desse trabalho em relação ao estado da arte é que o treinamento da habilidade de monitoramento do conhecimento é individualizado, ou seja, a quantidade e o conteúdo da instrução metacognitiva é adaptado considerando informações do Modelo de Aluno como o conhecimento do estudante no domínio e seu histórico de resolução de equações. O agente também considera, para adaptar a instrução, o estado corrente da habilidade de monitoramento do conhecimento do estudante.

Especificamente, pretende-se: a) verificar se o treinamento metacognitivo no STI melhora a habilidade dos alunos de monitorar o seu conhecimento; b) verificar se o treinamento do monitoramento do conhecimento melhora a aprendizagem; c) verificar se pode ser observada correlação entre a habilidade de monitoramento do conhecimento e a aprendizagem dos alunos no domínio a ser ensinado quando o aluno recebe a instrução metacognitiva do agente. A correlação entre a habilidade metacognitiva do monitoramento do conhecimento e a aprendizagem já foi encontrada em ambientes convencionais de aprendizagem (TOBIAS; EVERSON, 2002), porém, ainda não em STIs.

Para atingir o objetivo geral e os objetivos específicos propostos, o estudo compreendeu a definição de um modelo de agente pedagógico para treinar a habilidade metacognitiva do aluno de monitorar o seu conhecimento. Em termos gerais, o agente pedagógico se propõe a atribuir ao aluno ações de reflexão metacognitiva que visam melhorar a sua precisão em monitorar o que sabe e o que não sabe para resolver problemas de determinados domínios de conhecimento. O modelo também propõe uma adaptação da entrega (quantidade e conteúdo) das ações reflexivas de acordo com as seguintes características do aprendiz: a) nível corrente da habilidade de monitoramento do conhecimento, b) conhecimento no domínio e c) histórico de resolução de problemas. As ações reflexivas são intervenções do agente na interface gráfica do sistema, através de mensagens textuais ou representações gráficas, que incitam o aluno a refletir sobre o seu conhecimento.

## **1.2 Organização do documento**

O capítulo 2 descreve conceitos relacionados à metacognição, com o objetivo de embasar o leitor sobre este importante construto subjacente à proposta. São descritos os componentes da metacognição, seu relacionamento com a cognição, as formas de avaliação metacognitiva e estudos sobre a instrução metacognitiva em ambientes computacionais de aprendizagem. A habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento também é apresentada, com os principais conceitos, estratégias relacionadas a esta habilidade e um instrumento de avaliação da habilidade do aluno de monitorar o que sabe e o que não sabe.

O capítulo 3 descreve os Sistemas Tutores Inteligentes. Primeiramente é apresentada uma visão geral sobre STIs, passando pelos componentes tradicionalmente encontrados neste tipo de sistema, e o funcionamento geral dos STIs. Por fim, é apresentado o STI PAT2Math, juntamente de seus principais componentes. No capítulo 4 são apresentados os trabalhos

relacionados, salientando questões importantes não tratadas por estes estudos e que são consideradas no presente trabalho. No capítulo 5 consta a descrição do modelo metacognitivo proposto, apresentando detalhes de seus mecanismos instrucionais e de sua interação com STIs. O capítulo 6 apresenta questões de implementação e de integração do agente com o STI PAT2Math. O capítulo 7 descreve a avaliação realizada com grupos de alunos e a análise dos resultados obtidos. As conclusões do presente trabalho são apresentadas no capítulo 8.



## 2 METACOGNIÇÃO

Este capítulo introduz conceitos sobre metacognição e a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento. A sessão 2.2 fornece uma descrição sobre os componentes da metacognição, enquanto que a sessão 2.3 descreve o construto da aprendizagem autorregulada, que é fortemente relacionado à metacognição. A sessão 2.4 descreve o relacionamento existente entre a metacognição e a cognição, auxiliando na compreensão da diferenciação entre estes dois conceitos. A sessão 2.5 apresenta o construto do monitoramento do conhecimento. Os principais métodos de avaliação metacognitiva, com ênfase para o instrumento KMA, que avalia a habilidade do aluno de monitorar seu conhecimento, são descritos na sessão 2.6. Para finalizar, a sessão 2.7 descreve os achados relacionados à instrução metacognitiva.

### 2.1 Visão Geral

John Flavell foi o primeiro pesquisador a utilizar o termo metacognição (HARTMANN, 1998; TARRICONE, 2011), em um artigo de 1976, no qual descreve o construto: “Metacognição se refere ao próprio conhecimento sobre os próprios processos e produtos cognitivos ou qualquer coisa relacionada a eles”. (FLAVELL, 1976 apud BROWN, 1977, p. 8, tradução nossa). Uma versão resumida define a metacognição como os pensamentos sobre os próprios pensamentos. (FLAVELL, 1979).

O termo metacognição é composto pelas palavras “meta” e “cognição”. O prefixo *meta* tem origem grega e significa “sobre”. Em relação à cognição, o trabalho de Flavell, Miller, P., Miller, S. (1999) refere-se a este construto como um conceito amplo demais para ser limitado a uma definição precisa e fechada.

Uma forma bastante simples de compreender o conceito de metacognição é responder a seguinte questão: quando foi a última vez que tentou lembrar o nome de uma pessoa, mas não conseguiu lembrar? Nesse caso, poderia não lembrar o nome do indivíduo, mas tinha absoluta certeza de que sabia o nome da pessoa e que em outro momento conseguiria lembrar. Este tipo de evento é metacognitivo porque o indivíduo está tendo um pensamento sobre um aspecto da cognição, no caso, o pensamento de que o nome da pessoa que se quer recordar está registrado na memória. Outro exemplo é quando uma pessoa decide fazer uma lista de compras para ir ao supermercado, porque sabe que poderá ter dificuldade de recordar todos os produtos de que necessita. Entender os limites da memória também é uma forma de

metacognição, pois tem relação com crenças e conhecimento sobre a memória. (DUNLOSKY; METCALFE, 2009).

No artigo seminal de 1976, Flavell ainda descreve alguns exemplos para explicar a metacognição:

[...] Por exemplo, eu estou engajado em metacognição (metamemória, meta-aprendizado, meta-atenção, metalinguagem ou o que quer que seja) se eu notar que estou tendo mais problema aprendendo A do que B; se me dou conta que eu deveria checar duas vezes C antes de aceitá-lo como fato. [...] Se eu me tornar consciente de que é melhor eu tomar nota de D porque eu posso esquecê-lo. [...] (FLAVELL, 1976 apud TARRICONE, 2011, p. 2, tradução nossa).

Metacognição não deve ser confundida com pensamento crítico, porém, pensadores críticos provavelmente empregarão algumas estratégias metacognitivas, mesmo que eles não saibam que estão empregando. (KOLENČIK; HILLWIG, 2011). As habilidades metacognitivas incluem o controle consciente da aprendizagem, o planejamento e a seleção de estratégias, o monitoramento dos progressos de aprendizagem, a correção de erros, análise da efetividade das estratégias de aprendizagem, e a modificação dos comportamentos e estratégias de aprendizagem quando necessário. (RIDLEY et al., 1992).

## 2.2 Componentes da Metacognição

Segundo Pintrich, Wolters e Baxter (2000) e Dunlosky e Metcalfe (2009), os processos metacognitivos podem ser divididos em três componentes principais: a) conhecimento metacognitivo; b) julgamento e monitoramento dos próprios processos de aprendizagem; c) autorregulação e controle da cognição. Estes componentes são descritos nas próximas seções. A visão consensual é que todos estes três componentes da metacognição são necessários para regular a aprendizagem eficientemente e efetivamente. (TOBIAS; EVERSON, 2009). Alguns destes conceitos são resumidos no Quadro 1.

### 2.2.1 Conhecimento metacognitivo

Flavell (1979) descreve que o conhecimento metacognitivo consiste principalmente de conhecimentos ou crenças sobre os fatores ou variáveis que agem e interagem de forma que afetem o curso e os resultados dos empreendimentos cognitivos. O autor classifica os fatores e variáveis em três categorias: pessoa, tarefa e estratégia. A **categoria pessoa** engloba tudo o que uma pessoa poderia vir a acreditar da natureza de si mesma e de outras pessoas como

processadores metacognitivos. A crença de uma pessoa que ela aprende melhor escutando do que lendo e a crença de uma pessoa de que um dos seus amigos tem melhor desempenho social do que outro amigo são exemplos da categoria pessoa.

Quadro 1 – Conceitos relevantes sobre metacognição

Conceito	Definição	Exemplos
cognição	atividades mentais simbólicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aprendizagem, solução de problema, racionalização, memória.</li> </ul>
metacognição	cognições sobre outras cognições.	
conhecimento metacognitivo	conhecimento sobre um tipo de cognição.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• conhecimento sobre como o aprendizado funciona;</li> <li>• conhecimento sobre como melhorar a aprendizagem.</li> </ul>
monitoramento metacognitivo	avaliar o atual estado de uma atividade cognitiva.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• julgar se você está se aproximando de uma solução correta para o problema;</li> <li>• avaliar quão bem você entende o que está lendo.</li> </ul>
controle metacognitivo	regular algum aspecto de uma atividade cognitiva.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• decidir usar uma nova tática para resolver um problema difícil;</li> <li>• decidir utilizar mais tempo tentando lembrar a resposta para uma pergunta.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Dunlosky e Metcalfe (2009).

A **categoria tarefa** inclui conhecimentos sobre como as variações das tarefas podem influenciar a cognição. Por exemplo, um enunciado de problema que fornece várias informações sobre o problema será geralmente mais fácil de ser resolvido do que um enunciado de problema que fornece poucas informações sobre o problema. Quando um aluno entende esta ideia, ela compõe o seu conhecimento metacognitivo sobre tarefas. Outro exemplo citado por Flavell é que os alunos podem saber que algumas tarefas envolvem empreendimentos cognitivos mais exigentes e difíceis do que outras tarefas, como lembrar uma história na íntegra, ao invés de apenas lembrar a essência da história. (FLAVELL, 1979).

A **categoria estratégia** diz respeito ao conhecimento de estratégias para alcançar determinados objetivos. Um aluno poderia acreditar que uma boa forma de aprender e reter uma quantidade grande de informações é prestar atenção nos pontos principais e tentar repeti-los para si mesmo com suas próprias palavras. (FLAVELL, 1979). Uma pessoa pode ter conhecimento de estratégias cognitivas mais sofisticadas, como o de passar mais tempo estudando materiais mais importantes ou menos familiares do que materiais menos importantes e já aprendidos. (FLAVELL; MILLER, P.; MILLER, S., 1999). Outro exemplo de conhecimento metacognitivo da categoria estratégia foi retirado do artigo de Barry Zimmerman (1998), que apresenta comportamentos autorregulados de escritores, músicos e esportistas. Consta uma estratégia utilizada pelo escritor norte-americano Ernest Miller Hemingway, relacionada à escrita. Segundo o artigo, Hemingway, todos os dias, parava de escrever no meio de uma sentença, propositalmente, porque ele descobriu que esta estratégia o fazia começar a escrever sem atrasos no dia seguinte.

### 2.2.2 Julgamento e monitoramento dos próprios processos de aprendizagem

O componente metacognitivo de **juízo e monitoramento dos próprios processos de aprendizagem** se refere à avaliação do andamento ou do atual estado de uma determinada atividade cognitiva. (DUNLOSKY; METCALFE, 2009). Podem estar incluídos quatro processos metacognitivos: a) julgamentos de *ease of learning* (EOL); b) monitoramento da compreensão e da aprendizagem ou *judgements of learning* (JOL); c) *feeling of knowing* (FOK); d) julgamentos de confiança. O processo EOL diz respeito a fazer uma avaliação sobre quão fácil ou difícil será realizar uma determinada tarefa de aprendizagem. O processo JOL trata de monitorar a compreensão da aprendizagem. O processo FOK é sobre ter a consciência de saber algo, mas ser incapaz de lembrá-lo. Os julgamentos de confiança são os julgamentos sobre a correção ou adequabilidade de uma resposta. (PINTRICH; WOLTERS; BAXTER, 2000).

Segundo Flavell, Miller, P., Miller, S. (1999), o monitoramento metacognitivo envolve, por vezes, as chamadas experiências metacognitivas, que são experiências afetivas ou cognitivas pertinentes a uma iniciativa cognitiva. O trabalho dos autores cita alguns exemplos, como a súbita percepção de uma pessoa de que não está entendendo o que está lendo. Esta percepção pode instigar ações adaptativas, como por exemplo, reler o texto, repensar o que já entende sobre o texto (ou achava que entendia), ler mais um pouco para ver se alguma coisa adiante esclarece o que veio antes ou pedir a ajuda de alguém.

### 2.2.3 Autorregulação e controle da cognição

O componente metacognitivo de **autorregulação e controle da cognição** se refere às atividades que os indivíduos se engajam a fim de adaptar e mudar sua cognição ou comportamento. São conhecidas como atividades de autorregulação e controle. Por exemplo, um aluno pode decidir parar uma atividade, decidir continuá-la ou muda-la durante seu andamento. O conhecimento metacognitivo é importante neste componente, de forma que um aluno pode usar seu conhecimento sobre estratégias para superar determinadas dificuldades. (DUNLOSKY; METCALFE, 2009).

Flavell, Miller, P., Miller, S. (1999) utilizam um exemplo bastante claro para o entendimento sobre como os componentes da metacognição se relacionam. Uma estudante de segundo grau acomoda-se em sua escrivaninha para fazer sua lição de casa. Ela pode planejar em que ordem fazer cada trabalho. Pode também fazer testes consigo mesma sobre alguns conhecimentos que serão aplicados na próxima prova, para ver o quanto ainda tem que estudar. A estudante também pode verificar se as suas fichas de vocabulário estão realmente lhe ajudando. Estas são atividades de monitoramento e autorregulação. Foram exemplos de atividades de autorregulação a utilização de estratégias, como quando ela faz um teste consigo mesma e utiliza fichas de vocabulário, e o planejamento, como quando ela planeja a ordem das tarefas. Um exemplo de atividade de monitoramento é quando ela monitora se suas fichas de vocabulário estão lhe ajudando. As atividades de monitoramento e autorregulação se desenvolvem simultaneamente com o conhecimento metacognitivo. A estudante possui o conhecimento metacognitivo de que frequentemente comete erros de atenção nas operações de soma, e tal conhecimento a leva a sempre verificar duas vezes suas soluções para cada problema. Na direção oposta, sua autorregulação e seu monitoramento metacognitivos podem levar a novos conhecimentos metacognitivos, como quando ela aprende que sua memória para palavras beneficia-se mais de uma estratégia baseada no sentido da palavra do que na memorização.

Em relação às estratégias, Flavell, Miller, P., Miller, S. (1999) distinguem as estratégias cognitivas das estratégias metacognitivas. Enquanto que as estratégias cognitivas buscam ajudar a alcançar o objetivo de qualquer iniciativa cognitiva, as estratégias metacognitivas buscam oferecer informações sobre a iniciativa cognitiva ou seu progresso nela, ou seja, as estratégias metacognitivas servem para monitorar o progresso cognitivo. Um exemplo de estratégia metacognitiva é verificar duas vezes os próprios procedimentos e

produtos cognitivos. Esta estratégia poderia ser aplicada em vários domínios, como em jogos de xadrez e resolução de problemas de Física ou de Matemática.

### 2.3 Aprendizagem autorregulada

Outra definição muito comum encontrada nas pesquisas que envolvem o construto da metacognição é o de aprendizagem autorregulada. Metacognição é um termo mais antigo, que foi definido nos anos 1970 e que, como explicado anteriormente, se refere ao conhecimento relacionado aos próprios processos cognitivos. A partir dos anos 1980, o construto de aprendizagem autorregulada foi proposto por psicólogos para se referir às várias formas das pessoas monitorarem, controlarem e regularem sua aprendizagem. (PINTRICH; WOLTERS; BAXTER, 2000). Segundo Zimmerman (1989), a autorregulação se refere ao direcionamento de esforços pessoais para a aquisição de conhecimentos e habilidades, sem depender de professores, pais ou outros agentes de instrução. Aprendizes autorregulados são proativos na definição de metas, na seleção e implantação de estratégias, no monitoramento da efetividade de suas ações na aprendizagem e no controle da aprendizagem. (ZIMMERMAN, 2008).

Os alunos são autorregulados à medida que são participantes metacognitivos ativos em sua aprendizagem, além de outros aspectos motivacionais e comportamentais (ZIMMERMAN, 1989). O construto de aprendizagem autorregulada é subordinado ao construto da metacognição, pois incorpora tanto o monitoramento metacognitivo quanto o controle metacognitivo. Com isso, presume-se que aprendizes autorregulados monitoram e controlam sua aprendizagem (AZEVEDO et al., 2013a).

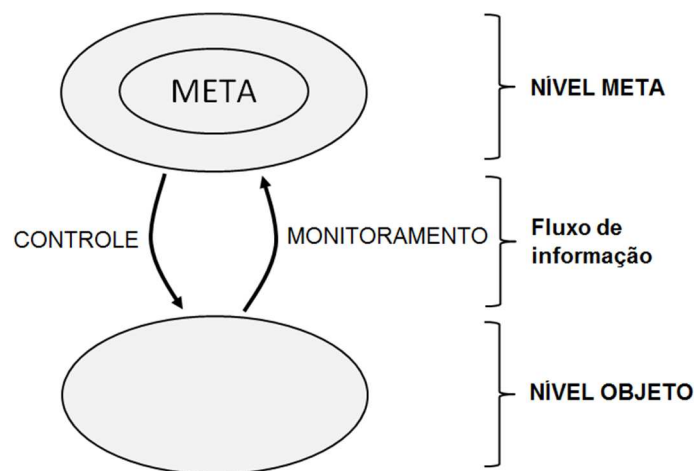
### 2.4 Relacionamento entre a metacognição e a cognição

Nelson e Narens (1990) desenvolveram um *framework* sobre o relacionamento existente entre a metacognição e a cognição. O *framework* divide os processos cognitivos em dois ou mais níveis inter-relacionados, mas Nelson e Narens (1990) trabalham com apenas dois níveis, que chamam de nível meta e nível objeto.

O **nível objeto** representa os processos cognitivos em andamento, como a aprendizagem, o processamento da linguagem, a solução de problema, entre outros. O **nível meta** contém um modelo que mantém a compreensão da pessoa sobre os processos cognitivos em andamento e que estão sendo engajados para completar uma determinada tarefa.

O nível meta é a metacognição e o nível objeto é a cognição. Há duas relações entre o nível objeto e o nível meta, chamados “controle” e “monitoramento”, e que são definidos em função da direção do fluxo da informação entre os dois níveis. (NELSON; NARENS, 1990). A Figura 1 apresenta o relacionamento entre os níveis. A noção básica relacionada ao controle é que a partir do modelo do nível meta é produzida uma atualização do nível objeto, ou seja, é produzido algum tipo de ação no nível objeto, como iniciar uma ação, continuar uma ação ou terminar uma ação. O conhecimento contido no modelo do nível meta é formado através do monitoramento da pessoa sobre o nível objeto. (DUNLOSKEY; METCALFE, 2009).

Figura 1: Mecanismo teórico do relacionamento entre metacognição e cognição.



Fonte: Adaptado de Nelson e Narens (1990).

Em outras palavras, é através do monitoramento que o nível meta é modificado e através do controle que o nível objeto é modificado. No exemplo de Flavell, Miller, P., Miller, S. (1999) sobre uma estudante, na seção 2.2.3, a aluna emprega esforços cognitivos (nível objeto) relacionados à utilização de fichas de vocabulário. No nível meta, a estudante tem o conhecimento de que utilizar tais fichas de vocabulário é uma boa estratégia. Através do monitoramento sobre o nível objeto, a aluna pode inferir que não está tendo avanços na aprendizagem e, dessa forma, o monitoramento sobre sua cognição aciona a modificação do nível meta, que passará a registrar o conhecimento de que a utilização das fichas de vocabulário não é uma boa estratégia. Através desse novo conhecimento metacognitivo no nível meta, o controle vai modificar o nível objeto, pois a aluna vai empregar outro processo cognitivo.

Com o objetivo de auxiliar o entendimento sobre como funciona o *framework*, Nelson e Narens (1990) descrevem uma metáfora sobre um aparelho telefônico, que Dunloski e

Metcalfe (2009) também utilizam, adaptando para um exemplo mais contemporâneo. Imagine que um amigo B liga para o amigo A, através de um telefone celular, para contar sobre um filme que acabou de assistir. O amigo A é o nível meta e o amigo B é o nível objeto. O objetivo do amigo A é entender a mensagem do amigo B. O modelo do amigo A sobre esta tarefa pode incluir várias crenças, por exemplo, que a comunicação não será satisfatória se ambos falarem ao mesmo tempo e que o amigo B não gosta de ser interrompido no meio de sua fala. Como o amigo A recebe o fluxo da informação do amigo B na medida em que ele fala, o amigo A está monitorando o andamento da mensagem do amigo B. Ao mesmo tempo, o amigo A pode pedir ao amigo B que repita alguma informação que não entendeu bem, ou pedir que o amigo B não conte o final do filme, ou até mesmo desligar o telefone. Estes últimos exemplos indicam um fluxo de controle, em que o amigo A está controlando a conversação para atingir seus objetivos. O monitoramento é usado para controlar a conversação. (DUNLOSKY; METCALFE, 2009).

## 2.5 Monitoramento do conhecimento

Nas últimas décadas, o grupo de pesquisa de Tobias e Everson desenvolveu estudos que buscaram entender um aspecto da metacognição, o monitoramento do conhecimento. A hipótese inicial do trabalho dos pesquisadores era de que alunos que não pudessem diferenciar entre o que sabem e o que não sabem dificilmente se engajariam em atividades metacognitivas, como avaliar sua aprendizagem ou fazer planos para a aprendizagem. (TOBIAS; EVERSON, 2002). Também não se espera que os alunos empreguem estratégias de estudo e aprendizagem mais eficientes. (TOBIAS; EVERSON, 2009). Estudos realizados durante vários anos apontaram positivamente para a hipótese inicial dos pesquisadores. (TOBIAS; EVERSON, 2002).

Segundo Tobias e Everson (2002), a tarefa do aluno de monitorar o seu conhecimento é complexa. O aluno precisa recuperar o conhecimento declarativo ou procedural da memória de longo prazo, compará-lo com o material do problema que lhe é apresentado, e fazer um julgamento se possui conhecimento para resolver o problema. Segundo o trabalho de Ullman (2004), o **conhecimento declarativo** está relacionado a conhecimentos sobre fatos (conhecimento semântico) e eventos (memória episódica), e parte deste conhecimento pode ser lembrado conscientemente. O **conhecimento procedural** geralmente não está disponível para acesso consciente, e tem relação, entre outras coisas, às habilidades e outros



procedimentos, como a habilidade em jogos de videogame e o conhecimento para andar de bicicleta. (ULLMAN, 2004).

A Figura 2 apresenta um modelo hierárquico desenvolvido por Tobias e Everson, em que a capacidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento é um pré-requisito para ativar outras habilidades metacognitivas. Eles argumentam que habilidades metacognitivas não podem ser efetivamente aplicadas na falta de um monitoramento de conhecimento preciso e que alunos precisos em monitorar o seu conhecimento utilizam muito tempo e energias em conteúdos novos e não familiares. Em contraste, os alunos com processos de monitoramento de conhecimento menos efetivos provavelmente irão alocar seu tempo e recursos menos efetivamente e perderão um bom tempo estudando o que eles já sabem e terão mais dificuldades em dominar novos assuntos. (TOBIAS et al., 1999 apud GAMA, 2004, p. 16).

Figura 2: Modelo de metacognição de Tobias e Everson.



Fonte: Traduzido de Tobias e Everson (2009).

O grupo de pesquisa de Tobias e Everson desenvolveu inúmeros estudos investigando a capacidade dos alunos de monitorar o seu conhecimento anterior. Os estudos apoiaram a hipótese de que alunos que diferenciam precisamente entre o que eles aprenderam anteriormente e o que eles ainda precisam aprender são mais capazes de focar sua atenção e outros recursos cognitivos sobre o material a ser aprendido. (TOBIAS; EVERSON, 2002). A consciência dos alunos sobre o que eles sabem e o que não sabem permitem que eles possam dar o primeiro passo para remediar suas áreas de conhecimento deficitárias. (FOGARTY, 1994). A importância de alunos conscientes sobre seu conhecimento também vai ao encontro de estudos de Boud e Falchikov (1989), que descrevem que uma das características dos aprendizes efetivos é que eles são realistas sobre os seus pontos fortes e fracos.

Estudos do grupo de Tobias e Everson indicam que a capacidade de monitorar o conhecimento tem relação com o sucesso dos alunos do Ensino Fundamental, Ensino Médio, Ensino Médio profissionalizante e Ensino Superior. (TOBIAS; EVERSON, 2000).

Outros estudos ainda sugerem o relacionamento existente entre a habilidade de monitoramento do conhecimento e o comportamento de busca de ajuda dos alunos, chamado de comportamento de *help-seeking*. (STAVRIANOPOULOS, 2007; TOBIAS; EVERSON, 2002). O processo de *help-seeking* é definido por Zimmerman (1998) como as escolhas de um aluno por materiais específicos, professores ou livros para auxiliar a si mesmo no aprendizado. Um aluno que utiliza estratégias de monitoramento de conhecimento tem mais probabilidade de buscar ajuda acadêmica quando necessário. (STAVRIANOPOULOS, 2007). O estudo de Stavrianopoulos (2007) indicou que alunos que são bons monitores do seu conhecimento tendem a se concentrar no estudo de materiais que não são familiares a eles, do que se focar em materiais que eles já possuem conhecimento. Estes achados estão de acordo com os resultados encontrados por Tobias e Everson (2002), em que alunos precisos no monitoramento do conhecimento pediram mais ajuda relacionada a palavras que eles indicaram serem desconhecidas, enquanto que alunos menos precisos no monitoramento do conhecimento buscaram mais ajuda sobre palavras que eles haviam estimado como sendo conhecidas. (TOBIAS; EVERSON, 2002). Tobias e Everson argumentam que o comportamento de *help-seeking* sinaliza um nível de consciência metacognitiva, já que o aluno que busca ajuda pode ter percebido uma lacuna no seu conhecimento.

O comportamento de *help-seeking* sinaliza também uma intenção do aluno para resolver o problema de aprendizagem. Esta consciência sugere que o aluno possa diferenciar entre o que ele sabe e o que não sabe. Desta forma, Tobias e Everson (2002) apresentam evidências de que medidas de monitoramento de conhecimento se relacionam com atividades de *help-seeking*.

Modelos instrucionais que buscam treinar a habilidade do aluno de monitorar o próprio conhecimento podem ser valoráveis em ambientes em que os alunos possuem excesso de confiança no seu conhecimento. Um estudo apresentado por Blackwood (2013) investigou a capacidade de 307 estudantes de graduação de julgar o atual estado de seus conhecimentos. O estudo indicou uma tendência geral de excesso de confiança no conhecimento dos alunos participantes. Considerando a visão de Tobias e Everson (2002) de que a capacidade dos alunos de distinguir entre o que sabem e o que não sabem é importante para o sucesso acadêmico, a tendência de excesso de confiança pode ser prejudicial para o sucesso de aprendizagem. Com isso, o trabalho de Blackwood (2013) sugere que intervenções que

procurem melhorar a capacidade de monitorar o conhecimento pode ter um valor importante nos cenários de alunos com excesso de confiança.

## 2.6 Avaliação da metacognição

Várias técnicas têm sido utilizadas por pesquisadores para avaliar as habilidades metacognitivas dos alunos, como questionários, entrevistas e a técnica de *think aloud*. Questionários e entrevistas têm sido utilizados para coletar a própria descrição dos alunos sobre como eles controlam e monitoram sua aprendizagem, mas as respostas não necessariamente refletem o que os alunos realmente fazem.

Quadro 2 – Métodos comuns aplicados na avaliação metacognitiva

(continua)

<b>Método</b>	<b>Descrição</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Fontes de erros e limitações</b>
<i>think aloud</i> concomitante	o aluno diz, em voz alta, tudo o que ele pensa e tudo o que ocorre com ele durante a execução de uma tarefa.	obtem dados sobre os processos que são “invisíveis” para outros métodos.	processos automatizados permanecem inacessíveis; crianças não mantêm verbalizações; geram uma quantidade enorme de dados que precisam ser analisados.
entrevistas pós- desempenho	entrevista em que o aluno precisa lembrar o que ele fez e pensou durante a experiência de aprendizagem.	fornece dados de respostas para uma investigação específica.	falta de consciência do processamento para aqueles processos que são automatizados; falha para lembrar eventos cognitivos em função do intervalo de tempo entre o processamento e o relato; falta de fluência verbal (especialmente para crianças) e a variação no uso da linguagem entre crianças e adultos.

(conclusão)

<b>Método</b>	<b>Descrição</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Fontes de erros e limitações</b>
tutoria <i>cross-age</i>	solicitar aos sujeitos para lecionar crianças mais jovens a resolverem um problema, a fim de observar quais estratégias e comportamentos os sujeitos vão ensinar.	evita que o sujeito adivinhe o que o investigador quer ouvir.	útil na investigação de estratégias específicas.
inventário de autorrelato	auto-questionário usando escala contínua ou Likert com múltiplos itens.	estruturado e conveniente; fácil para aplicar e gerar escore.	resposta pode ser dada para agradar o investigador / professor; difícil de responder para os processos automatizados.

Fonte: Adaptado de Gama (2004, tradução nossa).

Tobias e Everson (2000) colocam em dúvida tais técnicas de avaliação, questionando se os alunos estão cientes dos processos metacognitivos e se eles são capazes de descrever ou relatar adequadamente sobre o processo utilizado. O Quadro 2 apresenta um resumo dos métodos comuns aplicados na avaliação de metacognição, com uma descrição sobre cada método, bem como as vantagens, limitações e erros que podem ser verificados.

### 2.6.1 KMA - *Knowledge Monitoring Assesment*

Tobias e Everson (2000) criaram um instrumento para a avaliação do componente metacognitivo de monitoramento do conhecimento, chamado *knowledge monitoring assesment* (KMA). O instrumento mede a capacidade de monitoramento de conhecimento do aluno e consiste de duas partes: a estimativa do aluno sobre um item de teste/tarefa e o desempenho do aluno sobre o mesmo item de teste/tarefa. A técnica KMA avalia as diferenças entre as estimativas do aluno sobre seu conhecimento procedural ou declarativo em um domínio de conhecimento específico e seu atual conhecimento sobre o mesmo domínio baseado em seu desempenho. (TOBIAS; EVERSON, 2002).

As duas partes do instrumento de monitoramento do conhecimento KMA são comparadas e é definido um escore que reflete o relacionamento entre as estimativas dos

alunos sobre seu conhecimento e suas performances. A estratégia é avaliar os processos de monitoramento do conhecimento verificando a discrepância entre as estimativas dos alunos e o seu desempenho. (TOBIAS; EVERSON, 2000).

Para ficar claro o funcionamento do instrumento de avaliação KMA, observe o exemplo que segue. Primeiramente, é solicitado ao aluno que faça uma estimativa informando se ele tem conhecimento para resolver um determinado problema matemático. Em um segundo momento, é solicitado ao aluno que tente resolver o mesmo problema matemático. Por final, a estimativa do aluno de seu conhecimento sobre o problema é comparado com o seu desempenho na resolução do mesmo problema. A discrepância entre a estimativa do aluno sobre seu conhecimento em uma tarefa e o seu desempenho sobre a mesma tarefa é utilizada como uma medida da precisão do aluno de monitorar seu conhecimento. (TOBIAS; EVERSON, 2000).

Figura 3: Matriz de escore e estimativa de item

		Estimativa de Conhecimento	
		SIM (+)	NÃO (-)
Escore do Item de Teste	CORRETO (+)	++	+-
	INCORRETO (-)	+ -	--

Fonte: Adaptado de Tobias e Everson (2009).

As respostas dos alunos tomam a forma de uma matriz 2 x 2 (Figura 3), sendo que as estimativas do conhecimento (sim ou não) são as colunas e os desempenhos no domínio (correto ou incorreto) são as linhas. Um dos quatro escores da Figura 3 é produzido para cada item/tarefa apresentado ao aluno, indicando: a) item/tarefa com solução estimada como conhecida e subsequentemente resolvida corretamente no teste (++); b) solução estimada como conhecida e resolvida incorretamente no teste (+-); c) solução estimada como desconhecida, mas resolvida corretamente no teste (-+); d) solução estimada como desconhecida e resolvida incorretamente no teste (--). (TOBIAS; EVERSON, 2009). Os escores ++ e -- refletem estimativa de monitoramento de conhecimento precisa, enquanto que os escores +- e -+ refletem estimativa imprecisa. (TOBIAS; EVERSON, 2000).

Para a medição das discrepâncias entre o conhecimento estimado e o conhecimento demonstrado, alguns autores encorajam o uso do coeficiente Gamma (CG) ou o coeficiente Hamman (CH). Estudos referenciados por Tobias e Everson (2002) indicam o uso do coeficiente CH como sendo uma medição mais adequada. Dessa forma, o trabalho proposto utilizará o coeficiente CH, descrito com mais detalhes na seção 5.2.

## 2.7 Instrução metacognitiva

Instrução é a manipulação realizada por um instrutor no ambiente do aprendiz com o objetivo de promover a aprendizagem, ajudando o aluno a aprender algo. Manipular o ambiente significa manipular as experiências do aprendiz através de falas, gestos ou outros métodos instrucionais. (MAYER, 2011). Com isso, a instrução metacognitiva pretendida no presente trabalho visa manipular o ambiente de aprendizagem buscando desenvolver no aluno a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento.

Estudos apontam que os alunos podem ser ensinados a melhorar a sua metacognição. (DESOETE; ROEYERS; DE CLERCQ, 2003; KRAMARSKI; MEVARECH; ARAMI, 2002). Dessa forma, pesquisadores recomendam o foco do ensino visando à melhora das habilidades metacognitivas dos alunos. (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 1999).

Em seu influente trabalho sobre metacognição, Schoenfeld (1987) utilizou gravações em vídeo para observar o que os alunos fazem quando resolvem problemas matemáticos. Como exemplo das equações que os alunos tinham que resolver, um dos problemas solicitou aos alunos que encontrassem o valor de  $y$  na equação  $x^2y + 2xy + x - y = 2$ . Ele observou que mesmo os alunos que tinham conhecimentos matemáticos suficientes para resolver os problemas, apresentavam dificuldades. Também encontrou que os alunos frequentemente perderam tempo lutando com as soluções. Apesar dos alunos terem a oportunidade de parar e refletir se estavam chegando a algum lugar com determinada solução ou se perguntarem se deveriam tentar outra solução para o problema, os alunos não faziam estas ações. Os alunos perderam muito tempo tentando resolver os problemas, mas muito pouco tempo pensando sobre os problemas. (SCHOENFELD, 1987).

No mesmo trabalho, Alan Schoenfeld observou como matemáticos resolvem problemas difíceis sobre Geometria, e concluiu que, diferentemente dos alunos, os matemáticos utilizam grande parte do tempo pensando sobre os problemas. Se os matemáticos verificam que uma abordagem não está funcionando, eles tentam outra. Nos estudos de Schoenfeld, os alunos tinham mais conhecimento sobre Geometria do que os matemáticos. No

entanto, Schoenfeld concluiu que com o uso eficiente de monitoramento metacognitivo e autorregulação, os matemáticos resolveram um problema que muitos alunos falharam para resolver. (SCHOENFELD, 1987). Estes estudos indicam que as habilidades e conhecimentos metacognitivos são fatores importantes para o sucesso na solução de problemas matemáticos.

Os estudos de Schoenfeld demonstram a importância do emprego de conhecimentos e habilidades metacognitivas, e que nem todos os alunos se engajam espontaneamente em um pensamento metacognitivo, ao menos que sejam explicitamente encorajados, através de atividades instrucionais. (BERARDI-COLETTA; BUYER; DOMINOWSKI; RELLINGER, 1995; BRANSFORD et al., 1999; CHI, BASSOK, LEWIS, REIMANN; GLASER, 1989; LIN; LEHMANN, 1999 apud LIN, 2001, p.24).

Segundo Friederich e Mandl (1992 apud AZEVEDO; ALEVEN, 2013a, p. 173), as estratégias metacognitivas podem ter suporte direto ou indireto. No suporte direto, as estratégias metacognitivas são ensinadas explicitamente aos alunos, enquanto que no apoio indireto as estratégias metacognitivas são embutidas no ambiente de aprendizagem, sem explicá-las explicitamente. Desoete (2009) descreve que uma característica importante para o projeto de instrução metacognitiva em Matemática é que as habilidades metacognitivas devem ser explicitamente ensinadas para melhorar o desempenho dos alunos. Além disso, uma propriedade importante no treinamento metacognitivo em ambientes computacionais de aprendizagem é a adaptação da instrução a características do aluno. (AZEVEDO; HADWIN, 2005).

Veenman, Hout-Wolters e Afflerbach (2006) apresentam três princípios fundamentais para o sucesso de uma instrução metacognitiva: a) embutir a instrução metacognitiva no conteúdo da instrução sobre determinado assunto para garantir conectividade; b) informar os alunos sobre a utilidade das ações metacognitivas para fazê-los empregar esforço inicial; e c) treinamento prolongado para garantir a aplicação da atividade metacognitiva.

### 2.7.1 *Scaffolding*

O termo *scaffolding* é tradicionalmente utilizado para referenciar o processo de assistência prestado ao aluno por um professor, de forma que a assistência seja modificada pelo professor de acordo com as necessidades do aluno. A modificação das tarefas às necessidades do aluno objetiva atingir as metas da aprendizagem, de forma que se o processo não fosse modificado, o aluno não conseguiria alcançar tais metas. (REISER, 2002). Nesta

definição de *scaffolding*, o professor pode ser qualquer pessoa que tenha conhecimento sobre dado assunto.

O *scaffolding* é baseado no conceito de Vygotsky (1978) sobre a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), em que pessoas (professores, pais, colegas) mais competentes em determinado domínio de conhecimento ajudam o aprendiz fornecendo informação e apoio temporário. Este suporte é gradualmente diminuído à medida que aumenta a competência do aluno sobre o domínio. Desta forma, o processo de *scaffolding* fornece assistência ao aluno, quando necessário, diminuindo a assistência à medida que o aluno melhora sua competência em determinado assunto. (WOOD et al., 1976 apud AZEVEDO; HADWIN, 2005, p. 368).

Em ambientes de aprendizagem computacionais, o termo *scaffolding* também tem sido utilizado para se referir às ferramentas de *software* que orientam os alunos no processo de aprendizagem, como *prompts* e representações gráficas, que auxiliam o aluno no processo de solução de problemas (AZEVEDO; HADWIN, 2005; REISER, 2002). O *scaffolding* pode fornecer apoio aos alunos através de modelos, sugestões, *prompts*, dicas, soluções parciais, entre outros. (HARTMANN, 2001).

O *scaffolding* empregado no trabalho proposto diminui a assistência que é dada ao aluno considerando a habilidade metacognitiva corrente do aprendiz de monitoramento do conhecimento e o seu conhecimento no domínio. Este mecanismo do agente proposto é descrito na seção 5.3.2. A assistência do agente é entregue através dos seguintes recursos: *prompts*, *feedbacks* e *self-explanation*. Estes recursos são descritos nas próximas seções.

### 2.7.2 *Prompts e feedbacks*

*Prompts* são recursos instrucionais que auxiliam alunos a focarem sua atenção sobre seus próprios pensamentos e a entender suas próprias atividades durante a aprendizagem. (BANNERT, 2006; DAVIS, 2003; WHITE; FREDERIKSEN; COLLINS, 2009; WHITE; FREDERIKSEN, 1998 apud KRAMARSKI; MICHALSKY, 2013). Os *prompts* servem para guiar a atenção dos alunos para seus pensamentos e construir um entendimento das tarefas do domínio. (LIN, 2001). Segundo Davis (2003), além de direcionarem o foco de atenção dos alunos para alcançarem determinados objetivos em uma tarefa, os *prompts* também podem ser metacognitivos, incitando os alunos a realizarem ações de reflexão sobre os seus próprios pensamentos. Além disso, os *prompts* diferem-se no formato, método de entrega, objetivo, *timing* e especificidade. (DAVIS, 2003). Por exemplo, em relação ao *timing*, o *prompt* poderia



ser entregue durante o processo de solução de uma tarefa do aluno, ou apenas após o aluno solucionar uma tarefa.

Os *feedbacks* são informações entregues ao aluno sobre resultados ou avaliações sobre suas ações, e é considerado um importante recurso de ensino (HARTMANN, 2001). Segundo estudos de Lhyle e Kulhavy (1987), a aprendizagem ocorre mais rapidamente quando é fornecido *feedback* ao aluno. O estudo de Koedinger e Alevén (2007) encontrou que o fornecimento de *feedback* melhora a aprendizagem e os resultados da aprendizagem são obtidos mais rapidamente.

Segundo Pressley e McCormick (1995 apud HARTMANN, 2001), o *feedback* que é entregue imediatamente após uma ação de aprendizagem do aluno promove mais aprendizagem do que o chamado *feedback* atrasado, que é entregue algum tempo depois da ação do aluno na aprendizagem. Além disso, o *feedback* imediato possibilita que a aprendizagem ocorra mais rapidamente. (KOEDINGER; ALEVEN, 2007). Um exemplo de *feedback* imediato, relacionado a uma avaliação do monitoramento de conhecimento do aluno, é entregar a mensagem “Você não foi preciso em monitorar o que você sabe e o que não sabe sobre o problema anterior”, imediatamente após o aluno resolver corretamente um problema que ele estimou que não teria conhecimento para resolver.

### 2.7.3 *Self-explanation*

*Self-explanation* é um processo em que o aluno explica alguma coisa para si mesmo. Estudos apontam que os alunos aprendem mais quando eles explicam os materiais instrucionais para si mesmos. (CHI et al., 1989; FERGUSON-HESSLER; JONG, 1990; BIELACZYK; PIROLI; BROWN, 1995). No entanto, nem todos os alunos se engajam espontaneamente nestas atividades e precisam ser incitados a fazê-las. (CHI et al., 1989). Através de *prompts*, os alunos podem ser incitados a se engajarem em atividades de *self-explanations*. (CHI et al., 1994).

Em ambientes computacionais de aprendizagem, um exemplo de estudo que obteve sucesso em incitar os alunos a explicarem suas atividades instrucionais foi descrito no trabalho de Alevén e Koedinger (2002). Os pesquisadores desenvolveram uma ferramenta computacional, integrada a um Sistema Tutor Inteligente, que auxilia o aluno a se engajar em ações de *self-explanations*.

Atividades de *self-explanation* incitam o aluno a refletir sobre suas ações no passado. (CHI et al., 1989). Um exemplo de ação para incitar o aluno a fazer *self-explanation* sobre

atividades realizadas no passado é entregar um *prompt* com o seguinte questionamento: “Refletindo sobre o processo de resolução da tarefa que você acabou de resolver, o que você faria diferentemente na próxima vez?”. O aluno responde este questionamento com suas próprias palavras. Este tipo de ação reflexiva promovida pelo ambiente instrucional será utilizado no trabalho proposto.

#### 2.7.4 Instrução da habilidade do monitoramento do conhecimento

São poucos os trabalhos que buscaram desenvolver modelos de instrução metacognitiva específica para a habilidade de monitoramento do conhecimento. A escassez de trabalhos é descrita por pesquisadores e é considerado um campo aberto de pesquisa. (GAMA, 2004; STAVRIANOPOULOUS, 2007; TOBIAS; EVERSON, 2009; BLACKWOOD, 2013).

Em um dos poucos trabalhos fortemente relacionados ao treinamento específico da habilidade de monitoramento do conhecimento, Gama (2004) definiu um modelo de treinamento de habilidades metacognitivas, denominado modelo RA (*Reflection Assistant Model*), para ser integrado em ambientes computacionais de aprendizagem. Um dos objetivos do modelo é melhorar a habilidade dos alunos de monitoramento do conhecimento, o construto metacognitivo de interesse do presente trabalho. Gama utiliza uma abordagem que incita o aluno a refletir sobre seus processos cognitivos. Os estudos descritos por Tarricone (2011) afirmam que a reflexão é uma ação essencial para os processos metacognitivos, facilitando a solução de problemas.

Gama definiu uma biblioteca de estratégias metacognitivas que foram selecionadas e adaptadas da literatura de avaliação de metacognição, que objetivam fazer o aluno refletir sobre o seu entendimento e conhecimento sobre um determinado problema. Estas estratégias são listadas abaixo:

- a) leia o problema mais de uma vez;
- b) leia o problema para separar partes importantes ou identificar componentes;
- c) pense em um problema relacionado ao que você já fez e use como um modelo;
- d) antes de começar a resolver o problema, pense o que você deveria aprender;
- e) leia o problema e determine quais partes você não entende bem;
- f) revise os conceitos básicos que não estão claros antes de atacar o problema.

O modelo RA atribui atividades reflexivas ao aluno, antes e depois da resolução de tarefas. Gama ainda sugere a seguinte estratégia de reflexão quando o aluno avalia muito

rapidamente o seu entendimento sobre uma tarefa: “Tente passar mais tempo lendo o problema antes de avaliar o seu conhecimento sobre o problema. Avalie cuidadosamente o seu conhecimento sobre os conceitos envolvidos”. O modelo de Gama (2004), descrito com mais detalhes na seção 4.1, não apresentou resultados estatisticamente significativos em relação à melhora da precisão do aluno em monitorar o seu conhecimento.

O trabalho de Fogarty (1994) é relacionado ao estudo de várias habilidades metacognitivas. Fogarty sugere que uma forma de ajudar os alunos a identificar o que sabem e o que não sabem é incitar que eles identifiquem o que uma tarefa está pedindo que eles façam. Também sugere que os alunos identifiquem quais habilidades estão lhes faltando para resolver a tarefa. Seguindo a ideia de Fogarty (1994) sobre o aluno identificar o que uma tarefa está solicitando, o trabalho de Verschaffel (1999) apresenta dicas para o aluno compreender o problema, listadas abaixo:

- a) leia o problema com atenção; você deveria ler o problema duas ou mais vezes;
- b) tenha certeza que você entendeu o que a pergunta está pedindo a você; pergunte a si mesmo: “Eu entendo o que eu estou tentando encontrar?”;
- c) se você não tem certeza que entendeu o problema, faça um desenho ou diagrama da informação do problema;
- d) anote respostas para esta pergunta: “O que eu sei e o que eu quero encontrar”.

Pesquisadores indicam que a instrução metacognitiva deve ser projetada para domínios específicos e que desta forma são apresentados melhores resultados. (VEENMAN; HOUTWOLTERS; AFFLERBACH, 2006). Sabendo disso, o domínio de conhecimento a ser ensinado deveria ser considerado para a definição das estratégias de monitoramento do entendimento. Por exemplo, no domínio de problemas matemáticos, poderiam ser utilizados alguns passos indicados por Pólya (1957) para resolver problemas.

Pólya (1957) descreve passos para ajudar o aluno a resolver problemas. O autor agrupa estes passos em quatro fases: a) entender o problema; b) elaborar um plano; c) executar o plano; d) fazer um retrospecto da solução obtida. O presente trabalho tem interesse na primeira fase, uma vez que Fogarty (1994) sugere que identificar o que uma tarefa está pedindo é uma forma de ajudar os alunos a identificar o que sabem e o que não sabem. Segundo Pólya, para resolver um problema, primeiramente é necessário que o aluno entenda o problema, sabendo claramente o que ele está pedindo. O professor pode solicitar ao aluno que repita o enunciado do problema e que identifique as incógnitas, os dados conhecidos e a condição. O professor pode indicar ao aluno que quebre o problema em partes, para que se busque o entendimento de cada uma das partes, ou que o aluno desenhe uma figura sobre o

problema. O professor também pode fazer os seguintes questionamentos ao estudante: “É possível satisfazer a condição?” e “A condição é suficiente para determinar as incógnitas?”.

### 3 SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

Este capítulo apresenta conceitos relacionados a Sistemas Tutores Inteligentes (STIs). É descrita uma visão geral dos STIs e a importância desses sistemas para o ensino, além de características, arquitetura básica e seus componentes e mecanismos de funcionamento. Também é apresentado o PAT2Math, o STI de álgebra sobre o qual o agente metacognitivo do presente trabalho foi integrado como estudo de caso.

#### 3.1 Visão geral

Um dos objetivos de aplicar a Inteligência Artificial na Educação é desenvolver *softwares* que simulam o raciocínio dos professores e a aprendizagem dos alunos. (WOOLF, 2009). Os sistemas tutores inteligentes são ambientes de aprendizagem inteligentes que provêm assistência individualizada aos estudantes. Estes sistemas possuem módulos que representam o conhecimento especialista capaz de resolver os problemas apresentados aos alunos, além de simular comportamentos de tutoria capazes de adequar o ensino às necessidades dos aprendizes.

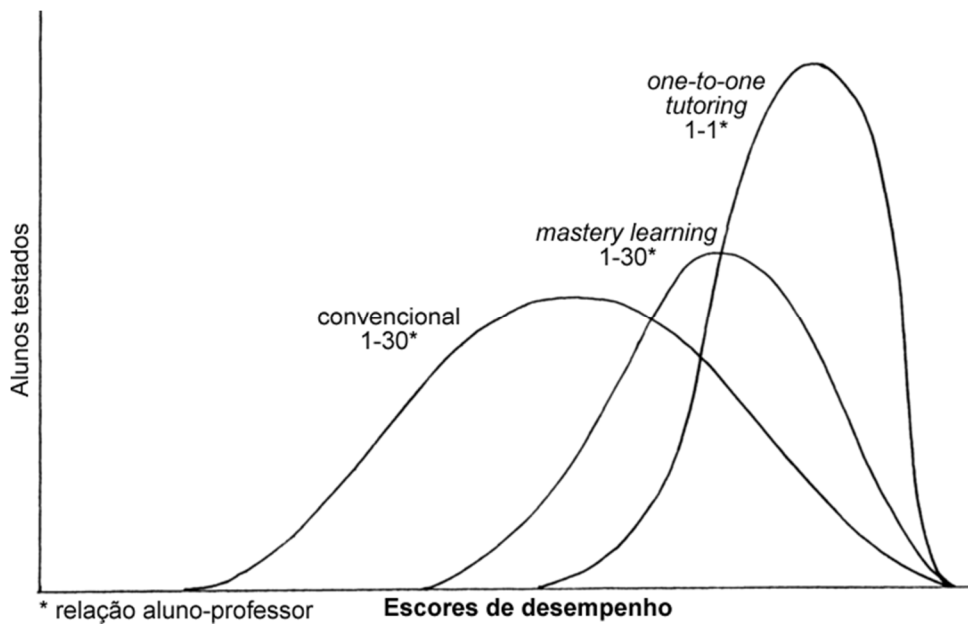
Os termos CAI (*Computer Aided Instruction*) e ICAI (*Intelligent Computer Aided Instruction*) são comumente encontrados na literatura, como nos trabalhos de Rickel (1989), Giraffa (1999) e Woolf (2009), e são utilizados para classificar *softwares* educacionais. Os STIs se encaixam no grupo dos *softwares* ICAI, pois estes *softwares* simulam capacidades cognitivas dos alunos e adaptam as decisões pedagógicas de acordo com os resultados coletados da interação do aluno com o sistema. O aluno interage várias vezes com o STI, e a cada vez que o aluno interage com o sistema, o STI pode ajustar sua interface, mensagens, tipos e complexidade dos exercícios ofertados, adaptando as experiências de aprendizagem dos alunos. Estas características não são identificadas em *softwares* do tipo CAI, pois estes *softwares*, com projetos mais simples, conduzem a aprendizagem do aluno de acordo com uma série de estímulos previamente planejados.

O trabalho de Bloom (1984) comparou três diferentes condições instrucionais: convencional, *mastery learning* e *one-to-one tutoring*. Na condição convencional, os alunos aprendem os conteúdos em turmas com cerca de 30 alunos por professor. Na condição de *mastery learning*, os alunos também aprendem os conteúdos em turmas com cerca de 30 alunos por professor, mas recebem *feedback* seguido de procedimentos corretivos e testes paralelos para determinar uma medida do domínio dos alunos sobre o assunto. Na condição de

*one-to-one tutoring*, a instrução segue os mesmos procedimentos do grupo de *mastery learning*, com a diferença que os alunos aprendem com um tutor humano para cada aluno. Bloom encontrou que na condição *one-to-one tutoring* o desempenho dos alunos foi 98%, ou 2 desvios padrão, superiores ao desempenho dos alunos na condição convencional, indicando que a condição *one-to-one tutoring* é a melhor forma de aprender. A Figura 4 mostra a distribuição dos rendimentos dos alunos nas três condições instrucionais.

No entanto, é muito difícil para os governos colocarem em prática a condição *one-to-one tutoring*, pois os custos seriam muito superiores à condição convencional. Bloom nomeia este problema como “problema 2 sigma” e desafia pesquisadores e professores a alcançarem condições de ensino e aprendizagem que possibilitem que a maioria dos alunos atinjam níveis de desempenho como aqueles encontrados no grupo de *one-to-one tutoring*. Os STIs se tornaram ferramentas importantes neste desafio, pois podem proporcionar aos alunos uma aprendizagem individualizada, adequando as experiências de aprendizagem de acordo com as necessidades e características de cada aluno.

Figura 4: Rendimento de alunos nas três condições instrucionais de Bloom



Fonte: Adaptado de Bloom (1984).

O estudo de VanLehn (2011) apresenta evidências de que os STIs são tão efetivos quanto os tutores humanos em uma instrução individualizada. O pesquisador realiza uma meta-análise, combinando os resultados de outros estudos encontrados na literatura. O autor descreve que a crença comum entre os pesquisadores era de que a tutoria humana tinha efeito de dois desvios padrão superiores aos cenários sem tutoria. Outras crenças indicavam que os

sistemas do tipo CAI e os STIs eram melhores, respectivamente, em 0,31 e 1,0 desvio padrão do que os cenários sem tutoria. O estudo de VanLehn (2011) não confirma estas crenças e apresenta resultados indicando que o efeito da tutoria humana em relação à condição sem tutoria é muito menor, com 0,79 de desvio padrão. Ele encontrou também o efeito 0,76 de desvio padrão para STIs do tipo *step-based*, valor muito próximo daquele encontrado para os tutores humanos. Os STIs do tipo *step-based* permitem que os alunos entrem com os passos para resolver os problemas.

O trabalho de meta-análise de Ma et al. (2014) não encontrou diferenças significativas no desempenho dos alunos na aprendizagem com STIs e a aprendizagem através de tutoria humana individualizada. Os resultados são consistentes quando o STI implementa algumas características habilitadas pelo Modelo de Aluno, como seleção de tarefas individualizada, *prompts* e *feedbacks*. Foram encontrados diferentes efeitos quando o STI foi utilizado a) como meio principal para a instrução, b) como complemento para uma instrução com professor, ou c) como instrumento integral para uma instrução com professor. Foram encontradas evidências que em algumas situações o STI pode ser usado como complemento à instrução com o professor e em outras substituindo o professor. Segundo VanLehn (2011), os STIs não deveriam substituir todas as experiências de sala de aula, mesmo que estudos apresentem evidências de que STIs atuais pareçam ser tão bons quanto os tutores humanos. Outros estudos recentes de meta-análise também mostram que STIs podem ser tão efetivos quanto um professor particular (STEENBERGEN-HU; COOPER, 2013, 2014).

A fundamentação necessária para os pesquisadores de Inteligência Artificial aplicada à Educação alcançarem seus objetivos é adquirida através de várias disciplinas acadêmicas, como a Ciência da Computação, Educação e Psicologia. (WOOLF, 2009). A Figura 5 resume a multidisciplinaridade existente no campo de pesquisa de Inteligência Artificial e Educação.

Na Ciência da Computação, os estudos ocorrem no subcampo de Inteligência Artificial. Segundo Russel e Norvig (2013), o campo da Inteligência artificial (IA) busca compreender a inteligência humana e construir entidades inteligentes, fundamentando-se em disciplinas como Filosofia, Matemática, Linguística, Psicologia, Engenharia de Computadores, entre outras. Os estudos em IA têm seguido, historicamente, quatro abordagens: computadores que pensam como um humano, que pensam racionalmente, que se comportam como um humano e que se comportam racionalmente. A maior parte dos estudos de IA pode necessitar as seguintes capacidades computacionais: processamento de linguagem natural, representação de conhecimento, aprendizado de máquina, raciocínio automatizado, visão computacional e robótica.

A Ciência Cognitiva, um subcampo da Psicologia, contribui com a fundamentação sobre como as pessoas pensam e aprendem, com interesse no entendimento da cognição humana. A Educação tem interesse no ensino, sobre como as pessoas ensinam e como a aprendizagem é afetada, por exemplo, pelo currículo, pela comunicação e avaliação. Um exemplo de aplicação da Inteligência Artificial e Ciências Cognitivas é a criação de modelos computacionais de atividades cognitivas. (WOLF, 2009).

Figura 5: Interdisciplinaridade do campo de pesquisa de IA e Educação



Fonte: Traduzido de Woolf (2009).

### 3.2 Arquitetura

Segundo Burns e Capps (1988), os STIs devem ter conhecimento sobre o domínio a ser ensinado, de forma que possam fazer inferências ou, até mesmo, resolver os problemas no domínio. Devem também ser capazes de deduzir o conhecimento aproximado do aluno e possuir estratégias inteligentes para diminuir as diferenças entre o desempenho de um especialista e de um aprendiz. Burns e Capps (1988), Psotka, Massey e Mutter (1988) e Woolf (2009) descrevem a arquitetura básica de um STI com quatro módulos: Módulo do Domínio, Módulo do Aluno, Módulo de Tutoria e Módulo de Comunicação. O Módulo do Aluno é frequentemente chamado de Modelo do Aluno. (VANLEHN, 2006).



### 3.2.1 Módulo do Domínio

O Módulo do Domínio representa o conhecimento especialista em um determinado domínio, ou seja, representa o desempenho de um especialista em uma determinada área de estudo do sistema, como na resolução de problemas de Matemática ou de Física. (WOOLF, 2009).

Para compreender o mecanismo de representação de conhecimento especialista, é necessário recordar os conceitos relacionados ao conhecimento declarativo e conhecimento procedural. Na seção 2.5 estes conceitos já foram descritos, de acordo com o trabalho de Ullman (2004). Burns e Capps (1988) também os descrevem e estabelecem uma relação com sistemas especialistas. O **conhecimento declarativo** é um conhecimento sobre fatos. (BURNS; CAPPS, 1988). Em domínios como a Geografia, o objetivo de uma aula poderia ser transmitir um conjunto de fatos, como que a capital do Chile é Santiago e a moeda vigente no país é o Dólar Chileno. O **conhecimento procedural**, diferentemente do conhecimento declarativo, é o conhecimento sobre como resolver uma determinada tarefa. Este tipo de conhecimento tem sido largamente representado em sistemas especialistas como sistemas de produção (sistemas especialistas baseados em regras de produção). O conhecimento procedural é de uso específico, ou seja, é um conhecimento necessário para resolver uma tarefa específica. Porém, em alguns casos, o objetivo de uma instrução pode ser os alunos adquirirem um conhecimento mais geral, declarativo, sem a necessidade dos alunos aplicarem este conhecimento em uma tarefa específica. (BURNS; CAPPS, 1988). Segundo Anderson et al. (1990), o conhecimento procedural só pode ser adquirido através do uso do conhecimento declarativo, como um produto derivado do uso interpretativo do conhecimento declarativo, muitas vezes através de práticas de tentativa e erro.

Na teoria cognitiva ACT\* de Anderson et al. (1995), uma habilidade cognitiva é representada por um conjunto de regras de produção do tipo “SE <condição> ENTÃO <ação>”, que significa que uma ação é executada quando uma condição é atendida. Na aquisição de uma habilidade cognitiva, uma primeira etapa corresponde a uma fase declarativa, que com a prática (procedimentos interpretativos) são traduzidos para a forma procedural. Segundo Anderson (1982), as regras que representam o conhecimento procedural operam sobre fatos, ou seja, sobre o conhecimento declarativo. Em um sistema de regras, os fatos representam o que é chamado memória de trabalho.

*Model tracing* é uma técnica em que o tutor busca encontrar uma forma de resolver um problema que corresponda à forma que o aluno utilizou para resolver o mesmo problema.

(ANDERSON et al., 1995). Após a tentativa do aluno de resolver o problema, o sistema sugere quais regras ou conjunto de regras o aluno usou para resolver o problema, podendo ser regras que correspondam a soluções corretas ou regras relacionadas a falsas concepções do aluno (*misconceptions*). As demais decisões instrucionais podem ser tomadas a partir da interpretação do *model tracing*, como atribuir um *feedback* ao aluno informando que ele aplicou um conhecimento correto ou que ele cometeu uma *misconception*. O aluno também poderia receber uma dica. Porém, o *model tracing* precisa, primeiramente, que seja desenvolvido um Modelo de Domínio que consiga resolver problemas de um determinado domínio.

### 3.2.2 Modelo do Aluno

O Modelo de Aluno observa o comportamento do aluno e cria uma representação para o seu conhecimento. (WOOLF, 2009). O Modelo de Aluno armazena informações inferidas sobre o aprendiz, como estimativas sobre traços do aluno (conhecimento específico, estilo de aprendizagem), escores sobre testes, quantidade de erros ou de ajudas solicitadas, duração de tempo que o aluno se dedicou em tarefas, além de outras informações sobre seu desempenho. (VANLEHN, 2006). O Modelo de Aluno pode também representar informações relativas ao estado afetivo do aluno, como o engajamento, tédio, frustração e o nível de concentração. (WOOLF, 2009).

A definição de um Modelo de Domínio, descrito na seção 3.2.1, pode ser a primeira etapa para a representação do Modelo de Aluno, pelo fato de que o conhecimento do especialista será o mesmo conhecimento que o aluno utilizará para resolver problemas no STI. (WOOLF, 2009).

Uma técnica utilizada para inferir o conhecimento do aluno é o *knowledge tracing*. (CORBET; ANDERSON, 1995). A técnica utiliza a teoria cognitiva ACT\*, de Anderson et al. (1995), que representa uma habilidade cognitiva através de um conjunto de regras de produção. À medida que o aluno resolve um problema, o tutor mantém uma estimativa da probabilidade do aluno dominar cada uma das regras. É através da técnica *knowledge tracing* que o tutor estima a probabilidade de conhecimento do aluno. A técnica utiliza quatro parâmetros: a) a probabilidade de a regra estar no estado “aprendido”, antes da primeira oportunidade do aluno aplicar a regra. Em outras palavras, a probabilidade do conhecimento inicial do aluno em determinada regra; b) a probabilidade de uma regra passar do estado “não aprendido” para “aprendido”, após uma oportunidade do aluno de aplicar uma regra; c) a

probabilidade de que o aluno irá adivinhar corretamente se a regra estiver no estado “não aprendido”; d) a probabilidade de que o aluno irá cometer um erro se a regra estiver no estado “aprendido”. Para estar no estado “aprendido”, a probabilidade de conhecimento de uma regra deve ser de, no mínimo, 95%. Este foi o critério utilizado pelo tutor descrito no trabalho de Corbet e Anderson (1995).

Outras técnicas de Inteligência Artificial aplicadas na avaliação do conhecimento do aluno utilizam Redes Bayesianas, capazes de lidar com dados incertos. (SEFFRIN; RUBI; JAQUES, 2013, 2014; SEFFRIN, 2015).

### 3.2.3 Módulo de Tutoria

O módulo de tutoria representa as estratégias de ensino e o conhecimento curricular e instrucional. (BURNS; CAPPS, 1988; WOOLF, 2009). Além de adaptar a instrução de acordo com as características do aluno, inferidas e mantidas pelo Modelo de Aluno, o tutor também poderá considerar os objetivos e estratégias instrucionais do módulo de tutoria. (WOOLF, 2009).

O comportamento do módulo tutor está relacionado a uma estratégia de tutoria. As estratégias de aprendizagem foram agrupadas por Woolf (2009) em três categorias: estratégias de ensino baseadas no ensino humano, baseadas em teorias de aprendizagem e baseadas em modelos de ensino facilitados pela tecnologia. Abaixo, segue um resumo da descrição de Woolf (2009) sobre as estratégias de ensino.

As **estratégias de ensino baseadas no ensino humano** são aquelas estratégias de ensino baseadas em observações de professores humanos e em modelos empíricos. Abaixo são descritas algumas dessas estratégias:

- **Formação de aprendizagem:** esta estratégia é caracterizada por um especialista que monitora o desempenho do aluno, fornecendo conselhos quando necessário. Pode apoiar o aluno no processo de solução de problemas e diminuir o apoio, gradativamente, passando a responsabilidade da resolução do problema ao aprendiz.
- **Resolução de problema:** relacionado a domínios quantitativos, como Matemática e Física, requerem do aluno um raciocínio sobre problemas complexos que envolvem múltiplos passos nas suas soluções. Ações que podem ser empregadas pelo tutor são: identificar passos corretos e incorretos, diagnosticar e remediar as *misconceptions* do aluno.

As **estratégias de ensino baseadas em teorias de aprendizagem** são resultantes de trabalhos de cientistas cognitivos, educadores, naturalistas e filósofos. Abaixo, são descritas cinco teorias de aprendizagem:

- **Teoria de Aprendizagem Sócrática:** baseada em uma antiga teoria grega, uma forma de ensino baseada na crença de que as pessoas possuem as respostas e ideias essenciais para todos os problemas do universo. Um exemplo é o diálogo entre professor e aluno. O diálogo envolve reflexões sobre respostas que são conhecidas pelo aluno e o professor realiza uma série de questionamentos acerca de um problema central. Uma forma de questionamento é fazer o aluno se contradizer. O professor não precisa apresentar as ideias ao aluno, mas é o aluno que precisa externar suas ideias.
- **Teoria de Aprendizagem Cognitiva:** estratégia de ensino derivada da teoria de aprendizagem cognitiva que modela processos internos da mente. A ideia subjacente a esta teoria é analisar uma tarefa, quebra-la em partes ou pedaços cada vez menores, e usar estas informações para desenvolver uma instrução que conduz o aluno do simples para o complexo. Presume-se que o aluno compare a nova informação com estruturas de conhecimento internas existentes e que ocorram três etapas de processamento: a) recebimento da informação de entrada através um sensor, b) transferência da informação de entrada para a memória de curto prazo e c) armazenamento da informação da memória de curto prazo para a memória de longo prazo. Esta teoria foi adotada por alguns STIs que obtiveram sucesso, como o Andes e o Cognitive Tutor. Vários tutores cognitivos foram baseados na teoria de aprendizagem ACT\* (ver seção 3.2.1).
- **Teoria Construtivista:** desenvolvida por Jean Piaget através de estudos sobre o desenvolvimento do conhecimento humano, a teoria descreve estágios primários de desenvolvimento para o conhecimento humano. Nos dois primeiros anos de vida, ocorre o desenvolvimento de ações motoras e a organização dos sentidos. Dos três aos sete anos ocorre o desenvolvimento do raciocínio intuitivo, mas sem a capacidade de aplicá-los de forma ampla. Dos oito aos onze anos a criança precisa utilizar objetos concretos para o seu aprendizado e desenvolve a inteligência lógica. Dos 12 aos 15 ocorre o desenvolvimento do pensamento abstrato. Algumas abordagens construtivistas estão relacionadas à construção do conhecimento: a) a partir de conhecimentos atuais e do passado; b) a partir do envolvimento dos alunos em uma aprendizagem investigativa ou baseada em

casos; c) através da construção de hipóteses baseado na aprendizagem anterior; d) através da experiência; e) através de uma aprendizagem colaborativa; f) através da integração de tarefas com cenários e testes realistas.

- **Aprendizagem Situada:** teoria de aprendizagem fundamentada na crença que o que uma pessoa aprende, vê e faz está estabelecido no seu papel como membro de uma comunidade. Profissionais como alfaiates e cortadores de carne observaram aprendizes que, em um contexto autêntico, aprenderam gradualmente conhecimentos e habilidades e passaram de novatos para especialistas. Esta aprendizagem contrasta com ambientes de sala de aula que frequentemente lidam com conhecimento fora de contexto. Um sistema tutor conhecido na área de STIs que utiliza aprendizagem situada é o Steve. Este tutor possui um agente pedagógico animado que interage com os aprendizes no treinamento para operação de um compressor de ar de alta pressão, simulando um ambiente real através de computação gráfica em três dimensões.
- **Interação social e zona de desenvolvimento proximal:** Lev Vygotsky afirma que a interação social tem papel fundamental no desenvolvimento da cognição, de forma que as habilidades e padrões de pensamentos cognitivos são produtos das atividades praticadas no meio social em que o indivíduo cresce. Vygotsky integrou esta interação social com o que chamou de zona de desenvolvimento proximal (ZDP), que define um nível de desenvolvimento que o aluno alcança quando está engajado socialmente. O objetivo instrucional é manter o aluno dentro do ZDP. Desta forma, é necessária a assistência ou colaboração de outro parceiro de aprendizagem que seja mais habilidoso e que forneça atividades cada vez mais desafiadoras e assistência de qualidade, até que o aprendiz possa realizar a tarefa sem assistência.

As **estratégias baseadas em modelos de ensino facilitados pela tecnologia** são aquelas que se utilizam de tecnologias como agentes pedagógicos animados e ambientes de realidade virtual. A seção 3.4 descreve os agentes pedagógicos animados.

Alguns dos instrumentos de ensino utilizados por módulos tutores são os *feedbacks*, dicas e *prompts*. Os *feedbacks* são descritos nas seções 2.7.2 e 3.3.2, enquanto que as dicas são descritas na seção 3.3.2 e os *prompts* na seção 2.7.2.

### 3.2.4 Módulo de Comunicação

A comunicação do aluno com o tutor é realizada através do componente de comunicação, composto por uma interface gráfica, a GUI (*Graphical User Interface*). Este componente tem importância significativa em um sistema tutor, pois caso a interação entre o aluno e o sistema for mal projetada, a aprendizagem será, provavelmente, ineficiente. (BURNS; CAPPS, 1988).

Algumas técnicas de comunicação apresentadas no trabalho da Woolf (2009) incluem métodos gráficos, técnicas de inteligência social, interfaces de componentes e processamento de linguagem natural:

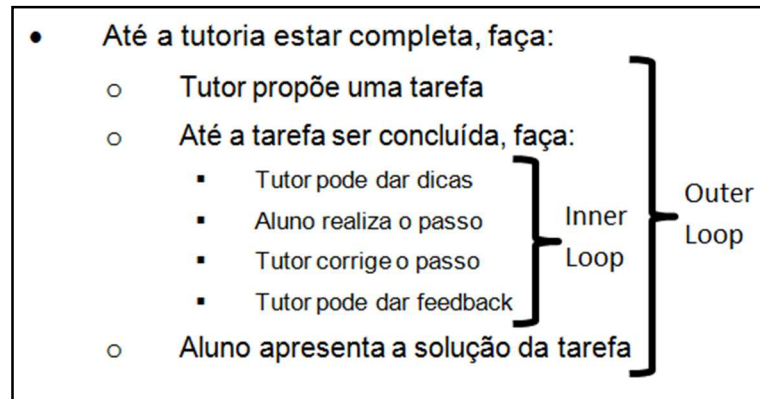
- métodos gráficos: podem ser agentes pedagógicos animados, humanos sintéticos ou ambientes de realidade virtual. Os agentes pedagógicos animados são personagens animados computacionais e inteligentes que orientam os alunos através do ambiente e possuem objetivos de ensino e ações para alcançar seus objetivos (ver Seção 3.4). Os humanos sintéticos são agentes pedagógicos renderizados como personagens humanos e os ambientes de realidade virtual permitem a imersão do aluno em ambientes gráficos que inclui o agente pedagógico.
- técnicas de inteligência social: inclui técnicas de reconhecimento visual da emoção, reconhecimento da emoção utilizando sensores metabólicos e reconhecimento da fala.
- componentes de interface: processam a entrada do aluno. Correspondem às ferramentas visuais que permitem ao aluno interagir com o sistema.
- comunicação em linguagem natural: utilizando técnicas de processamento de linguagem natural é possível proporcionar o diálogo entre aluno e tutor de forma familiar, natural e intuitiva.

### 3.3 Funcionamento

VanLehn (2006) organiza o funcionamento de um STI em duas iterações: *inner loop* e *outer loop*. O *outer loop* funciona selecionando tarefas para o aluno, enquanto que o *inner loop* funciona sobre os passos das tarefas. O *inner loop* corresponde às iterações internas do *outer loop*, de forma que cada iteração do *outer loop* pode ter várias iterações do *inner loop*. A estrutura de funcionamento pode ser visualizada na Figura 6.

A descrição sobre os mecanismos de *loop* presentes no trabalho de VanLehn (2006) é uma contribuição relevante nos estudos de sistemas tutores e são resumidos nas próximas duas seções.

Figura 6: Iterações *outer loop* e *inner loop*



Fonte: Adaptado de VanLehn (2006).

### 3.3.1 Outer Loop

A principal atividade do *outer loop* é selecionar tarefas para o aluno, e a principal preocupação para o projeto de um mecanismo de *outer loop* é selecionar tarefas de forma inteligente. Quatro estratégias têm sido utilizadas para a seleção de tarefas. A mais simples permite ao aluno selecionar a próxima tarefa a partir de um menu com opções de tarefas. O segundo método atribui tarefas ao aluno em uma sequência fixa. Outra estratégia utiliza um método instrucional denominado *mastery learning*, em que o currículo é estruturado como uma sequência de níveis de dificuldade. O tutor atribui tarefas relacionadas a um determinado nível até que o aluno demonstre ter dominado o nível, quando passa a receber tarefas de um próximo nível. A quarta estratégia é baseada em um método instrucional denominado *macroadaptation*. Neste método, mais complexo que os anteriores, o sistema sabe quais conhecimentos são exercitados em determinada tarefa, e sabe a estimativa do grau de domínio do aluno para os mesmos conhecimentos exigidos pela tarefa. Desta forma, o tutor pode selecionar, por exemplo, tarefas que envolvem conhecimentos que o aluno já domina e conhecimentos que o aluno não domina. O sistema também poderá selecionar tarefas que são reconhecidas por especialistas como sendo adequadas para remediar determinadas *misconceptions*.

### 3.3.2 Inner Loop

Diferentemente do mecanismo de *outer loop*, que funciona sobre a seleção de tarefas, o mecanismo de *inner loop* funciona sobre os passos do aluno em uma tarefa. Segue um resumo dos serviços mais comuns presentes no *inner loop*, descrito por VanLehn (2006):

- **dicas:** podem ser bem específicas e apontar o caminho para o aprendiz resolver o passo ou podem ser mais gerais, como lembrar conceitos. A dica pode ser apresentada automaticamente pelo tutor ou pode ser solicitada pelo aluno. Estas decisões dependem das estratégias de aprendizagem utilizadas e dos objetivos instrucionais.
- **feedbacks:** várias decisões podem ser tomadas em relação ao projeto do sistema tutor, de acordo com os objetivos e estratégias instrucionais. Os *feedbacks* são apresentados após o passo do aluno e podem ser *feedbacks* mínimos, que simplesmente indicam se o passo está correto ou incorreto. Os *feedbacks* podem ser relacionados a erros específicos, que indicam o evento de aprendizagem que levou o aluno a cometer o erro e podem exibir orientações para o aluno não voltar a apresentar o mesmo erro novamente. Em relação ao *timing*, o *feedback* pode ser: a) imediato, exibido logo após o passo do aluno; b) atrasado, exibido um determinado tempo após a execução do passo, como quando o aluno finaliza a tarefa; c) sob demanda, exibido apenas quando o aluno solicitar; d) utilizando políticas mais complexas, por exemplo, em função da competência do aluno sobre os conhecimentos envolvidos na tarefa.
- **avaliação do conhecimento:** a avaliação do conhecimento depende da granularidade da avaliação, que pode ser grossa, fornecendo um número que indica a competência geral do aluno, ou fina, que fornece a probabilidade do grau de conhecimento do aluno para cada componente de conhecimento no domínio da tarefa.
- **revisão da solução:** alguns projetos de sistemas tutores podem não contemplar a exibição de dicas ou geração de *feedbacks* durante o processo de solução de problemas. Um dos motivos é que a exibição de dicas e *feedbacks* em meio ao processo de solução de determinadas tarefas pode ser intrusiva. Desta forma, o sistema pode considerar estabelecer um diálogo com o aluno sobre determinados passos apenas após o aluno entregar toda a solução.

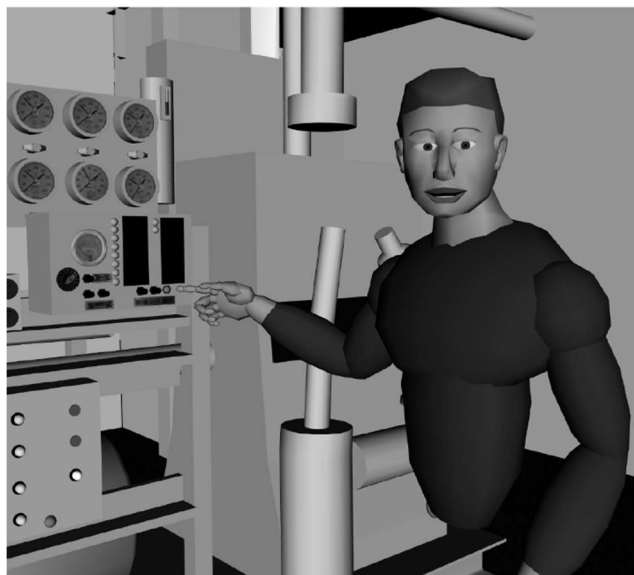


### 3.4 Agentes pedagógicos animados

Russel e Norvig (2013) descrevem a Inteligência Artificial como o subcampo da Ciência da Computação que visa construir agentes que apresentam aspectos de comportamento inteligente. O conceito de agente é central na Inteligência Artificial (RUSSEL; NORVIG, 2013), e podem ser encontrados diferentes conceitos para o termo na literatura. Jennings. et al. (1998) definem agentes inteligentes como programas de software que demonstram comportamento adaptativo, independente e orientado a objetivos. Outra definição conhecida, de Russel e Norvig (2013), define um agente como um sistema capaz de perceber o ambiente através de sensores e agir através de atuadores.

Os agentes pedagógicos, por sua vez, tem um papel pedagógico ou educacional para facilitar ou melhorar a aprendizagem. (GÜRER, 1998). Estes agentes podem ser modelados como agentes animados que interagem com o usuário. Um Agente Pedagógico Animado (APA) é um agente inteligente com função pedagógica, representado por um personagem animado (JAQUES; NUNES, 2012) que simula a presença de um professor (LESTER et al., 1997). A presença de APAs possibilita que as interações do aluno com o sistema ocorram de forma mais natural e antropomórfica, levando a um maior engajamento por parte dos estudantes e a uma melhora na aprendizagem. (LESTER et al., 1997).

Figura 7: Agente Pedagógico Animado Steve



Fonte: (RICKEL; JOHNSON, 1999).

Um exemplo de APA é o Steve (*Soar Training Expert for Virtual Environment*). O Steve foi integrado a um sistema de simulação 3D para dar suporte aos alunos em cursos de

treinamento naval. O objetivo do Steve é auxiliar os alunos a realizarem tarefas físicas e procedurais como reparar e operar equipamentos navais complexos. O Steve é um personagem animado com habilidades gestuais, capaz de demonstrar procedimentos através de gestos e comunicação verbal. (RICKEL; JOHNSON, 1998; RICKEL; JOHNSON, 1999). A Figura 7 mostra o APA Steve descrevendo ao aluno uma luz de energia em um equipamento.

### 3.5 PAT2Math

O PAT2Math (*Personal Affective Tutor to Math*) é um Sistema Tutor Inteligente que assiste os alunos na resolução de equações de 1º e 2º graus com uma incógnita. O PAT2Math é um sistema tutor do tipo *step-based*, ou seja, é projetado para permitir que os alunos entrem com os passos da solução dos problemas apresentados a eles. (VANLEHN, 2006). O sistema é capaz de resolver equações algébricas, corrigir os passos do aluno, exibir *feedbacks* que auxiliam o aprendiz a resolver os passos e permite que o aluno solicite dicas. Além disso, o sistema é capaz de inferir o conhecimento do aluno no domínio (apenas para conhecimentos relacionados a equações de 1º grau) e guardar um histórico de resolução de equações do aprendiz.

#### 3.5.1 Sistema especialista

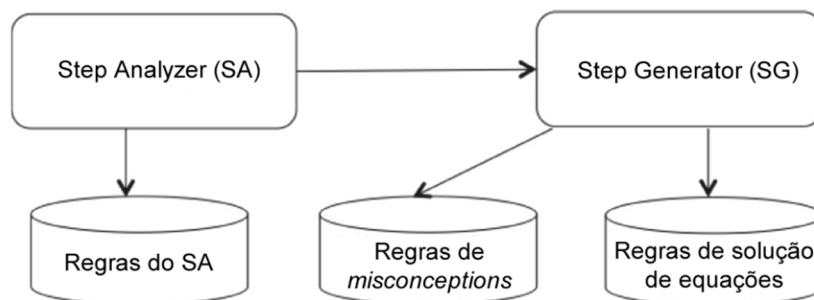
O PAT2Math possui um sistema especialista responsável por corrigir equações algébricas e verificar se os passos do aluno são corretos. A arquitetura do sistema especialista pode ser visualizada na Figura 8. Segundo Jaques et al. (2013), o sistema especialista do PAT2Math é composto pelos módulos *step analyzer* (SA) e *step generator* (SG), seguindo denominação proposta por VanLehn (2006). O SG é responsável por gerar o próximo passo que o aluno poderia tentar resolver ou gerar vários passos que o aluno poderia utilizar para resolver o problema. O SG também é utilizado pelo sistema para gerar as dicas para o próximo passo. O SA compara o passo do aluno com todos os passos possíveis gerados pelo SG, além de retornar uma classificação como “correto” ou “incorreto” e os componentes de conhecimento que o aluno provavelmente utilizou para derivar o passo.

O SG do PAT2Math compreende um subcomponente denominado **Módulo Resolvedor**, que é responsável por resolver uma determinada equação. Foi desenvolvido como um sistema especialista baseado em regras de produção através de uma *shell* de sistema

especialista implementada na linguagem de programação Java. (SEFFRIN et al., 2009). As regras do sistema especialista representam as operações (conhecimento procedural) necessárias para resolver equações de 1º e 2º graus.

O SA do PAT2Math compreende 2 subcomponentes denominados Módulo Cognitivo e Módulo de Falsas Concepções. O **Módulo Cognitivo** implementa a técnica do *model tracing* que utiliza o conhecimento do sistema especialista (módulo resolvedor) para verificar se a resposta apresentada pelo aluno é correta ou não. Ele também retorna as operações empregadas pelo aluno em cada passo da solução da equação. (SEFFRIN; RUBI; JAQUES, 2011). O **Módulo de Falsas Concepções** procura identificar as *misconceptions* aplicadas pelo aluno quando a solução apresentada ao sistema é incorreta. Algumas falsas concepções que os alunos cometem ao resolver equações algébricas são conhecidas, por exemplo, fornecer a resposta  $7x = 0$  para a equação  $2 + 5x = 0$ , em que o aluno realiza uma soma entre os termos 2 e  $5x$ . Sabendo isso, foi desenvolvida uma base de regras de produção que representa o conhecimento procedural relativo às *misconceptions*. Desta forma, o módulo resolvedor poderá reproduzir o mesmo erro do aluno e o módulo cognitivo poderá verificar se o passo do aluno corresponde a uma *misconception*. (SEFFRIN; RUBI; JAQUES, 2011).

Figura 8: Arquitetura do sistema especialista do PAT2Math



Fonte: Traduzido de Jaques et al. (2013).

Em relação à exibição das dicas, o PAT2Math utiliza uma abordagem baseada em níveis de abstração, como descrita por VanLehn (2006). Os níveis variam de 1 a 5 e possuem graus de granularidade diferentes. As dicas do nível 1 a 3 são mais abstratas, contextualizando o aluno em relação ao problema corrente. As dicas dos níveis 4 e 5 apresentam ajudas mais pontuais, sendo que o nível 5 poderá apresentar a solução do problema. O PAT2Math seleciona as dicas de acordo com a probabilidade de conhecimento do aluno sobre determinadas operações necessárias para resolver as equações. Operações com probabilidade de conhecimento inferior a 50% recebem dicas mais específicas, enquanto que as operações

com probabilidade de conhecimento superior a 50% recebem dicas mais abstratas. (SEFFRIN et al., 2012).

### 3.5.2 Modelo de Aluno

O Modelo de Aluno do PAT2Math guarda as seguintes informações sobre o aluno: a); informações sobre o perfil do aluno, como nome, turma e escola; b) histórico de passos utilizados pelo aluno para resolver as equações e as respectivas unidades de conhecimento empregadas; c) valores relacionados à probabilidade de domínio do aluno nas unidades de conhecimento em equações algébricas de 1º grau.

O Modelo de Aluno considera as seguintes unidades de conhecimento no domínio: a) operações, como soma e divisão; b) conceitos, como operação inversa, igualdade dos membros e incógnita; c) falsas concepções. Atualmente, o Modelo de Aluno guarda apenas as probabilidades de conhecimento em equações de 1º grau, pelo fato de o sistema, atualmente, inferir apenas o conhecimento do aluno em equações de 1º grau, não inferindo o conhecimento específico de equações de 2º grau.

Todas as informações do Modelo de Aluno são armazenadas em um banco de dados relacional. A Figura 9 mostra um fragmento de uma tabela de banco de dados que armazena o conhecimento de um determinado aluno. A coluna *content* se refere à unidade de conhecimento, enquanto que a coluna *percentage* refere-se à probabilidade do aluno dominar a respectiva unidade de conhecimento. Na imagem é possível verificar, por exemplo, que o sistema inferiu uma probabilidade de 100% (1) de o aluno dominar o princípio multiplicativo (PMult) e 73% (0.737179) de dominar a operação de subtração (SB). O Quadro 3 apresenta as operações e os conceitos considerados pelo Modelo de Aluno. O sistema também representa as falsas concepções relativas a cada operação e conceito. Estas falsas concepções são identificadas no sistema através do identificador da respectiva operação ou conceito, precedido pela cadeia de caracteres “Misc\_”.

Os valores referentes à probabilidade do aluno dominar cada unidade de conhecimento são inferidos pelo Modelo de Aluno através de um módulo, descrito por Seffrin (2015), que infere o conhecimento algébrico do aprendiz relacionando conceitos, operações e falsas concepções do aluno no domínio de equações de 1º grau. Este módulo de inferência de conhecimento utiliza uma estrutura de Redes Bayesianas Dinâmicas (RBD), que são estruturas probabilísticas muito utilizadas na avaliação do conhecimento dos aprendizes. (SEFFRIN, 2015).

Quadro 3 – Unidades de conhecimento inferidas e mantidas pelo Modelo de Aluno

<i>Operações</i>	
<b>Descrição</b>	<b>Identificador no sistema</b>
Adição	AD
Subtração	SB
Multiplicação	MT
Divisão	DV
Mínimo múltiplo comum	MM
Distributiva	DM
Simplificação	SP
Adição e subtração de frações	AD_SBFrac
Princípio aditivo	PAd
Princípio multiplicativo	PMult
<i>Conceitos</i>	
<b>Descrição</b>	<b>Identificador no sistema</b>
Propriedade comutativa	Comutatividade
Propriedade associativa	Associatividade
Propriedade distributiva	Distributividade
Incógnita	Incognita
Constante	Constante
Sinais	Sinais
Operações inversas	Operacoes_Inversas
Separação de incógnita de constante	Separar_Incognita_de_Constante
Precedência de operadores	Precedencia_Operadores
Igualdade dos membros	Igualdade_dos_Membros

Fonte: Elaborado pelo autor.

A RBD utiliza como evidência, para inferir o conhecimento do aluno, cada operação matemática aplicada pelo aluno em cada passo de resolução de uma equação. Desta forma, a tabela de banco de dados da Figura 9 é atualizada a cada novo passo de equação do aluno. Por exemplo, valor 1 para *Misc\_AD* (Figura 9) indica uma probabilidade de 100% de o aluno ter realizado, em seu último passo, uma falsa concepção relacionada à operação de adição (AD), servindo como evidência para a RBD reduzir o valor referente à probabilidade do aluno

dominar esta operação matemática (0.0191179). Os identificadores da coluna *content* que iniciam com a cadeia de caracteres “Passo\_”, procedidos por um identificador de operação ou conceito matemático, referem-se a evidências de que o aluno aplicou determinado conceito ou operação em seu último passo. O valor 0,9 referente ao identificador *Passo\_PAd* indica uma evidência de 90% de probabilidade do aluno ter aplicado o conceito de princípio aditivo (PAd), em seu último passo, o que levou a RBD a elevar a probabilidade de conhecimento do aluno neste conceito (alcançou 100%). A partir das evidências relativas a falsas concepções e passos corretos, a rede é capaz de modificar as probabilidades de conhecimento de várias unidades de conhecimento, pois a estrutura da RBD estabelece uma rede de relacionamentos entre os conceitos, operações algébricas e as falsas concepções. (SEFFRIN, 2015).

Figura 9: Fragmento de tabela de banco de dados que guarda o conhecimento do aluno

id	content	percentage	student_id
3979	Igualdade_dos_Membros	1	10239
3981	PAd	1	10239
3982	Separar_Incognita_de_Constante	1	10239
3990	Misc_AD	1	10239
3992	PMult	1	10239
3967	SP	1	10239
4003	Operacoes_Inversas	1	10239
3961	Passo_SP	0.9	10239
3978	Passo_PAd	0.9	10239
3968	Passo_PMult	0.857215	10239
3971	Passo_SB	0.742307	10239
3973	SB	0.737179	10239
4002	Passo_DM	0.686556	10239
4007	DM	0.64426	10239
4005	MT	0.274199	10239
3994	Misc_SB	0.257693	10239
3984	Comutatividade	0.241446	10239
3963	Associatividade	0.236749	10239
3977	DVFrac	0.229798	10239
3987	Sinais	0.198975	10239
3959	Misc_SB_NumInc	0.165705	10239
3960	Misc_PAd	0.1	10239
3989	Misc_SP	0.1	10239
3993	Misc_PMult	0.1	10239
3966	AD	0.0191179	10239

Fonte: Elaborado pelo autor.

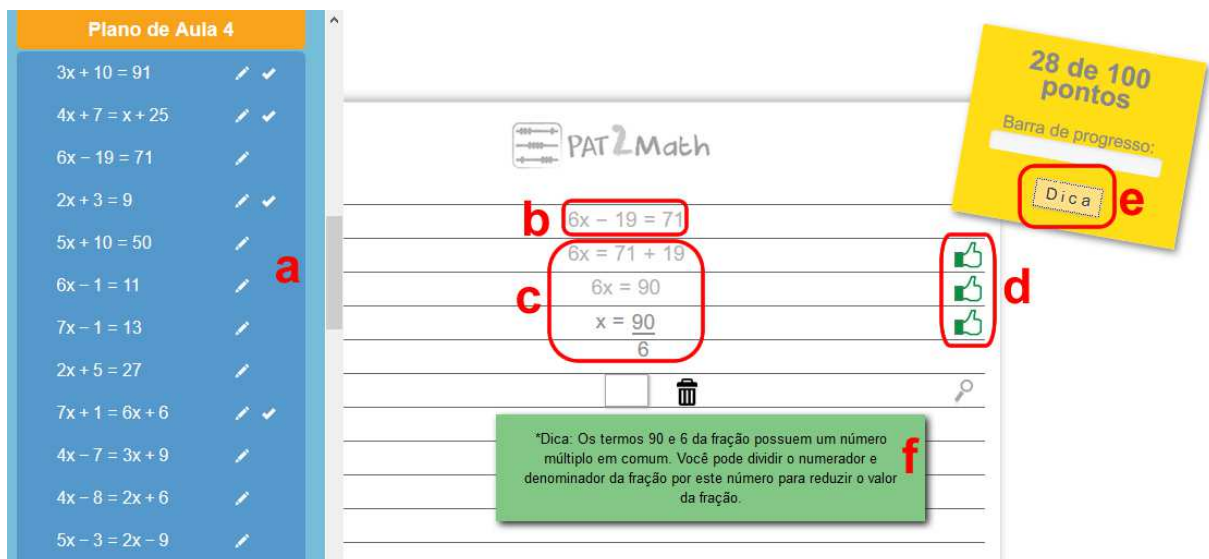
Por fim, o histórico de passos utilizados pelo aluno para resolver as equações e as respectivas unidades de conhecimento empregadas nestes passos são mantidas em tabelas de banco de dados.

### 3.6 PATEquation

O PAT2Math possui um editor de álgebra denominado PATEquation que auxilia o aluno no aprendizado e é responsável pela comunicação entre o aprendiz e o STI. (JAQUES et al., 2013). Este componente apresenta as equações na interface gráfica, possibilita que o aluno entre com os passos no processo de resolução e exibe dicas e *feedbacks*. A Figura 10 apresenta a interface do PATEquation, no PAT2Math, desenvolvida em HTML5 e JavaScript.

De acordo com a Figura 10: a) o aluno seleciona uma equação, dentre várias equações listadas na interface gráfica através de planos de aula; b) a equação é exibida; c) o aluno entra com os passos de resolução da equação; d) um *feedback* mínimo é exibido para cada passo, indicando se o passo é correto ou não; e) o aluno pode solicitar dicas; f) a dica é exibida após o aluno solicitar a dica.

Figura 10: Interface do PAT2Math + PATEquation



Fonte: Elaborado pelo autor.

Resumidamente, em sua versão atual, o PAT2Math é composto pelo PATEquation, que representa o *inner loop* do STI, como descrito por VanLehn (2006), uma vez que é nesse componente do PAT2Math que o estudante fornece os passos da equação e recebe dicas e *feedbacks* (mínimo e de erro específico) para esses passos. No mecanismo de *outer loop*, as

tarefas são disponibilizadas por um tutor humano e selecionadas pelo próprio aluno em listas de planos de aula. Além disso, possui um sistema especialista que resolve equações de 1º e 2º graus com uma incógnita, corrige os passos dos alunos e identifica as unidades de conhecimento utilizadas e algumas *misconceptions*. Por fim, mantém um histórico de resolução de passos de cada aprendiz e infere e guarda o conhecimento do estudante no domínio de equações de 1º grau.



## 4 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta estudos que possuem relação com o presente trabalho. Estes estudos buscam treinar habilidades metacognitivas em ambientes computacionais de aprendizagem, sendo que alguns, mais especificamente, treinam a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento.

Faz-se necessário descrever algumas características importantes do modelo de agente metacognitivo apresentado e implementado no presente trabalho, que será descrito em detalhes apenas no próximo capítulo, a fim de auxiliar o leitor a estabelecer um comparativo com os estudos relacionados. O agente metacognitivo busca treinar a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento, incitando o aluno a refletir sobre seu conhecimento através de ações de *scaffolding* (*prompts*, *feedbacks* e *self-explanations*) que são adaptadas (quantidade de intervenções e conteúdo do *scaffolding*) de acordo com as seguintes informações do aluno: medida corrente da habilidade de monitoramento do conhecimento, conhecimento corrente no conteúdo do domínio e histórico de resolução de tarefas. O agente pretende melhorar o comportamento de monitoramento do conhecimento do aluno, fazendo-o: a) ter uma atitude menos reativa, refletindo sobre seu conhecimento antes de tentar resolver uma tarefa; b) refletir sobre o conhecimento já demonstrado; c) refletir sobre tarefas similares resolvidas anteriormente. Além disso, o treinamento metacognitivo do agente é explícito, ou seja, o aluno é informado sobre a importância da habilidade metacognitiva na sua aprendizagem.

Primeiramente, foram selecionados estudos relacionados a ambientes computacionais de aprendizagem que aplicam algum tipo de treinamento metacognitivo ou de aprendizagem autorregulada, um construto fortemente ligado à metacognição (como descrito na seção 2.3). Posteriormente, buscou-se filtrar estes trabalhos, identificando os estudos que aplicam, em algum momento da instrução, algum tipo de ação que incite o aluno, de forma explícita (por exemplo, através de alguma mensagem exibida na interface gráfica), a refletir sobre seu conhecimento, mesmo que este não seja um objetivo do estudo. Foram consultadas as principais bibliotecas digitais (Science Direct<sup>1</sup>, Springer<sup>2</sup>, ACM<sup>3</sup>, IEEE<sup>4</sup>), conferências (ITS, SBIE, ICALT) e periódicos (IJAIED, Computers & Education) relacionados à área da

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/>

<sup>2</sup> Disponível em: <http://www.springer.com/>

<sup>3</sup> Disponível em: <http://dl.acm.org/>

<sup>4</sup> Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/>

Informática na Educação, além do Portal de Periódicos da Capes e o mecanismo de busca Google Scholar.

As próximas subseções descrevem os trabalhos relacionados. Os estudos que empregam algum tipo de ação explícita que incite o aluno a refletir sobre seu conhecimento são descritos em seções específicas com seus objetivos instrucionais, resultados e comparação com o agente metacognitivo do presente estudo. O trabalho de Gama (2004) é descrito com mais riqueza de detalhes, em relação aos demais trabalhos, em função de ser o estudo relacionado com objetivos instrucionais e características mais similares ao presente trabalho, pois é o único estudo relacionado que possui o objetivo instrucional de melhorar a habilidade de monitoramento do conhecimento dos alunos de forma explícita. Os demais trabalhos que incitam os alunos a monitorarem o seu conhecimento não descrevem em seus objetivos a melhora desta habilidade nos aprendizes.

Os demais trabalhos encontrados que treinam ou incitam outras habilidades metacognitivas são descritos na seção 4.6, porém, com menos detalhes. Estes estudos buscam treinar outras habilidades metacognitivas, incluindo aspectos de aprendizagem autorregulada. Não foram identificados nestes trabalhos ações instrucionais explícitas incitando o aluno a refletir sobre seu conhecimento. No entanto, sabendo-se que a habilidade de monitoramento do conhecimento é uma habilidade fundamental para as demais habilidades metacognitivas, o sucesso instrucional destes trabalhos que treinam habilidades sobrejacentes ao monitoramento do conhecimento sugere que os alunos sejam habilidosos em identificar o que sabem e o que não sabem. Uma importante discussão relacionada a esta questão é realizada na conclusão deste capítulo.

O Quadro 4 apresenta um resumo com características importantes dos trabalhos relacionados que permitem estabelecer um comparativo com o agente metacognitivo do estudo presente. A coluna “Habilidades(s) que pretende treinar” diz respeito às habilidades do aluno que o trabalho pretende melhorar e que são descritas explicitamente no estudo. A coluna “Incita o MC” informa se o estudo incita o aluno, de forma explícita (através de mensagens na interface gráfica, por exemplo), a julgar se possui ou se não possui conhecimento para resolver determinada tarefa do domínio, mesmo que este não seja um objetivo explícito descrito pelo estudo. A coluna “Adapta a(s) etapa(s) que incita o MC” informa se a etapa da instrução que incita o aluno a monitorar seu conhecimento é adaptada, de alguma forma, ao aluno. A coluna “Observações” reforça alguns aspectos importantes dos trabalhos relacionados para fins de comparação com o presente estudo.

Quadro 4 – ACAs que treinam habilidades metacognitivas

(continua)

Referência	Domínio	Habilidade(s) que pretende treinar	Incita o MC	Abordagem instrucional	Adapta a(s) etapa(s) que incita o MC	Observações
Trabalho Proposto.	Resolução de equações de 1º grau com uma incógnita.	Monitoramento do conhecimento.	Sim.	<i>Prompts, feedbacks e self-explanations.</i>	Sim. Adapta <i>prompts, feedbacks</i> e frequência do <i>scaffold</i> .	Treinamento específico da habilidade de monitoramento de conhecimento. Explicita a importância desta habilidade, adapta o treinamento ao conhecimento no domínio, à habilidade metacognitiva corrente de monitoramento do conhecimento e ao histórico de resolução de tarefas do aluno.
AMT - <i>Affective Meta-Tutoring</i> (VANLEHN et al., 2014).	Modelagem dinâmica de sistemas (Matemática).	Estratégias de aprendizagem.	Não.	Dicas e <i>feedbacks</i> .	Não.	Ensina e encoraja o uso de boas estratégias de aprendizagem. Os <i>feedbacks</i> e dicas são adaptados de acordo com o estado afetivo do aluno, mas não o incita, explicitamente, a julgar seu conhecimento. Dessa forma, não há instrução metacognitiva explícita.
MetaTutor (AZEVEDO et al., 2012, 2013b).	Biologia Humana.	Aprendizagem Autorregulada.	Sim.	<i>Prompts, feedbacks</i> e diálogo entre aluno e tutor.	Não.	Possui um mecanismo que possibilita ao aluno que faça julgamentos de seu conhecimento. No entanto, este mecanismo não é adaptado ao aluno.

(continuação)

<b>Referência</b>	<b>Domínio</b>	<b>Habilidade(s) que pretende treinar</b>	<b>Incita o MC</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Adapta a(s) etapa(s) que incita o MC</b>	<b>Observações</b>
IMPROVE (KRAMARSKI; MICHALLSKY, 2013).	Matemática e Ciência.	Aspectos de Aprendizagem Autorregulada: compreensão, conexão estratégica e reflexão.	Não.	<i>Prompts de self- questioning.</i>	Não.	Não foram descritas questões adaptativas do modelo. Também não foram identificadas ações explícitas que incitam o aluno a monitorar o conhecimento.
<i>Help Tutor</i> (ALEVEN et al., 2006; ROLL et al., 2011).	Geometria.	<i>Help-seeking.</i>	Sim.	<i>Feedbacks.</i>	Não.	Avaliações evidenciaram melhora do comportamento de <i>help-seeking</i> dos alunos, sugerindo também uma boa habilidade de monitoramento do conhecimento. Uma das etapas do modelo incita o aluno a pensar no seu conhecimento, porém, esta etapa não é adaptada ao aluno.
MetaCTAT (RAMANDALAHY; VIDAL; BROISIN, 2010).	Geral.	FOL ( <i>Feeling of Learning</i> ), FOC ( <i>Feeling of Confidence</i> ) e FOS ( <i>Feeling of Satisfaction</i> )	Não.	<i>Prompts.</i>	Não.	Estende a ferramenta de autoria <i>Cognitive Tutoring Authoring Tools</i> (CTAT) para apoiar a metacognição. Incita o aluno refletir sobre seu sentimento de aprendizagem, sentimento de confiança e sentimento de satisfação, mas não incita a reflexão sobre seu conhecimento.

(continuação)

Referência	Domínio	Habilidade(s) que pretende treinar	Incita o MC	Abordagem	Adapta a(s) etapa(s) que incita o MC	Observações
Pimentel, Omar e França (2005).	Programação de Computadores.	Monitoramento do conhecimento e avaliação da experiência de aprendizagem.	Sim.	<i>Feedbacks</i> e questionamentos.	Não.	O trabalho não descreve questões adaptativas no modelo. Não foram encontrados artigos que indiquem a continuidade deste trabalho.
MIRA (GAMA, 2004).	Algebra <i>word problems</i> .	Monitoramento do conhecimento, seleção de estratégias metacognitivas e avaliação da experiência de aprendizagem.	Sim.	<i>Prompts</i> gráficos e textuais, <i>self-explanations</i> , <i>self-assessments</i> e <i>feedbacks</i> .	Não.	Uma avaliação não encontrou ganhos da habilidade de monitoramento do conhecimento. Trabalho com objetivos instrucionais similares ao agente do presente trabalho. Incita o aluno a monitorar seu conhecimento, mas não adapta a quantidade e o conteúdo da instrução.
Plataforma de Investigação (WOOLF et al., 2002)	Engenharia Civil, Biologia e Geologia.	Habilidades investigativas.	Sim.	<i>Prompts</i> , questionamentos, estudos de caso, <i>feedbacks</i> .	Não.	Determinada fase da instrução incita o aluno a monitorar o seu conhecimento, mas esta etapa não é adaptada ao aluno.

(conclusão)

Referência	Domínio	Habilidade(s) que pretende treinar	Incita o MC	Abordagem	Adapta a(s) etapa(s) que incita o MC	Observações
SE-Coach (CONATI; VANLEHN, 2000).	Física.	<i>Self-explanation</i> e monitoramento do entendimento.	Não.	<i>Self-explanation</i> , <i>prompts</i> , dicas e <i>feedbacks</i> .	Não.	Estimula e auxilia o aluno em atividades de <i>self-explanations</i> e a monitorar seu entendimento sobre a tarefa. Não incita o aluno, explicitamente, a julgar seu conhecimento.
LuCy (GOODMAN et al., 1997).	<i>Satellite Activity</i> .	Reflexão sobre ações e tomadas de decisões do passado e ações futuras.	Não.	Aprendizagem colaborativa através de um companheiro de aprendizagem.	Não.	Incita o aluno a refletir sobre soluções e tomadas de decisão realizadas no passado e sobre possíveis ações futuras. Utiliza o Modelo de Aluno e Sistema Especialista para adaptar a instrução, mas não incita o aluno, explicitamente, a monitorar o seu conhecimento.
MIST (PUNTAMBEKAR, BOULAY, 1997).	Estudo através da leitura de textos.	Monitoramento do conhecimento, consciência metacognitiva, metas, planejamento, controle da aprendizagem.	Sim.	<i>Prompts</i> , questionamentos, <i>feedbacks</i> , <i>Self-explanations</i> , colaboração em pares.	Não.	O sistema não apresentou bons resultados com alunos com fracas habilidades autorregulatórias. Não há adaptação da instrução a características individuais dos alunos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1 Modelo RA – Reflection Assistant Model

A tese de doutorado de Gama (2004) descreve um modelo computacional de instrução metacognitiva chamado *Reflection Assistant Model* (RA), aplicado em ambientes computacionais de aprendizagem de solução de problemas. A instrução metacognitiva do modelo RA tem foco nas seguintes habilidades metacognitivas: a) monitoramento do conhecimento; b) seleção de estratégias metacognitivas; c) avaliação da experiência de aprendizagem. Com o objetivo de melhorar as habilidades metacognitivas dos aprendizes, o modelo utiliza uma abordagem baseada na reflexão do aluno sobre o seu processo de aprendizagem e suas habilidades.

O modelo RA propõe uma instrução metacognitiva explícita, que instrui os alunos sobre a importância das habilidades metacognitivas treinadas para sua aprendizagem. Além disso, adota o modelo de metacognição de Tobias e Everson (2002) em que a habilidade de monitoramento do conhecimento é um pré-requisito para outras habilidades metacognitivas. Desta forma, o modelo RA tem o objetivo de promover o desenvolvimento consciente da habilidade de monitorar o conhecimento.

A técnica de avaliação metacognitiva KMA, de Tobias e Everson (2002), descrita na seção 2.6.1, também é utilizada pelo modelo RA, com algumas adaptações na matriz KMA da Figura 3. O modelo RA inclui uma nova coluna na dimensão da estimativa do conhecimento. Além de o aluno poder estimar que possui conhecimento ou que não possui conhecimento para resolver a tarefa, ele pode estimar que possui conhecimento parcial para resolver a tarefa. Na dimensão do desempenho sobre a tarefa, além da matriz considerar quando o aluno resolveu a tarefa e quando não resolveu a tarefa, foi acrescentada uma nova linha que considera também quando o aluno resolveu parcialmente a tarefa. Além disso, Gama (2004) desenvolveu uma medida chamada KMB (*Knowledge Monitoring Bias*), que permite classificar o aluno como a) realista, b) pessimista, c) otimista e d) aleatório (estimativas de conhecimento tão pessimistas quanto otimistas), que ajuda a identificar os motivos da imprecisão do aluno em monitorar o seu conhecimento.

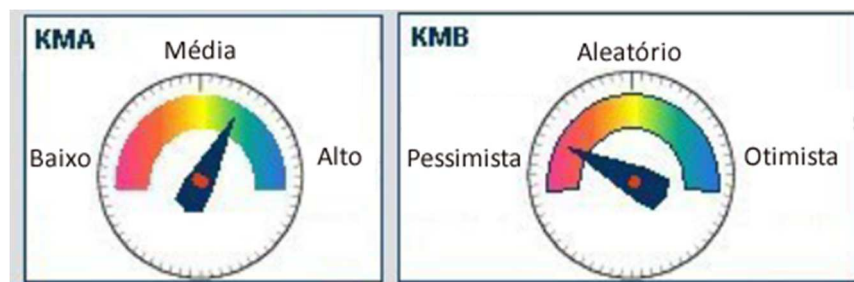
Com o objetivo de implementar o modelo RA e realizar testes, foi desenvolvido um ambiente de aprendizagem interativo chamado MIRA (*Metacognitive Instruction using a Reflective Approach*). O sistema MIRA não é considerado um STI porque não implementa uma base de conhecimento em álgebra e nem um modelo de *misconceptions*, não infere o conhecimento do aluno no domínio e também não possui *feedback* fortemente customizado.

Também foi desenvolvida a ferramenta PAL Tool, embutida no MIRA, que implementa uma interface gráfica que auxilia o aluno na resolução de problemas algébricos do tipo *word problems*. O sistema MIRA ajuda o aluno a, por exemplo, quebrar os problemas em partes, identificar os dados e as incógnitas dos problemas e as relações existentes entre os dados e as incógnitas.

A Figura 12 apresenta a arquitetura do modelo RA e sua comunicação com um ambiente de aprendizagem baseado em problemas. Como pode ser visualizado, o ambiente computacional de aprendizagem precisa fornecer dois repositórios de dados para o modelo RA: o histórico de ações do aluno e o desempenho do aluno. O modelo RA é dividido em dois principais módulos: a) Assistente de familiarização e reflexão de pré-tarefa; b) Assistente de reflexão de pós-tarefa.

O módulo **Assistente de familiarização e reflexão de pré-tarefa** ocorre antes de o aluno tentar resolver a tarefa corrente, ou seja, na etapa de pré-tarefa. Neste módulo, o aluno participa de quatro atividades reflexivas. Na primeira atividade, **comparativo do monitoramento do conhecimento e desempenho**, o sistema apresenta ao aluno um gráfico de barras mostrando duas informações para cada um dos problemas que o aluno resolveu no passado: a estimativa do aluno de seu próprio conhecimento (desempenho previsto) para resolver a tarefa e o desempenho sobre a mesma tarefa.

Figura 11: Refletômetro utilizado pelo modelo RA



Fonte: Adaptado de Gama (2004).

Na segunda atividade de pré-tarefa, **análise do estado do monitoramento do conhecimento**, o sistema exibe, na interface do sistema, um recurso gráfico que a autora chamou de refletômetro, que mostra ao aluno os valores de KMA e KMB correntes, representados por um gráfico que lembra um velocímetro de carro (Figura 11).

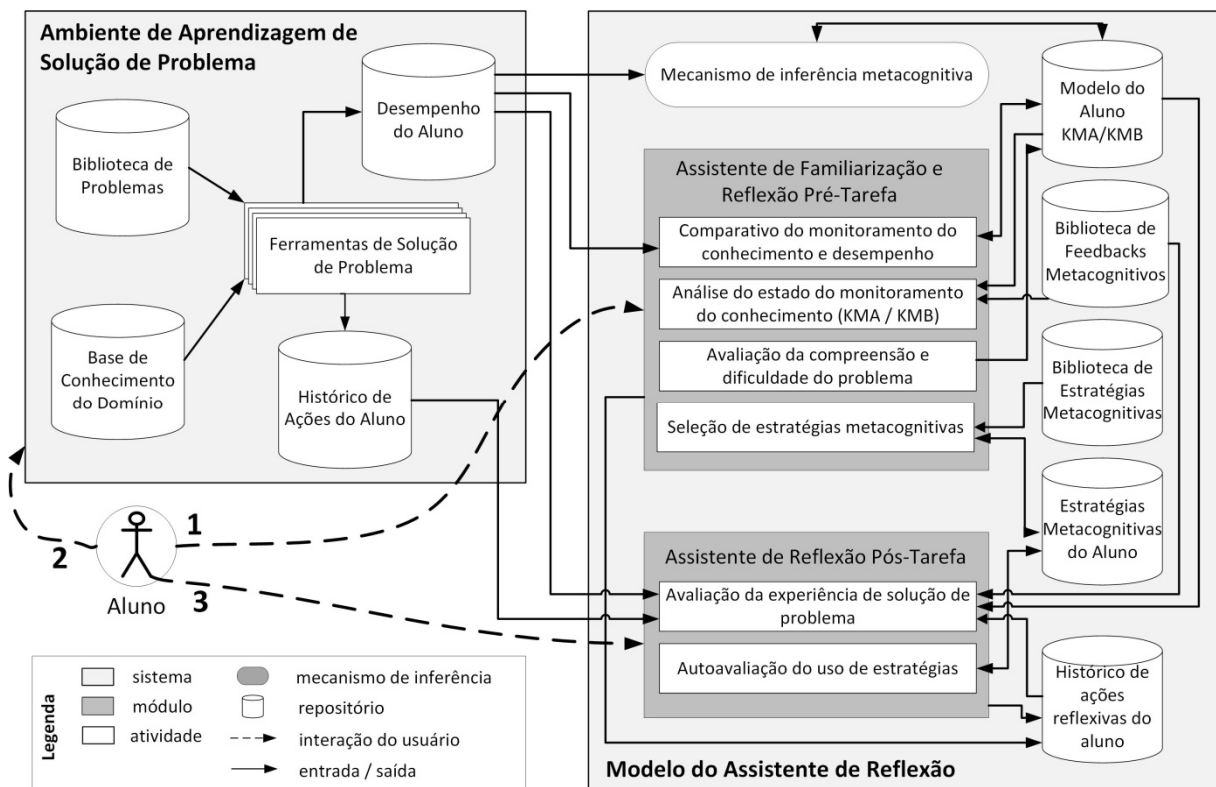
Na terceira atividade de pré-tarefa atribuída pelo modelo RA, **avaliação da compreensão e dificuldade do problema**, são apresentadas ao aluno algumas perguntas sobre o nível de compreensão e dificuldade do problema, incitando o aluno a fazer uma



reflexão. São exemplos de perguntas apresentadas ao aluno: “Você entende os objetivos do problema?” e “Você já resolveu um problema similar anteriormente?”.

Na quarta atividade da etapa de pré-tarefa, **seleção de estratégias metacognitivas**, o sistema apresenta uma lista pré-definida de estratégias metacognitivas e é o próprio aluno que seleciona as estratégias que considera úteis para resolver a tarefa corrente. Exemplos de estratégias apresentadas na lista, para seleção pelo aluno, são: “Leia o problema mais de uma vez”, “Pense em um problema relacionado que você já resolveu antes e use como um modelo”, “Releia o problema, de tempos em tempos, para verificar partes importantes esquecidas” e “Releia a descrição da tarefa e se pergunte se a sua solução está de acordo com os objetivos da tarefa”.

Figura 12: Arquitetura do modelo RA



Fonte: Traduzido de Gama (2004).

O segundo módulo do modelo RA, **Assistente de reflexão de pós-tarefa**, ocorre depois de o aluno realizar a tarefa corrente, ou seja, na etapa de pós-tarefa. O módulo apresenta atividades que avaliam o processo de solução do problema. Envolve duas atividades, descritas nos próximos parágrafos.

Na atividade de **avaliação da experiência de solução de problemas**, o sistema ajuda o aluno a refletir sobre a recente experiência de solução de tarefa. O sistema apresenta um

gráfico com uma linha do tempo que mostra, entre outras informações, o tempo que o aluno utilizou para ler o problema e avaliar o seu entendimento, o tempo que o aluno utilizou para selecionar estratégias metacognitivas e o tempo que o aluno utilizou para verificar problemas anteriores.

Na atividade de **autoavaliação do uso de estratégias**, o sistema exibe uma lista com as estratégias selecionadas pelo aluno na etapa de pré-tarefa e atribui uma atividade de *self-explanation* em que o aluno é questionado sobre o uso das mesmas estratégias durante o recente processo de solução do problema. Questões como “Você usou as estratégias durante a solução do problema?” e “Quais estratégias foram mais úteis?” incitam o aluno a responder com suas próprias palavras.

O modelo RA, implementado no sistema MIRA, foi testado para o domínio de enunciados de problemas algébricos do tipo *word problems* com 25 alunos universitários de primeiro ano de graduação, divididos em grupo de controle e grupo experimental. Ambos os grupos utilizaram o MIRA, no entanto, o grupo de controle não recebeu as atividades reflexivas, enquanto que o grupo experimental recebeu.

Na fase de testes, os alunos que receberam atividades reflexivas passaram mais tempo sobre as tarefas e responderam corretamente uma quantidade significativamente maior de problemas que o grupo de controle. No nível metacognitivo, o grupo experimental apresentou um ganho na precisão do monitoramento do conhecimento, porém, a diferença não foi estatisticamente significativa.

A avaliação apresentou alguns problemas. Comparando os resultados de pré e pós-testes, os dois grupos apresentaram piores desempenhos no domínio de álgebra *word problems* na fase de pós-teste. Gama acredita que esses resultados foram decorrentes de um problema na definição das tarefas entregues aos alunos na fase de pós-teste, pois as mesmas foram consideradas mais difíceis do que na fase de pré-teste. Outros problemas foram citados pela autora, como o pequeno número de participantes na avaliação e os diferentes padrões de habilidade, motivação e idade entre os participantes dos dois grupos, mesmo que a atribuição de alunos para cada grupo tenha sido aleatória. A autora conclui que apesar de haver alguma evidência dos benefícios do modelo RA, não é possível fazer afirmações sobre a validade do modelo para o desenvolvimento da habilidade de monitoramento do conhecimento.

No sistema MIRA, as atividades de reflexão não são adaptadas a características do aluno e esta é uma propriedade importante na instrução metacognitiva em ambientes computacionais de aprendizagem. (AZEVEDO; HADWIN, 2005). Além disso, o sistema MIRA não é considerado um STI e o único mecanismo que possui alguma individualização é

o *feedback* que o aluno recebe. Todas as demais atividades de reflexão nas etapas de pré e pós-tarefa são iguais para todos os problemas apresentados ao aluno e são atribuídas em uma sequência fixa pré-definida.

O sistema MIRA adota uma abordagem que coloca grande parte do controle do ambiente sob a responsabilidade do aluno. Esta abordagem pode não ser efetiva, já que é conhecido que nem todos os alunos se engajam espontaneamente em atividades metacognitivas. (BERARDI-COLETTA; BUYER; DOMINOWSKI; RELLINGER, 1995; BRANSFORD et al., 1999; CHI, BASSOK, LEWIS, REIMANN; GLASER, 1989; LIN; LEHMANN, 1999 apud LIN, 2001, p.24).

A utilização de um modelo de aluno simplificado, que mantém apenas a informação sobre o estado atual de precisão do aluno de monitorar o seu conhecimento, restringe as possibilidades de *scaffolding* e de adaptabilidade do sistema MIRA. O *scaffolding* promovido pelo MIRA não é adequado às necessidades do aluno, nem diminuiu o suporte à medida que o aluno apresenta competência na habilidade metacognitiva.

Diferentemente do trabalho de Gama (2004), o agente pedagógico do presente trabalho adapta as ações de reflexão metacognitiva a características do aluno. Várias destas características adaptativas do agente proposto se devem à sua integração com STIs, que fornecem dados inferidos de módulos inteligentes, como o Módulo de Domínio e o Modelo de Aluno. Quanto mais habilidoso for o aluno em monitorar o seu conhecimento, menor será a quantidade de intervenções do agente pedagógico. Além disso, dependendo da habilidade metacognitiva do aluno, do seu conhecimento sobre o domínio a ser ensinado e do seu histórico de resolução dos problemas, serão atribuídas ações de reflexão de diferentes formas e conteúdos. Segundo Rutz, Tholander e Karlgren (1999), é importante que o aluno confie no agente, como quando percebe que o agente não é um simples autômato, mas que faz inferências e promove ações de reflexões que correspondam ao atual conteúdo cognitivo e às necessidades do aluno.

## 4.2 MetaTutor

O MetaTutor (AZEVEDO et al., 2012, 2013b) é um ambiente de aprendizagem hipermídia adaptativo e multiagente que busca treinar uma variedade de processos de aprendizagem autorregulada, entre elas: ativação do conhecimento anterior, seleção de metas, avaliação das estratégias de aprendizagem, *Judgement of Learning* (JOL), *Feeling of Knowing* (FOK) e monitoramento do progresso de aprendizagem. O MetaTutor não é um STI, mas um

ambiente de aprendizagem projetado para detectar, modelar, acompanhar e melhorar a aprendizagem autorregulada dos alunos no conteúdo de Biologia Humana. (AZEVEDO et al., 2009).

O MetaTutor também é uma ferramenta de pesquisa, pois é capaz de medir o desenvolvimento dos processos autorregulatórios através de medidas providas de autorrelatos e aplicação de ações de *think-aloud*, análise do diálogo entre aluno e agente, medidas fisiológicas de motivação e emoção, padrões de comportamentos e de estratégias e dados faciais e de *eye-tracking*. Estes dados são utilizados pelos pesquisadores para entender como, quando e porque os alunos regulam e adaptam sua aprendizagem.

Figura 13: Interface gráfica do MetaTutor



Fonte: Adaptado de Azevedo et al. (2013b).

Como ferramenta de aprendizagem, o sistema incita os alunos a engajarem-se em atividades de definição de submetas, planejamento, monitoramento e seleção de estratégias de aprendizagem. O sistema utiliza quatro agentes pedagógicos, cada um atuando sobre diferentes aspectos autorregulatórios. O sistema coleta informações da interação do usuário com o sistema e utiliza estas informações para permitir que os agentes forneçam *feedback* adaptado ao aluno. Os agentes também podem dialogar com o aluno para prestar assistência:

a) na seleção de submetas de aprendizagem; b) na precisão dos julgamentos metacognitivos; c) no uso de estratégias de aprendizagem. Este diálogo entre aluno e agente foi implementado utilizando técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN).

A interface gráfica do sistema também foi projetada para auxiliar os processos de aprendizagem autorregulada, como apresentado na Figura 13. Uma paleta de opções (localizada à direita da interface) permite ao aluno realizar algumas atividades autorreguladas, como avaliar quão bem conhece o conteúdo apresentado, ou avaliar quão bem o conteúdo corresponde a uma submeta de aprendizagem. A interface também permite ao aluno definir submetas de aprendizagem, realizar julgamentos metacognitivos e dialogar, textualmente, com um agente pedagógico.

Diferentemente do agente metacognitivo do presente trabalho, que busca treinar especificamente a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento, o MetaTutor visa treinar aspectos relacionados à aprendizagem autorregulada. Um dos aspectos abordados pelo sistema é a ativação do conhecimento prévio do aluno. Para isso, é necessário que o aluno faça um julgamento do seu conhecimento e esta atividade está fortemente relacionada à habilidade de monitoramento do conhecimento. O MetaTutor fornece uma opção, acionada pelo aluno na paleta de aprendizagem autorregulada (Figura 13) em que o agente pedagógico incita o aprendiz a informar o que ele já sabe sobre o conteúdo apresentado. Isto é feito através da caixa de diálogo localizada na parte central da interface, abaixo do conteúdo do domínio, onde o agente inicia um diálogo com o aluno, explicando a importância de o aprendiz acessar o conhecimento que já possui sobre o conteúdo. Para verificar se o aluno possui ou não possui conhecimento no domínio, o agente atribui uma ferramenta de quiz em que o aprendiz responde perguntas sobre o domínio do conteúdo apresentado.

No entanto, o MetaTutor difere-se do agente metacognitivo do presente trabalho pelo fato de não adaptar a quantidade de intervenções e o conteúdo da etapa em que incita o aluno a refletir sobre seu conhecimento, ao conhecimento e histórico do aluno e sua habilidade metacognitiva.

### 4.3 Help Tutor

Os trabalhos de Alevén et al. (2006) e Roll et al. (2011) descrevem um agente chamado *Help Tutor*, que objetiva treinar o comportamento metacognitivo de *help-seeking* dos alunos. *Help-seeking* é a habilidade metacognitiva do aluno de procurar ajuda, apenas quando necessário, de um professor, colega, livro, manual, site da internet, entre outros.

(ALEVEN et al., 2006). Segundo Nelson-Le Gall (1981 apud ROLL et al., 2011, p. 267), saber quando e como buscar ajuda durante a aprendizagem é uma importante habilidade autorregulatória. Além disso, o comportamento de *help-seeking* possui relação com a habilidade de monitoramento do conhecimento (TOBIAS; EVERSON, 2009). Tobias e Everson (2002) argumentam que o comportamento de *help-seeking* é um sinal de nível de consciência metacognitiva, como quando um aluno percebe que lhe falta um determinado conhecimento. Desta forma, esta percepção sugere que o aluno possa diferenciar entre o que ele sabe e o que não sabe, ou seja, que possua algum nível de habilidade de monitoramento do conhecimento.

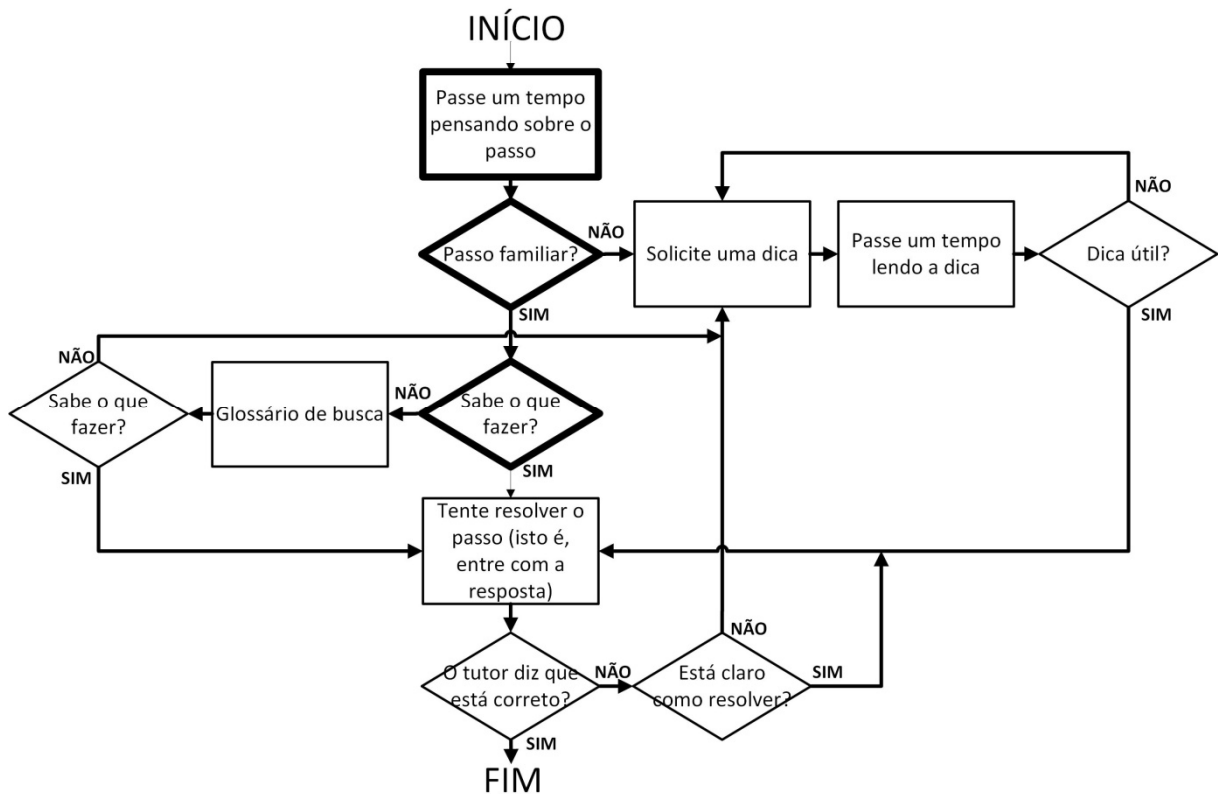
A Figura 14 apresenta o modelo de comportamento desejado de *help-seeking*, que serve como base para o funcionamento do agente *Help Tutor*. O modelo especifica como o aluno deveria utilizar os recursos de ajuda do STI. Segundo o modelo, o aluno deveria passar um tempo pensando sobre o passo da tarefa. No caso do passo ser familiar para o aluno e ele souber o que fazer para resolver, o aluno deveria tentar resolver o passo. Se o passo não for familiar para o aluno, como um passo que envolve unidades de conhecimento desconhecidas, ele deveria pedir ajuda (por exemplo, pedir uma dica ao STI), ao invés de adivinhar a resposta ou receber a resposta final do tutor. Se a dica resolver as dúvidas do aluno, ele deveria tentar resolver o passo, senão deveria solicitar outra dica. Se o passo parecer familiar ao aluno, mas ele não sabe exatamente o que fazer para resolver, ele deveria solicitar informações ao glossário.

As etapas “Passo familiar?” e “Sabe o que fazer?”, em destaque no modelo da Figura 14, são ações do aluno de monitoramento do conhecimento e a etapa “Passe um tempo pensando sobre o passo” é um comportamento adequado para um aluno que monitora o que ele sabe e o que não sabe.

Considerando o modelo de comportamento adequado de *help-seeking*, o *Help Tutor* fornece *feedbacks* ao aluno quando este não se enquadra no modelo. Por exemplo, caso o aluno não passe um tempo refletindo sobre o passo da tarefa, o sistema atribuirá um *feedback* alertando sobre o comportamento inadequado. Outro exemplo é quando o sistema detecta que o aluno possui algum conhecimento para resolver o passo, ou seja, se trata de um passo familiar ao aluno, e, mesmo assim, o aluno solicita uma dica. Neste caso, o sistema, novamente, atribui um *feedback* alertando sobre o comportamento inadequado. Neste segundo exemplo, o sistema sabe que o aluno possui algum conhecimento sobre o passo, pois o *Help Tutor* é embutido em um STI capaz de estimar a probabilidade de domínio do aluno em

determinada unidade de conhecimento, uma inferência realizada pelo componente Modelo de Aluno.

Figura 14: Modelo de comportamento desejado de *help-seeking*



Fonte: Adaptado de Aleven (2006).

O agente *Help Tutor* e o agente pedagógico do presente trabalho possuem objetivos instrucionais diferentes. Enquanto que o primeiro visa melhorar o comportamento do aluno de *help-seeking*, o segundo objetiva melhorar a habilidade de monitoramento do conhecimento do aluno. O *Help Tutor* se relaciona com o agente pedagógico proposto quando considera a necessidade do aluno de monitorar o seu conhecimento para atingir um comportamento de *help-seeking* adequado. Além disso, algumas abordagens utilizadas pelo *Help Tutor* serão utilizadas pelo agente pedagógico, como incitar o aluno a passar um tempo refletindo sobre o passo da tarefa, acompanhar as ações do aluno sobre os passos e atribuir *feedbacks*, além de que o *Help Tutor* considera as informações do Modelo de Aluno para tomadas de decisão do agente. No entanto, as etapas em que o *Help Tutor* incita o aluno a refletir sobre seu conhecimento não são adaptadas ao aprendiz.

Os testes com o agente *Help Tutor* foram realizados no *Cognitive Tutor*, um STI do tipo *step-based* desenvolvido pela Carnegie Mellon University, amplamente utilizado em

escolas de Ensino Médio nos Estados Unidos. Avaliações evidenciaram melhora do comportamento de *help-seeking* dos alunos, o que sugere também, por dedução, uma boa habilidade dos alunos de monitoramento do conhecimento. Porém, como a avaliação não mediu o desempenho do aluno em monitorar o seu conhecimento, não é possível corroborar com esta hipótese.

#### 4.4 MIST

O trabalho de Puntambekar e Boulay (1997) descreve o MIST (*Metacognition in Studying from Texts*), um sistema que objetiva treinar a consciência metacognitiva do aluno quando este está aprendendo o conteúdo de um domínio através da leitura de textos. Utilizando uma abordagem colaborativa, em pares de alunos, emprega ferramentas como *prompts*, questionamentos, *feedbacks* e *self-explanations* para treinar habilidades como monitoramento do conhecimento, consciência de habilidades metacognitivas e habilidades relacionadas à aprendizagem autorregulada como definição de metas, planejamento, monitoramento do andamento da aprendizagem e controle da aprendizagem. Uma avaliação dividiu os alunos participantes em dois grupos formados por pares de alunos: alunos com fracas habilidades autorregulatórias (LO) e alunos com fortes habilidades autorregulatórias (HI). Os alunos do grupo LO apresentaram muita dificuldade em compreender o treinamento, interagiram pouco com o sistema e conversaram pouco entre si. Por outro lado, os alunos do grupo HI responderam melhor ao treinamento. Os resultados apontaram a necessidade de melhorias do treinamento para atendimento das necessidades dos alunos com fracas habilidades autorregulatórias.

A instrução explícita a importância das atividades metacognitivas explicando, por exemplo, quais são os fatores que afetam a metacognição quando uma pessoa estuda a partir da leitura de textos. O sistema aconselha os alunos a pensarem no conhecimento anterior, uma ação do sistema relacionada ao monitoramento do conhecimento. Não há adaptação desta etapa da instrução a características individuais dos alunos e não foram encontradas avaliações do MIST medindo ganhos da habilidade de monitoramento do conhecimento com o uso do sistema.



#### 4.5 Treinamento de habilidades investigatórias

O trabalho de Woolf et al. (2002) descreve um *software* instrucional que visa melhorar as habilidades de investigação dos alunos, de forma que eles possam racionalizar sobre um determinado fenômeno e desenvolver hipóteses para explicá-lo. Mais do que ensinar conteúdo, o principal objetivo é ajudar os alunos a tornarem-se aprendizes críticos em vários domínios de conhecimento e cientes dos limites dos seus próprios conhecimentos.

Os alunos passam por cinco fases de investigação. Na primeira fase, os alunos são apresentados com uma determinada situação dentro de um domínio de conhecimento e são orientados a observar um fenômeno e sintetizar suas observações em um conjunto coerente de interpretações e previsões. Na segunda fase, os alunos são orientados a fazerem os seguintes questionamentos: “O que sabemos?”, “O que pensamos que sabemos?” e “O que mais precisamos saber?”. É nesta segunda fase que são identificadas ações que incitam o aluno a monitorar seu conhecimento. Na terceira fase os alunos propõem hipóteses, fazem uma previsão ou planejam um experimento. Na quarta fase os alunos coletam dados para confirmar ou refutar suas hipóteses e na quinta fase escrevem uma conclusão e um relatório final.

O construto do monitoramento do conhecimento é aplicado na segunda fase de investigação, porém, esta etapa não é adaptada a características do aluno. Além disso, a instrução metacognitiva do monitoramento do conhecimento não faz parte, de forma explícita, dos objetivos instrucionais do trabalho.

#### 4.6 Outros trabalhos

O trabalho de Pimentel, Omar e França (2005) apresentou ideias iniciais de uma pesquisa visando o desenvolvimento de uma proposta de modelo de treinamento do monitoramento dos processos metacognitivos em STIs. O modelo visa treinar habilidades de monitoramento do conhecimento e avaliação das experiências de aprendizagem. O trabalho apresenta um esboço de modelo, baseado no trabalho de Gama (2004), e possui quatro fases: previsão de desempenho, resolução do problema, verificação da solução e reflexão sobre as estratégias. Além disso, o trabalho utiliza as mesmas abordagens de escores KMA e KMB utilizadas no trabalho de Gama (2004).

Na fase de previsão de desempenho, os enunciados dos problemas são apresentados ao aluno, que deve estimar, para cada problema, se pode resolver, se não pode resolver ou se pode resolver parcialmente. Na fase de resolução de problemas, o aluno tenta resolver todos

os problemas e são coletados dados sobre seu desempenho. Na fase de verificação da solução, o aluno é convidado a comparar a sua solução, para cada problema, com as soluções do professor. Além disso, o aluno responde a um questionamento indicando, para cada problema, se a sua resposta é idêntica ou equivalente a do professor, se é diferente e está errada, ou se a solução é diferente da solução do professor e está correta. Na fase de reflexão sobre a resolução do problema, o aluno é convidado a refletir sobre como resolveu o problema.

O trabalho ainda apresenta um esboço dos componentes do STI a serem implementados para dar suporte ao modelo. Também é descrito um estudo de caso envolvendo problemas sobre programação de computadores e são coletados dados relativos à aplicação do modelo com um pequeno grupo de alunos, para fins de implementação de futuros protótipos. O trabalho não descreve características adaptativas da instrução metacognitiva. Além disso, nem o STI, nem o modelo foram implementados. Também não foram encontrados artigos que indiquem a continuidade deste trabalho.

O sistema SE-Coach, de Conati e VanLehn (2000), tem como objetivo treinar a habilidade de *self-explanation* e o monitoramento do entendimento do que a tarefa está propondo. Ele foi integrado ao STI Andes, que atua no domínio de Física Newtoniana e que utiliza uma estratégia de aprendizagem baseada em exemplos. O SE-Coach acompanha e incita o aluno a participar de ações de *self-explanation*, através de ferramentas de dicas, *feedbacks* e *prompts*. Uma adaptação ao conhecimento do aluno é realizada. O sistema incita o aluno a fazer *self-explanation* sobre partes do exemplo de uma tarefa, que é apresentada na interface gráfica do sistema. O sistema escolhe exemplos, para fazer *self-explanation*, que são relacionados a tarefas que o aluno demonstra conhecimento deficitário. Para isso, o sistema utiliza informações de um Modelo de Aluno implementado através de redes bayesianas. Uma avaliação com grupos de alunos apresentou evidências positivas em relação à efetividade do SE-Coach em estimular a participação dos alunos nas atividades de *self-explanation*. No entanto, este sistema não incita o aluno, explicitamente, a refletir sobre seu conhecimento, e também não é objetivo do sistema treinar a habilidade de monitoramento do conhecimento.

O trabalho de Kramarski e Michalski (2013) apresentou resultados de oito experimentos envolvendo a aplicação do método IMPROVE em ambientes de aprendizagem baseados na web, também chamados de WBLEs (*Web-Based Learning Environments*). O método IMPROVE visa treinar aspectos de aprendizagem autorregulada utilizando *prompts* de *self-questioning*. *Self-Questioning* são ações de autoquestionamento que podem ser realizadas por um indivíduo, como, por exemplo, “Como eu justifico minha conclusão?” ou “Estou satisfeito com a maneira que eu resolvi o problema?”. Os WBLEs, por sua vez, são

ferramentas computacionais utilizadas na aprendizagem conceitual e que utilizam nodos de informações interconectados através de *hyperlinks*.

O método IMPROVE incita os alunos a realizarem ações de *self-questioning*. O método questiona os aprendizes sobre quatro processos de aprendizagem: compreensão, conexão, estratégia e reflexão. As questões de compreensão ajudam os alunos a entenderem as metas e ideias do problema. Questões de conexão ajudam o aluno a entender a estrutura relacional dos problemas. As questões de estratégia incitam os alunos a planejarem e selecionarem estratégias e a controlarem a efetividade destas estratégias. As questões de reflexão ajudam o aluno a avaliar os processos de solução de problema aos quais está engajado. (KRAMARSKI; MICHALLSKY, 2013).

Para a realização dos experimentos, o método IMPROVE foi integrado a WBLEs no domínio de Matemática e Ciência. Os resultados revelaram efeitos promissores em relação ao suporte dado a habilidades autorreguladas. Não foram encontradas informações relacionadas à adaptação da instrução ao aluno ou sobre a instrução explícita da importância das habilidades apoiadas pelo método IMPROVE. (KRAMARSKI; MICHALLSKY, 2013). Também não foram identificadas ações explícitas que incitam o aluno a monitorar o seu conhecimento no domínio.

Outro trabalho que busca treinar metacognição é o sistema AMT (*Affective Meta-Tutoring*), composto por: a) um tutor que ensina modelagem dinâmica de sistemas, no domínio de Matemática; b) um tutor metacognitivo que ensina estratégias de aprendizagem; c) um agente que encoraja os alunos a usarem a estratégia de aprendizagem que o tutor ensina. O tutor metacognitivo exibe *feedbacks* e dicas que são adaptadas de acordo com o estado afetivo dos alunos. O estado afetivo é inferido a partir de dados do aluno coletados através de sensores fisiológicos e dados de logs. (VANLEHN et al., 2014). Não foram encontradas ações explícitas que incitem o aluno a monitorar o seu conhecimento.

O trabalho de Goodman et al. (1997) apresenta LuCy, um companheiro de aprendizagem. Um companheiro de aprendizagem atua de forma similar a um tutor, atribuindo dicas e *feedbacks*, porém, na função de um colega de aula, como se o aluno e o companheiro de aprendizagem estivessem trabalhando em pares. LuCy auxilia o aluno a refletir sobre as soluções do passado e sobre futuras ações, adaptando suas ações de acordo com o conhecimento do aluno, inferido por um Módulo de Aluno, e através de informações sobre possíveis operações que poderiam ser aplicadas no problema corrente, disponibilizadas por um módulo especialista de STI. O estudo relacionado ao companheiro de aprendizagem LuCy difere-se do modelo metacognitivo do presente trabalho em função, principalmente, das

habilidades metacognitivas treinadas. LuCy não atua especificamente incitando a reflexão sobre o conhecimento do aluno, mas sobre questões mais amplas, como soluções e tomadas de decisões realizadas no passado e possíveis ações futuras. O treinamento também não é explícito, ou seja, a instrução não explica a importância das habilidades treinadas para a aprendizagem.

O MetaCTAT (RAMANDALAHY; VIDAL; BROISIN, 2010) é uma extensão da ferramenta de autoria CTAT (*Cognitive Tutor Authoring Tools*), que suporta aspectos metacognitivos considerando 3 indicadores: Julgamento da Aprendizagem (JOL), Sentimento de Confiança (FOC) e Sentimento de Satisfação (FOS). Primeiramente o aluno lê o enunciado da tarefa e imediatamente relata seu JOL através de uma escala Likert. Após, o aluno responde a tarefa e em seguida indica seu FOC. Ao final, o estudante relata seu FOS. Este trabalho não possui um mecanismo que incite o aluno, explicitamente, a refletir sobre seu conhecimento.

#### **4.7 Considerações finais**

O treinamento da habilidade do aluno de monitorar o seu conhecimento é um campo aberto de pesquisa. Nos últimos dez anos, autores descreveram a necessidade de trabalhos sobre o desenvolvimento de modelos de treinamento da habilidade do aluno de monitorar o que sabe e o que não sabe. (GAMA, 2004; STAVRIANOPOULOUS, 2007; TOBIAS; EVERSON, 2009; BLACKWOOD, 2013). Consequentemente, a demanda recente por pesquisas no assunto ajuda a explicar a pequena quantidade de estudos que objetivam treinar a habilidade metacognitiva tratada neste trabalho em ambientes computacionais de aprendizagem.

Foram encontrados estudos relacionados a ambientes computacionais de aprendizagem que empregam alguma ação instrucional que instiga o aluno, explicitamente, a identificar o que sabe e o que não sabe (AZEVEDO et al., 2012, 2013b; ALEVEN et al., 2006; PIMENTEL; OMAR; FRANÇA, 2005; GAMA, 2004; WOOLF et al., 2002; PUNTAMBEKAR; BOULAY, 1997) e outros trabalhos que treinam outras habilidades metacognitivas e autorregulatórias (VANLEHN et al., 2014; KRAMARSKI; MICHALSKY, 2013; RAMANDALAHY; VIDAL; BROISIN, 2010; CONATI; VANLEHN, 2000; GOODMAN et al., 1997).

No entanto, estes trabalhos relacionados apresentam, no mínimo, alguma das seguintes lacunas: a) não explicitar, durante a instrução, a importância da habilidade metacognitiva de

monitoramento do conhecimento para o aprendizado do aluno; b) não incitar o aluno, de forma explícita, a monitorar o seu conhecimento; c) não avaliar a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento. Além disso, nenhum dos trabalhos relacionados adapta ao aluno a etapa da instrução que incita o aprendiz a monitorar o seu conhecimento, sendo este o diferencial do trabalho proposto em relação aos trabalhos relacionados. As lacunas dos trabalhos relacionados podem ser identificadas no Quadro 4, que apresenta um comparativo entre o presente trabalho e os estudos relacionados.

O trabalho relacionado com objetivos instrucionais e características mais similares ao presente trabalho é o estudo de Gama (2004), que descreve o modelo RA e sua implementação como sistema MIRA. Este trabalho, descrito na seção 4.1, treina algumas habilidades metacognitivas do aluno, entre elas, a de monitorar o que se sabe e o que não se sabe sobre determinado domínio de conhecimento. No entanto, este modelo não adapta a instrução a características do aprendiz. Estudos de McCalla (1992) e Azevedo e Hadwin (2005) destacam a importância de características de adaptabilidade e individualização do ensino em ambientes computacionais de aprendizagem. No trabalho de Gama, também não foram encontradas evidências estatísticas sólidas apontando ganhos metacognitivos após avaliação com alunos.

Em relação aos demais trabalhos, descritos na seção 4.6, que não incitam explicitamente a reflexão sobre o próprio conhecimento, mas treinam outras habilidades metacognitivas e de aprendizagem autorregulada, é necessário que se faça uma reflexão, descrita nos próximos parágrafos.

Considerando-se que a habilidade de monitoramento dos próprios conhecimentos é uma habilidade fundamental para a aquisição das demais habilidades metacognitivas (TOBIAS; EVERSON, 2002), é possível sugerir que o sucesso no treinamento das demais habilidades metacognitivas indique que o aluno consiga identificar eficientemente o que sabe e o que não sabe sobre determinado domínio, sendo desnecessário um treinamento específico da habilidade de monitoramento do conhecimento. No entanto, é conhecido que nem todos os alunos conseguem se engajar em um pensamento metacognitivo (SCHOENFELD, 1987), sugerindo que estes estudantes não obterão sucesso nestes ambientes de treinamento. Uma hipótese que pode ser considerada, é que estes alunos podem não ter desenvolvido algumas habilidades metacognitivas fundamentais, como a de monitoramento do conhecimento. Um exemplo deste panorama foi descrito no trabalho de Puntambekar e Boulay (1997) sobre o sistema MIST. Neste trabalho, foi detectado que alunos que iniciaram o treinamento com fracas habilidades metacognitivas identificadas, tiveram muita dificuldade para se engajar e

entender a instrução metacognitiva do MIST. Logo, estes alunos com fracas habilidades metacognitivas iniciais não conseguiram resultados satisfatórios no treinamento, diferentemente dos alunos que já apresentavam boas habilidades metacognitivas.

Estudos de Tobias e Everson (2002) descobriram que alunos que não podem diferenciar entre o que sabem e o que não sabem não se engajam em atividades metacognitivas, como avaliar sua aprendizagem ou fazer planos para a aprendizagem. Sendo assim, um treinamento específico de uma habilidade fundamental para a aquisição de outras habilidades metacognitivas, como o apresentado no modelo descrito e implementado no presente trabalho, faz-se necessário.

O agente metacognitivo proposto no presente trabalho difere-se dos demais estudos relacionados por ser o único agente que treina especificamente a habilidade de monitoramento do conhecimento em ambientes computacionais de aprendizagem inteligentes, como os STIs. Além disso, é o único sistema que adapta a quantidade de intervenções do agente e o conteúdo da instrução metacognitiva, relacionada à habilidade de monitorar o conhecimento, de acordo com o conhecimento do aluno no domínio, seu nível metacognitivo e seu histórico de resolução de tarefas. Estas características de individualização e adaptabilidade do ensino são importantes para proporcionar ganhos na aprendizagem, segundo estudos de McCalla (1992) e Azevedo e Hadwin (2005). Além disso, a característica do agente metacognitivo de fornecer uma assistência, conhecida como *scaffolding*, que é adaptada às necessidades do aluno e que é diminuída à medida que a competência do aprendiz aumenta, é uma característica importante em ambientes computacionais de aprendizagem para apoiar a melhora do conhecimento metacognitivo dos alunos. (AZEVEDO; HADWIN, 2005).

Tanto a descrição do agente proposto quanto detalhes de implementação e integração com o STI de álgebra PAT2Math são descritos nos próximos capítulos.

## 5 MODELO DE AGENTE PEDAGÓGICO METACOGNITIVO

Este capítulo descreve um modelo<sup>1</sup> de agente pedagógico que busca promover nos alunos a habilidade de reflexão sobre o que eles sabem e o que não sabem sobre seu conhecimento, em ambientes computacionais de aprendizagem inteligentes, como os Sistemas Tutores Inteligentes. Desta forma, o modelo de agente metacognitivo<sup>2</sup> definido no presente trabalho representa um processo instrucional que se adapta a características do aluno e que objetiva melhorar a habilidade metacognitiva do monitoramento do conhecimento, e é baseado em estudos científicos que buscam melhorar habilidades metacognitivas. Este modelo, que é uma representação abstrata de um processo instrucional integrado a ambientes computacionais de aprendizagem inteligentes, como os Sistemas Tutores Inteligentes, pode ser estudado e implementado para aplicação em ambientes de ensino reais. Como será explicado posteriormente, o modelo foi implementado e avaliado para fins de validação.

O agente busca melhorar o comportamento do aluno de monitorar o seu conhecimento, fazendo-o: a) ter uma atitude menos reativa, refletindo sobre seu conhecimento antes de tentar resolver uma tarefa; b) refletir sobre o conhecimento já demonstrado; c) refletir sobre tarefas similares resolvidas anteriormente. Estas estratégias são encontradas na literatura e são descritas na seção 2.7.4.

A instrução do agente busca melhorar a habilidade metacognitiva do aluno através de ações que levam à reflexão metacognitiva. Estas ações, conhecidas como *scaffolding*, fornecem assistência ao aluno, quando necessário, diminuindo a assistência à medida que o aluno melhora sua habilidade em monitorar seu conhecimento. (WOOD et al., 1976 apud AZEVEDO; HADWIN, 2005, p. 368). O agente adapta o conteúdo e a quantidade das ações de *scaffolding* ao aluno, considerando as informações modeladas deste. Estudos apontam a importância destas características de adaptabilidade e individualização do ensino em ambientes computacionais de aprendizagem (MCCALLA, 1992; AZEVEDO; HADWIN, 2005) e, mais especificamente, para apoiar a melhora do conhecimento metacognitivo. (AZEVEDO; HADWIN, 2005). Além disso, a instrução metacognitiva é explícita, ou seja, instrui os alunos sobre a importância da habilidade metacognitiva treinada. Estudos de Veenman, Hout-Wolters e Afflerbach (2006) destacam que um fundamento para o

---

<sup>1</sup> Segundo Justi (2006), um modelo é uma representação de uma ideia, objeto, acontecimento, processo ou sistema que é desenvolvido para alcançar um objetivo específico.

<sup>2</sup> Uma vez que o agente pedagógico deste trabalho possui objetivos instrucionais relacionados à metacognição, ele será chamado de “agente metacognitivo”.

treinamento de habilidades metacognitivas é que os alunos devem ser informados, explicitamente, sobre a utilidade e a importância das ações metacognitivas para os estudos.

Figura 15: Exemplo de tarefa e passos de tarefa no domínio de equações algébricas

$4x + 2x = 15 - 3$ (Tarefa)
$6x = 15 - 3$ (Passo)
$6x = 12$ (Passo)
$x = 12 / 6$ (Passo)
$x = 2$ (Passo Final)

Fonte: Elaborado pelo autor.

O agente proposto promove a reflexão metacognitiva sobre o conhecimento necessário para o aluno resolver um próximo passo de uma tarefa. Em um ambiente de aprendizagem envolvendo resolução de equações algébricas, por exemplo, uma tarefa é uma equação apresentada ao aluno, como  $4x + 2x = 15 - 3$  (Figura 15). Tão logo esta equação é apresentada ao usuário, o agente poderia decidir ativar a instrução metacognitiva para apoiar o aluno a refletir sobre seu conhecimento para um próximo passo (no caso do exemplo, o primeiro passo) para a tarefa. Após, a instrução metacognitiva ocorre, caso seja ativada pelo agente. Antes de entrar com um novo passo da equação, o aluno poderia estimar o seu conhecimento para resolver o passo. Em seguida, o aluno poderia entrar com o passo  $6x = 15 - 3$ . Como este passo do aluno não é a solução final da tarefa, o agente poderá decidir ativar a instrução metacognitiva, novamente, para apoiar o aluno na reflexão de seu conhecimento para um novo passo. Neste caso, o alvo da reflexão, além do próprio conhecimento do aluno, é o enunciado deste passo anterior, que o aluno deu entrada, no caso,  $6x = 15 - 3$ . A instrução metacognitiva ocorre, caso seja ativada, e o aluno estima seu conhecimento para um novo passo. Em seguida, o aluno poderia entrar com o passo  $6x = 12$ . Este processo ocorre, continuamente, até que o aluno entre com o passo final da tarefa, no caso,  $x = 2$ . Dependendo do conhecimento do aluno no domínio, do seu nível metacognitivo corrente e do seu histórico de resolução de passos de tarefas, o agente poderá decidir entregar ou não entregar a instrução metacognitiva antes de cada novo passo do aprendiz. Este é apenas um pequeno exemplo de um cenário de atuação do agente metacognitivo. O presente trabalho pretende avaliar os



benefícios do agente pedagógico na reflexão do aluno sobre o seu conhecimento para resolver um próximo passo de tarefa.

Este trabalho adota o modelo de metacognição de Tobias e Everson (2002). Desta forma, o agente pedagógico tem o objetivo de promover o desenvolvimento consciente da habilidade do aluno de monitorar o seu conhecimento.

O agente pedagógico proposto visa ser independente do domínio de conhecimento ensinado no STI, necessitando que o conteúdo das ações reflexivas seja adaptado ao domínio, adotando as seguintes estratégias instrucionais: a) incitar a identificação do que a tarefa está pedindo; b) incitar o aluno a dedicar um tempo à reflexão sobre seu conhecimento antes de dar um novo passo à tarefa; c) incitar o aluno a refletir sobre tarefas similares resolvidas anteriormente. Estas estratégias são descritas na seção 2.7.4.

O agente pedagógico emprega três tipos de *scaffolding*, descritos na seção 2.7: *prompts* metacognitivos, *feedbacks* imediatos e atrasados e atividade de *self-explanation*. Os *feedbacks* imediatos são mensagens textuais apresentadas ao aluno após a realização de um passo da tarefa quando o aluno demonstra um comportamento reativo, ou seja, quando não passou um tempo pensando sem seu conhecimento antes de entrar com um passo da tarefa. Os *feedbacks* atrasados informam o aluno sobre seu nível metacognitivo corrente (satisfatório ou insatisfatório). Os *prompts* metacognitivos ocorrem antes de o aluno entrar com um passo da tarefa e têm a função de incitar o aprendiz a refletir sobre o seu conhecimento. As atividades de *self-explanation* ocorrem após o aluno realizar um passo e incitam a reflexão sobre como ele monitorou, anteriormente, o seu conhecimento.

O agente pedagógico foi proposto para ser aplicado em ambientes computacionais de aprendizagem inteligentes, mais especificamente em STIs do tipo *step-based*. O suporte dado ao aluno pelo agente é adaptado baseando-se em três principais fontes de informação sobre o aprendiz: a) conhecimento no domínio; b) histórico de passos na resolução das tarefas de aprendizagem; c) medida de precisão do monitoramento do conhecimento. O agente usa estas informações para decidir sobre: a) quantidade de ações de *scaffolding*; e o b) conteúdo das ações de *scaffolding*. Desta forma, é possível adaptar o *scaffolding* de acordo com as necessidades do aluno, como diminuir a quantidade de *scaffolding* à medida que o aluno apresenta precisão em monitorar o seu conhecimento, e adaptar as ações de reflexão metacognitivas de acordo com as habilidades metacognitivas do aprendiz, seu conhecimento no domínio e seu histórico de resolução de tarefas.

O **conhecimento do aluno** é obtido do componente do STI conhecido como Modelo do Aluno, que infere e guarda o conhecimento do aprendiz sobre cada unidade de

conhecimento do domínio ensinado. Estas informações são utilizadas pelo agente pedagógico para selecionar os *prompts* metacognitivos. Também são utilizadas pelo mecanismo de ciclo externo no algoritmo de ativação do ciclo interno, como será descrito na seção 5.3.2. O **histórico de conhecimentos empregados pelos alunos nas tarefas de aprendizagem** é um registro de todas as unidades de conhecimento aplicadas pelos alunos na solução de tarefas anteriores. Estes registros são geralmente referenciados em trabalhos da área da computação como *logs* do sistema. Estas informações também pertencem ao componente de Modelo de Aluno do STI e são utilizadas pelo agente metacognitivo na seleção dos *prompts* metacognitivos. A **medida de precisão do monitoramento do conhecimento** é inferida por um instrumento de avaliação metacognitiva desenvolvido por Tobias e Everson (2000) chamado KMA. Este instrumento, descrito na seção 2.6.1 e que receberá mais atenção na sequência deste capítulo, mede a precisão do aluno em monitorar o seu conhecimento. O instrumento faz um comparativo entre a estimativa do aluno sobre o que ele sabe e o que não sabe sobre determinada tarefa de aprendizagem e o seu desempenho sobre a mesma tarefa. Este trabalho utiliza dois tipos de medidas KMA: escores KMA e índice KMA. Os dois tipos de medidas são descritos nas seções 5.1 e 5.2. Tais medidas KMA serão utilizadas pelo agente metacognitivo para tomar decisões sobre a seleção de *prompts* metacognitivos e *feedbacks* atrasados.

Outras informações que também serão utilizadas pelo agente, mas que não são informações sobre o aluno, são as unidades de conhecimento possíveis de serem utilizadas pelo aluno em um próximo passo. Estas informações são inferidas pelo componente de STI conhecido como Módulo do Domínio, que implementa um sistema especialista capaz de resolver as tarefas do domínio ensinado e verificar se os passos do aluno estão corretos. O Módulo de Domínio também é capaz de verificar as unidades de conhecimento que o aluno poderia empregar no próximo passo da resolução de uma tarefa, e estas informações serão utilizadas pelo agente metacognitivo para selecionar os *prompts* metacognitivos.

## 5.1 Escores KMA

Os escores KMA baseiam-se nas definições de Tobias e Everson (2000) sobre o instrumento de avaliação metacognitiva KMA. Os escores KMA são utilizados como uma pontuação para o cálculo do índice KMA, explicado na seção 5.2. Para a definição dos escores KMA, o nível de precisão do aluno em monitorar o seu conhecimento sobre cada passo de tarefa é avaliado e classificado em uma das seguintes categorias: a) o aluno estimou

ter conhecimento para resolver o passo da tarefa e resolveu (++); b) o aluno estimou ter conhecimento para resolver o passo da tarefa e não resolveu (+-); c) o aluno estimou não ter conhecimento para resolver o passo da tarefa e resolveu (-+); e d) o aluno estimou não ter conhecimento para resolver o passo da tarefa e não resolveu (--). As classificações ++ e -- indicam monitoramento do conhecimento preciso para o passo da tarefa, enquanto que as classificações +- e -+ indicam monitoramento do conhecimento impreciso para o passo da tarefa. O Quadro 5 apresenta a matriz 2 X 2 dos escores KMA, onde as colunas representam as estimativas do aluno e as linhas representam o desempenho do aluno.

Quadro 5 – Matriz de escores KMA

Desempenho	Estimativa	
	vai resolver (+)	não vai resolver (-)
solução correta (+)	++	-+
solução incorreta (-)	+-	--

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a definição dos escores KMA é utilizado apenas o histórico recente das avaliações KMA. Assim, é possível avaliar apenas o conhecimento metacognitivo recente do aluno, de forma que os desempenhos metacognitivos mais antigos não afetem a medida metacognitiva corrente. O presente trabalho adotou, para o mecanismo de definição dos escores KMA, as 15 últimas avaliações KMA, definindo pesos maiores para as avaliações mais recentes. Por exemplo, a avaliação KMA mais recente recebe peso 15, o penúltimo recebe peso 14 e assim, sucessivamente, até a 15ª avaliação KMA mais recente, que recebe peso 1.

Quadro 6 – Exemplo de avaliações KMA e seus pesos

	← Mais recentes														Mais antigas →
<b>Avaliações KMA</b>	++	+-	--	++	++	--	-+	++	--	++	++	++	+-	++	--
<b>Peso</b>	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para exemplificar, considere o cenário hipotético do Quadro 6 em que são apresentadas as 15 avaliações KMA mais recentes, sendo que: a) em 8 passos o aluno estimou que resolveria e resolveu, obtendo o valor 63 (15+12+11+8+6+5+4+2) para o escore ++; b)

em 2 passos o aluno estimou que resolveria e não resolveu, obtendo o valor 17 (14+3) para o escore ++; c) em 1 passo o aluno estimou que não resolveria e resolveu, obtendo o valor 9 para o escore -+; e d) em 4 passos o aluno estimou que não resolveria e não resolveu, obtendo o valor 31 (13+10+7+1) para o contador do escore --.

## 5.2 Índice KMA

Da mesma forma como o escore KMA, o índice KMA também é uma medida baseada nas definições de Tobias e Everson (2000) sobre o instrumento de avaliação metacognitiva KMA. Porém, o índice KMA é um valor único para cada aluno, gerado a partir dos escores KMA, que mede a discrepância entre o conhecimento estimado pelo aluno e o conhecimento demonstrado. O índice KMA é a principal medida que avalia a habilidade corrente do aluno em monitorar o seu conhecimento. Para a definição do índice KMA do aluno, são utilizados os escores KMA.

Tobias e Everson (2002) descrevem que, para medir o índice KMA, alguns autores encorajam o uso do coeficiente Gamma (CG) e outros incentivam o uso do coeficiente Hamman (CH). No entanto, estudos referenciados por Tobias e Everson (2002) indicam o uso do coeficiente CH como sendo uma medição mais adequada. Desta forma, este trabalho utilizará o coeficiente CH, que é definido pela fórmula 5.1 (SCHRAW, 1995) e calcula a diferença entre a proporção das estimativas (escores KMA) corretas ( $a$  e  $d$ ) e a proporção das estimativas incorretas ( $b$  e  $c$ ). O CH possui valor no intervalo de números reais entre  $+1,00$  e  $-1,00$ , sendo que o valor  $1,00$  indica monitoramento de conhecimento preciso, enquanto que o valor  $-1,00$  indica a completa falta de precisão. Valores próximos de zero indicam que o aluno falhou em avaliar o seu conhecimento tanto quanto acertou. (TOBIAS; EVERSON, 2002).

$$CH = \frac{(a+d)-(b+c)}{(a+d)+(b+c)} \quad (5.1)$$

O índice KMA do aluno é gerado utilizando-se o coeficiente CH, segundo a fórmula 5.1, cujas incógnitas  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  referem-se, respectivamente, aos escores KMA ++, +-, -+ e --. Utilizando o exemplo apresentado na seção 5.1 e aplicando os valores dos escores KMA na fórmula 5.1, obtém-se a expressão aritmética 5.1.1. O resultado da expressão e, dessa forma, o índice KMA, é 0,566.

$$CH = \frac{(63+31)-(17+9)}{(63+31)+(17+9)} = 0,566 \quad (5.1.1)$$

O valor numérico do índice KMA foi mapeado em duas categorias: KMA satisfatório e KMA insatisfatório. Esta classificação é importante, pois será utilizada pelo mecanismo que seleciona as ações de reflexão metacognitiva. O Quadro 7 mostra o intervalo de valores do índice KMA para cada categoria. Para este trabalho, o valor limiar que separa o KMA satisfatório do KMA insatisfatório foi definido em 0,5, da mesma forma como no trabalho de Gama (2004). Esta definição para o valor limiar faz com que o intervalo de valores para o KMA satisfatório corresponda a apenas 25% do intervalo de valores possíveis para o índice KMA, uma vez que o índice varia de -1 a +1. Desta forma, para o aluno enquadrar na categoria KMA satisfatório, ele deverá apresentar um comportamento consistente na sua precisão em monitorar o conhecimento. No exemplo da seção 5.1 o índice KMA do aluno ficou em 0,566, suficiente para ser classificado como KMA satisfatório.

Quadro 7 – Classificação KMA

Índice KMA	Classificação	Interpretação
$\geq -1$ e $<$ limiar	KMA insatisfatório	O aluno não atingiu um nível satisfatório de precisão do monitoramento do conhecimento sobre o conjunto de passos.
$\geq$ limiar e $\leq +1$	KMA satisfatório	O aluno atingiu um nível satisfatório de precisão do monitoramento do conhecimento sobre o conjunto de passos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.3 Ciclos do agente metacognitivo

As próximas seções descreverão dois importantes mecanismos do agente metacognitivo: o ciclo interno e o ciclo externo. O ciclo externo é responsável pela ativação do ciclo interno, sempre antes de o aluno entrar com um passo para a tarefa. O ciclo interno é o mecanismo responsável pela instrução metacognitiva.

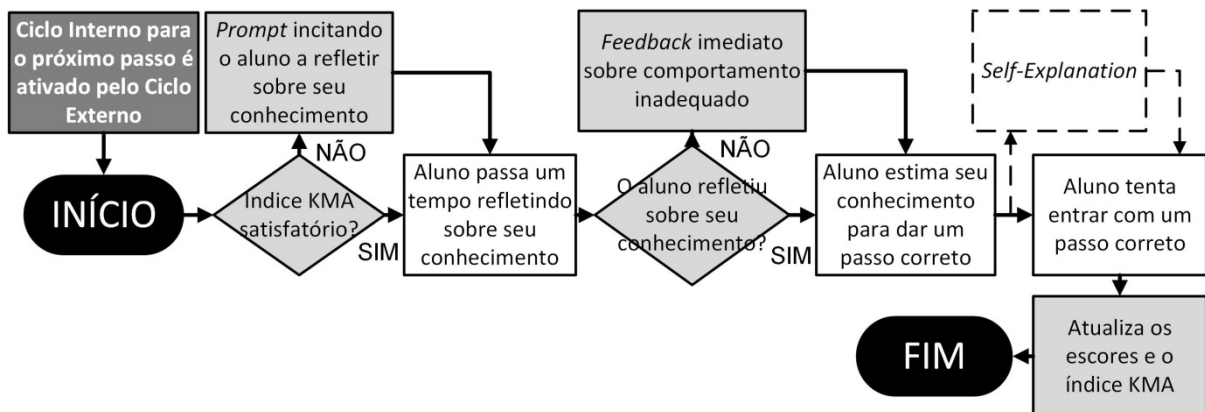
### 5.3.1 Ciclo interno do agente metacognitivo

O mecanismo de ciclo interno é responsável pelas ações de instrução metacognitiva do agente. Este ciclo entra em funcionamento antes de o aluno tentar entrar com um novo passo de solução de tarefa e após ser ativado pelo ciclo externo. O fluxograma da Figura 16 apresenta o fluxo de procedimentos e tomadas de decisão do ciclo interno.

Inicialmente, o mecanismo verifica se o índice KMA corrente do aluno é um valor igual ou superior a um determinado valor limiar que separa o KMA satisfatório de insatisfatório. Caso este índice seja insatisfatório, o ciclo interno seleciona um *prompt* metacognitivo com o objetivo de incitar o aluno a refletir sobre seu conhecimento. Caso o índice KMA seja satisfatório, o sistema não aciona o mecanismo de *prompt* e dá continuidade ao fluxo do ciclo interno.

Na sequência do fluxo, o aluno deve passar um tempo refletindo sobre seu conhecimento. Como este modelo não considera a utilização de qualquer tipo de sensor e ou técnicas para verificar processos internos da atividade cognitiva do aluno, o agente realiza uma simples dedução considerando o intervalo de tempo que a tarefa foi apresentada ao aluno na interface do STI e o momento em que o aprendiz indicou que iria iniciar a entrada de um novo passo de resolução. Se este intervalo de tempo for curto, o ciclo interno deduz que o aluno não passou tempo suficiente refletindo sobre o seu conhecimento e aciona um *feedback* imediato alertando sobre o comportamento inadequado para com os objetivos da instrução.

Figura 16: Fluxograma do funcionamento do ciclo interno do agente metacognitivo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Seguindo o fluxograma, o próximo procedimento do aluno é estimar seu conhecimento para um passo de resolução na tarefa corrente. O agente pergunta ao aluno se ele avalia que tem conhecimento necessário para dar um passo correto para a tarefa. O aluno responde com

duas possíveis respostas, “Sim” ou “Não”. Em seguida, o aluno tenta entrar com um passo correto para a tarefa. Após o aluno entrar com o passo, o agente verifica o desempenho sobre o passo junto ao STI e atualiza os escores KMA e o índice KMA do aprendiz.

Logo após o aluno estimar seu conhecimento, o sistema poderá atribuir ao aluno uma atividade de *self-explanation*. A atividade de *self-explanation* propõe ao aluno uma reflexão sobre a estimativa de conhecimento recente. O aluno responde, com suas próprias palavras, o seguinte questionamento: “Você informou que tem [ou que não tem] conhecimento para dar um novo passo correto para a tarefa corrente. Escreva, com suas palavras, porque você acredita que tem [ou que não tem] conhecimento para dar um novo passo. Descreva os motivos e pensamentos que fizeram você chegar a esta conclusão.”. O agente atribuirá esta atividade, ocasionalmente, após a estimativa do conhecimento. Foi detectado, durante um teste-piloto do modelo implementado, que o excesso de atribuição dessa atividade causou irritação nos alunos. Por essa razão, essa atividade deve ser atribuída ocasionalmente.

Um detalhe importante a ser ressaltado, de acordo com o fluxograma da Figura 16, é que quando o ciclo interno é ativado, caso o índice KMA corrente do aluno seja satisfatório, o *prompt* metacognitivo não é selecionado, mas, ainda sim, o aluno é solicitado a estimar seu conhecimento, para fins de atualização do índice KMA.

### 5.3.2 Ciclo externo do agente metacognitivo

O ciclo externo é responsável por ativar o ciclo interno para o próximo passo da tarefa e é executado sempre antes de o aluno entrar com um passo. Duas estratégias são utilizadas para a tomada de decisão de ativação do ciclo interno: a) decisão por nível metacognitivo, que considera o nível corrente da habilidade do aluno de monitorar seu conhecimento; b) decisão por conhecimento do aluno no domínio. As duas estratégias de decisão adaptam a ativação do ciclo interno a características do aluno, de forma que a quantidade de ativações do ciclo interno para um próximo passo é adaptada às necessidades do aluno. Segundo Gama (2004), deve ser evitada a sobrecarga cognitiva do aluno, já que ele estará engajado tanto em atividades cognitivas, resolvendo tarefas no domínio, quanto em atividades metacognitivas.

A primeira estratégia adotada pelo modelo é a estratégia de **decisão por nível metacognitivo**. Esta estratégia é utilizada quando o índice KMA do aluno é insatisfatório ou quando o aluno recém começou a participar do treinamento. Quanto mais hábil for o aluno em monitorar seu conhecimento, menor será a probabilidade de o ciclo interno ser ativado para um próximo passo. Alunos menos hábeis no monitoramento do conhecimento terão mais

chances de terem o ciclo interno ativado. O mecanismo sorteia um valor pertencente ao intervalo de valores do índice KMA, um número real entre -1,0 e +1,0. Caso o valor sorteado, seguindo uma distribuição de probabilidades uniforme, pertença ao intervalo de valores existentes entre o índice KMA ( $i_{kma}$ ) corrente do aluno e o valor +1,0, o ciclo interno é ativado para as ações metacognitivas relativas ao próximo passo. Esta regra é apresentada na Figura 17. Desta forma, quanto menor for a distância entre o índice KMA corrente do aluno e o valor +1,0 (que indica monitoramento do conhecimento preciso), menor será a probabilidade de o ciclo interno ser ativado.

Figura 17: Regra de ativação do ciclo interno quando decisão por nível metacognitivo

```
numero_sorteado = sorteia(-1,0 até +1,0)
SE numero_sorteado > i_kma E numero_sorteado <= +1
ENTÃO seleciona passo da tarefa corrente para o ciclo interno
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para exemplificar, se o valor do índice KMA corrente do aluno fosse +0,8 (classificado como índice KMA satisfatório), o ciclo interno seria ativado apenas se o número sorteado fosse um valor entre +0,8 e +1,0. Neste caso, considerando que o mecanismo utiliza uma distribuição de probabilidades uniforme para o sorteio, haveria apenas 10% de chance do ciclo interno ser ativado para o próximo passo da tarefa.

A estratégia de **decisão por conhecimento do aluno no domínio** é utilizada quando o aluno mantiver um índice KMA satisfatório nas estimativas de conhecimento recentes. Nesta estratégia, o ciclo interno terá mais chances de ser ativado quando a probabilidade de conhecimento do aluno nas unidades de conhecimento possíveis de serem aplicadas no próximo passo da tarefa corrente seja próxima de 50%. O autor deste trabalho acredita que o aluno necessitaria refletir mais sobre seu conhecimento em tarefas que, ao mesmo tempo, não domina e nem desconhece totalmente. Esta crença se deve a evidências observadas em testes-pilotos do agente e através de relatos de professores.

Esta estratégia é similar à estratégia *macroadaptation*, descrita por VanLehn (2006) e citada na seção 3.3.1, que seleciona passos de tarefas no mecanismo de *outer loop* considerando o conhecimento do aluno nas unidades de conhecimentos possíveis de serem aplicadas em um próximo passo da tarefa corrente.

Para cada unidade de conhecimento que o aluno poderia utilizar no próximo passo da tarefa corrente é gerado um índice de relevância, com valor no intervalo de números reais



entre 0,0 e +1,0, que mede a relevância da unidade de conhecimento para a estratégia de decisão de ativação. Índice com valor próximo de +1,0 indica que a probabilidade de conhecimento do aluno sobre determinada unidade de conhecimento é próxima de 50%. Índice com valor próximo a 0,0 indica que a probabilidade de conhecimento do aluno sobre determinada unidade de conhecimento é próxima de 0% ou 100%. A fórmula 5.2, proposta pelo presente trabalho, é utilizada para gerar o índice de relevância de cada unidade de conhecimento possível de ser aplicada no próximo passo (iRUC). A fórmula do iRUC utiliza a razão matemática da distância existente entre a probabilidade de conhecimento do aluno na unidade de conhecimento e o valor 50 (50%). Considere que *probConhecimento* é a probabilidade de conhecimento do aluno na unidade de conhecimento, informação esta inferida e disponibilizada pelo Modelo de Aluno do STI. Além disso, o sistema especialista do STI deve ser capaz de informar ao agente metacognitivo as unidades de conhecimento que poderiam ser aplicadas no próximo passo. Por exemplo, caso a probabilidade do aluno dominar determinada unidade de conhecimento possível de ser aplicada no próximo passo fosse de 45%, uma probabilidade interessante para o mecanismo de decisão, o índice de relevância seria 0,9. Para uma unidade de conhecimento com domínio de 97%, não interessante para o mecanismo de decisão, o índice de relevância seria de apenas 0,06.

$$iRUC = 1 - \frac{|50 - probConhecimento|}{50} \quad (5.2)$$

Para a tomada de decisão final de ativação da tarefa, o mecanismo utiliza o índice de relevância do próximo passo da tarefa (iRPP), também proposto pelo presente trabalho, que é o valor médio dos índices de relevância (iRUC) de cada unidade de conhecimento possível de ser aplicado no próximo passo da tarefa, ou seja, é o somatório dos índices de relevância de cada unidade de conhecimento possível de ser empregado no próximo passo, dividido pela quantidade destas unidades de conhecimento ( $n$ ), como apresentado na fórmula 5.3. O valor do iRPP também é um número real no intervalo entre 0,0 e +1,0.

$$iRPP = \frac{\sum_{x=1}^n iRUC_x}{n} \quad (5.3)$$

Sabendo-se o valor de iRPP, o mecanismo deve gerar um número aleatório, considerando uma distribuição de probabilidades uniforme, com valor real entre 0,0 e +1,0.

Caso o número sorteado seja um valor menor que o valor de iRPP, o ciclo interno é ativado para o próximo passo. Desta forma, quanto maior o índice iRPP, ou seja, quanto mais relevante for o próximo passo para o mecanismo, mais chance do agente ativar o ciclo interno. A estratégia de decisão por conhecimento do aluno provavelmente ativará próximos passos em que o aluno teria mais dúvida para estimar seu conhecimento, exigindo mais reflexão do aprendiz.

Inicialmente, quando o aluno começa a utilizar o STI com o agente metacognitivo integrado, a estratégia utilizada pelo mecanismo de ciclo externo é a de decisão por nível metacognitivo. O agente passa a utilizar a estratégia de decisão por conhecimento do aluno apenas quando o índice metacognitivo recente do aluno se mantiver satisfatório nas estimativas de conhecimento recentes. Ou seja, caso o aluno consiga manter um bom nível metacognitivo com a primeira estratégia de ativação do ciclo interno, o mecanismo adota a segunda estratégia, que prioriza a ativação do ciclo interno quando o aluno teria mais dúvidas para estimar seu conhecimento para um próximo passo, aumentando a dificuldade de estimativa do conhecimento do aprendiz. Para este trabalho, foi definido que o aluno deveria manter um índice metacognitivo satisfatório nas últimas três estimativas de conhecimento para que a segunda estratégia de decisão, por conhecimento do aluno no domínio, seja utilizada.

O agente metacognitivo também considera a situação em que o aluno apresenta um ótimo índice metacognitivo e que o Modelo de Aluno do STI já tenha inferido probabilidades altas de conhecimento do aprendiz em todas as unidades de conhecimento possíveis de serem aplicadas no domínio. Neste caso, poderia ocorrer do ciclo interno não ser mais ativado. O modelo de agente metacognitivo considera que, nestes casos, o ciclo interno deva ser ativado após um determinado número de vezes que o ciclo interno não foi mais ativado. Na implementação do agente metacognitivo deste trabalho, foi definido que depois de sete passos de tarefa consecutivas não terem sido ativadas para o ciclo interno, o agente força a ativação do ciclo interno para uma próxima tarefa. Neste caso, com o índice KMA satisfatório, o ciclo interno não entregaria o *prompt* metacognitivo ao aluno.

#### **5.4 *Feedbacks* atrasados e imediatos**

Os *feedbacks* atrasados informam o aluno sobre seu nível corrente da habilidade de monitoramento do conhecimento e é a única ação instrucional que não é executada pelo ciclo interno. Caso o índice KMA do aluno seja satisfatório, o agente exibe uma mensagem que

parabeniza o aprendiz sobre o bom nível metacognitivo recente. Caso o índice KMA seja insatisfatório, o agente exibe uma mensagem informando sobre a possibilidade de melhora da sua habilidade metacognitiva. Além disso, o *feedback* atrasado para índice KMA insatisfatório questiona o aluno se ele está empregando alguma das ações recomendadas na literatura para melhorar sua habilidade de monitoramento do conhecimento: a) identificar o que a equação está pedindo; b) passar um tempo refletindo sobre seu conhecimento; c) pensar em tarefas similares resolvidas no passado.

Os *feedbacks* atrasados são entregues pelo agente apenas quando o ciclo interno não é ativado para um próximo passo. Para o retorno dado pelo agente ao aluno sobre o seu nível metacognitivo, optou-se, neste trabalho, por fornecer o *feedback* do tipo atrasado, ao invés do *feedback* imediato, em função de observações realizadas nos testes-pilotos. Observou-se, durante as sessões de teste-piloto do presente trabalho, que o *feedback* sobre nível metacognitivo entregue imediatamente após a estimativa do aluno e de seu desempenho sobre um passo de tarefa poderia ocasionar o comportamento de *gaming the system*. O *gaming the system* é um comportamento observado em usuários de sistemas educacionais computacionais em que o aluno tenta obter sucesso no ambiente educacional com ações em que explora características do sistema, ao invés de se esforçar no conteúdo da aprendizagem ou utilizar seu próprio conhecimento para resolver as tarefas. (BAKER et al., 2006). Um exemplo de situação em que este comportamento poderia ocorrer é quando o aluno estima que não possui conhecimento para resolver um problema. Neste caso, para receber um *feedback* positivo, com mensagem indicando habilidade metacognitiva satisfatória, o aluno poderia forçar um passo errado, não se esforçando na atividade de monitoramento do conhecimento e na própria resolução da tarefa. Neste caso, o escore KMA seria satisfatório (--) e o índice metacognitivo do aluno também poderia se tornar satisfatório. Assim, o aluno poderia perceber o comportamento interno do sistema a partir de *feedbacks* entregues imediatamente após sua estimativa e desempenho e apresentar o comportamento de *gaming the system*. Desta forma, neste trabalho, optou-se pelo *feedback* atrasado, entregue algum tempo depois da última atualização do índice KMA, para que o aluno não identifique facilmente o comportamento interno dos *feedbacks* sobre seu nível metacognitivo.

A implementação do agente metacognitivo para este trabalho definiu uma probabilidade de 70% de o *feedback* atrasado ser entregue quando o ciclo interno não é ativado. Além disso, este mecanismo de atribuição de *feedback* atrasado só é acionado depois que o aluno tenha entrado com, pelo menos, um novo passo de tarefa após a última atualização do índice KMA.

O agente metacognitivo também prevê a exibição de *feedbacks* imediatos. Estes *feedbacks* são exibidos quando a mensagem de *prompt* metacognitivo é entregue e o aluno possui um comportamento reativo, ou seja, não passa um tempo lendo a mensagem do *prompt* e pensando no seu conhecimento. A implementação deste trabalho para o agente definiu que o tempo aceito para a leitura da mensagem do *prompt* metacognitivo é de 1 segundo para cada caractere da mensagem do *prompt*. Este tempo foi validado nas sessões de teste-piloto. Caso o aluno seja reativo ao receber o *prompt*, o agente exibe um *feedback* imediato notificando o aluno sobre seu comportamento inadequado.

### 5.5 Prompts metacognitivos

Os *prompts* do agente metacognitivo, entregues ao aluno pelo mecanismo de ciclo interno do agente, objetivam incitar o aprendiz a refletir sobre o seu conhecimento. As estratégias utilizadas pelos *prompts* foram obtidas de trabalhos descritos na seção 2.7.4. Estas estratégias definem o conteúdo e a forma dos *prompts*. O Quadro 8 apresenta os *prompts* metacognitivos definidos para este trabalho.

Os *prompts* foram agrupados em níveis de abstração, por razões que serão descritas na próxima seção. O primeiro nível de *prompt* incita o aluno a refletir sobre o seu conhecimento a partir do próprio enunciado da tarefa ou do passo anterior, orientando o aluno a passar um tempo refletindo sobre seu conhecimento para resolver um novo passo. Esta estratégia é utilizada por Verschaffel (1999) e Gama (2004) como estratégia para entender o que o problema está pedindo. O segundo nível incita o aluno a refletir sobre o seu conhecimento, direcionando o foco a algum conhecimento necessário para dar um novo passo de resolução e que o aluno já tenha demonstrado algum domínio. Diferentemente do primeiro nível, o segundo nível é mais específico, pois apresenta um alerta ao aluno sobre ele já possuir algum conhecimento necessário para dar um passo. O terceiro nível tem um alvo de reflexão mais específico que o segundo nível, incitando o aluno a refletir sobre o seu conhecimento, mas direcionando o foco para um passo que o aluno tenha resolvido anteriormente e que empregou alguma unidade de conhecimento que poderá ser aplicada em um passo da tarefa corrente. Esta estratégia incita o aluno a pensar em algum problema relacionado, utilizando-o como modelo. O quarto nível, ainda mais específico, mostra explicitamente ao aluno (na interface gráfica do STI) a tarefa e o respectivo passo que ele resolveu anteriormente e que utilizou uma unidade de conhecimento que poderá ser empregada novamente para resolver um novo passo para a tarefa corrente.

Apesar de o conteúdo de reflexão utilizado no modelo ser um tanto quanto genérico em relação ao domínio do conhecimento ensinado, a instrução metacognitiva deve ser adaptada ao domínio de conhecimento. (VEENMAN; HOUT-WOLTERS; AFFLERBACH, 2006). Sabendo disso, as mensagens e ações dos *prompts* do Quadro 8 poderiam ser adaptadas ou ampliadas. Por exemplo, em STIs voltados ao domínio de enunciados de problemas em álgebra (*word problems*), as ações de reflexão poderiam ser adaptadas abordando estratégias de solução de problemas de Pólya (1957). Um exemplo de estratégia de Pólya é quebrar o problema em partes, a fim de buscar uma compreensão sobre as partes do problema e, conseqüentemente, a compreensão do problema como um todo. A partir daí, pode-se refletir sobre os conhecimentos necessários para resolvê-las.

Quadro 8 – Níveis de *prompts* metacognitivos

Nível	Alvo de reflexão	Exemplo de <i>Prompt</i>
1	Enunciado da tarefa ou do passo anterior.	Exibir a mensagem “Passe um tempo lendo e identificando as partes da tarefa, para que você consiga identificar se possui conhecimento para entrar com um novo passo de resolução.”.
2	Conhecimento anterior demonstrado no STI.	Exibir a mensagem “Você já demonstrou ter algum conhecimento para dar um novo passo correto de resolução. Passe um tempo lendo a tarefa e refletindo sobre seu conhecimento.”.
3	Passo de tarefa similar anteriormente resolvido no STI.	Exibir a mensagem “Você já resolveu anteriormente um passo similar em que utilizou conhecimento necessário para dar um novo passo na tarefa corrente. Passe um tempo lendo a tarefa e refletindo sobre seu conhecimento.”.
4	Passo de tarefa similar explícito resolvido anteriormente no STI.	O agente metacognitivo exibe o passo similar resolvido anteriormente pelo aluno. Também exibe a mensagem “Você já resolveu um passo similar. Veja o passo similar que você já resolveu antes. Neste passo similar, você utilizou conhecimento que poderia utilizar para resolver um novo passo da tarefa corrente. Passe um tempo refletindo sobre seu conhecimento.”.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para que as mensagens de *prompts* do Quadro 8 não se tornem repetitivas para o aluno, na medida em que elas são entregues repetidas vezes na interface gráfica do STI, considera-se importante a diversificação das mensagens entregues aos alunos, mantendo suas

orientações instrucionais. A implementação do agente metacognitivo do presente trabalho utilizou 65 diferentes mensagens que foram distribuídas nos quatro níveis de *prompts*, a fim de evitar que o sistema se tornasse preditivo. Estas mensagens foram disponibilizadas no apêndice G deste documento e foram todas validadas através de reuniões com os professores de Matemática das turmas onde foi realizada a avaliação deste trabalho. Os professores avaliaram se os termos utilizados, relacionados ao domínio de álgebra, estavam de acordo com os termos utilizados em sala de aula. Também validaram a clareza das mensagens para a compreensão dos alunos.

### 5.5.1 Seleção dos níveis de *prompts*

A abordagem utilizada pelo modelo de agente metacognitivo para atribuir os *prompts* ao aluno foi baseada em uma política chamada tutoria contingente, originada em estudos sobre tutores humanos. Estes estudos encontraram que tutores humanos efetivos selecionam dicas de acordo com o desempenho recente dos alunos. (WOOD; MIDDLETON, 1978 apud VANLEHN, 2006, p. 17). Tutores humanos não selecionam dicas de acordo com uma sequência pré-estabelecida. Se o professor selecionar uma dica que não auxiliou o aluno a realizar uma tarefa, o tutor humano seleciona uma ajuda mais específica para auxiliar o aluno. Se mesmo assim o aluno não obtiver sucesso, o professor poderá selecionar uma dica com um nível de especificidade ainda maior, mais próxima da resposta.

Os trabalhos de VanLehn (2006), Alevén e Koedinger (2000) e Seffrin et al. (2012) utilizam uma abordagem de seleção de dicas baseada em níveis de abstração. O STI PACT *Geometry Tutor*, de Alevén e Koedinger (2000), possui vários níveis de dicas, cada nível com conselhos mais específicos que outros. O STI PAT2Math utiliza uma abordagem de dicas com vários níveis, em que cada nível possui um grau de granularidade de informações diferentes. (SEFFRIN et al., 2012). Os níveis mais altos, de 1 a 3, são ajudas mais gerais que contextualizam o aluno em relação ao problema em questão. As ajudas de níveis 4 e 5 são mais específicas, ou seja, próximas à solução do problema. As dicas de nível 5 podem apresentar a solução para o problema, também chamada de dica *bottom-out*. (VANLEHN, 2006).

Com o objetivo de adaptar a abstração de dicas para os *prompts* metacognitivos, foram definidos quatro níveis de *prompts* metacognitivos, apresentados no Quadro 8. O nível 1 é considerado o nível mais alto (*prompt* abstrato), propondo uma reflexão sobre um alvo mais

geral, enquanto que o nível 4 (*prompt* específico) é considerado o nível mais baixo, propondo uma reflexão sobre um alvo mais específico.

O mecanismo que seleciona os níveis de *prompts* metacognitivos considera a precisão do aluno em monitorar o seu conhecimento. Um *prompt* é selecionado apenas quando o índice KMA do aluno for insatisfatório, ou seja, quando o índice KMA corrente do aluno estiver abaixo do valor limiar que separa o índice KMA de satisfatório e insatisfatório. Por exemplo, para o caso de uso em que o agente metacognitivo é integrado ao STI PAT2Math, é utilizado o valor limiar 0,5. Quanto menor for o valor do índice KMA corrente do aluno, mais baixo será o nível de *prompt* metacognitivo selecionado.

$$aSubKMAins = \frac{limiar - (-1)}{n} \quad (5.4)$$

O mecanismo de seleção de *prompts* divide o intervalo de valores relativos ao índice KMA insatisfatório, entre -1,0 e o limiar, em  $n$  subintervalos iguais de valores reais, cuja amplitude dos subintervalos é definida pela fórmula 5.4. A letra  $n$  corresponde à quantidade de níveis de *prompts* utilizada, sendo que neste trabalho são quatro níveis.

Figura 18: Regras de seleção dos níveis de *prompts*

```

SE i_kma >= -1 E i_kma < (-1)+aSubKMAins*1
ENTÃO selecionar prompt nível n
SE i_kma >= (-1)+aSubKMAins*1 E i_kma < (-1)+aSubKMAins*2
ENTÃO selecionar prompt nível n-1
.....
SE i_kma >= (-1)+aSubKMAins*(n-1) E i_kma < (-1)+aSubKMAins*n
ENTÃO selecionar prompt nível n-(n-1)

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

O mecanismo de seleção dos níveis de *prompts*, mostrado na Figura 18, pode ser representado por regras do tipo SE...ENTÃO. O mecanismo verifica em qual subintervalo de KMA insatisfatório pertence o índice KMA corrente do aluno e utiliza esta informação para selecionar o nível de *prompt*. O índice KMA corrente do aluno é representado pela variável  $i\_kma$ . A primeira regra seleciona o nível mais baixo de *prompt* metacognitivo, quando o índice KMA do aluno é um valor pertencente ao subintervalo com os menores valores. A segunda regra seleciona um nível superior de *prompts* em relação à regra anterior, quando o

índice KMA do aluno é um valor pertencente a um próximo subintervalo de valores. A quantidade de regras depende da quantidade de níveis de *prompts* metacognitivos utilizada.

Considere um cenário hipotético que utiliza o valor +0,5 para o limiar entre KMA insatisfatório e KMA satisfatório, com 4 níveis de *prompts* e um índice KMA corrente do aluno de +0,23. A amplitude dos subintervalos de valores dentro do KMA insatisfatório é encontrada através da aplicação da fórmula 5.4. Obtém-se a expressão  $(0,5 - (-1))/4$ , cujo resultado é 0,375. Desta forma, o nível mais baixo de *prompt* será selecionado quando o índice KMA corrente do aluno for um valor entre -1,0 e -0,625  $(-1 + 0,375 * 1)$ . O segundo nível de *prompt* será selecionado quando o índice KMA do aluno for um valor entre -0,625  $(-1 + 0,375 * 1)$  e -0,25  $(-1 + 0,375 * 2)$ . O nível mais alto de *prompt* será selecionado quando o índice KMA do aluno for um valor entre +0,125  $(-1 + 0,375 * 3)$  e +0,5  $(-1 + 0,375 * 4)$ . Para o exemplo em questão, o índice KMA do aluno é +0,23 e, desta forma, seria selecionado o nível mais alto de *prompt*, pois o aluno possui um índice KMA pertencente ao subintervalo mais próximo do nível metacognitivo satisfatório.

Após a seleção de um determinado nível de *prompt* metacognitivo, outras variáveis serão consideradas para o agente metacognitivo atribuir um *prompt* ao aluno. A exceção é o nível 1 de *prompt* metacognitivo, em que o agente não precisa considerar qualquer outra variável. Para os demais níveis, poderão ser consideradas as seguintes informações fornecidas pelo STI: probabilidade de domínio do aluno em determinadas unidades de conhecimento, unidades de conhecimento que o aluno poderá empregar no próximo passo da tarefa corrente e histórico de solução de passos em tarefas anteriores.

O nível 2 utiliza como alvo de reflexão o conhecimento do aluno demonstrado no STI. Para isso, o STI deverá fornecer informações sobre as unidades de conhecimento que poderão ser empregadas pelo aluno em um passo da tarefa corrente e a probabilidade de conhecimento do aluno nestas mesmas unidades de conhecimento do domínio. Essas informações poderão ser fornecidas pelo Módulo de Domínio do STI, que implementa um sistema especialista capaz de resolver as tarefas e de informar as unidades de conhecimento que poderão ser empregadas no próximo passo da tarefa corrente, e o Modelo do Aluno, capaz de fornecer informações sobre o domínio do aprendiz naquelas unidades de conhecimento que poderão ser empregadas no próximo passo. Caso o aluno tenha um bom domínio sobre alguma unidade de conhecimento necessária para resolver o passo corrente, o agente metacognitivo confirmará o uso do *prompt* de nível 2 para ser atribuído ao aluno. Para isso, são consideradas apenas as unidades de conhecimento que o aluno apresenta ter, no mínimo, 95% de probabilidade de domínio. Caso o aluno não tenha demonstrado conhecimento consistente em



nenhuma das unidades de conhecimentos necessárias para dar um próximo passo na tarefa corrente, o *prompt* de nível 2 é cancelado, e o agente seleciona um nível de *prompt* mais abstrato, no caso, o *prompt* de nível 1.

O nível 3 utiliza como alvo de reflexão os passos similares que o aluno resolveu corretamente e que utilizaram unidades de conhecimento necessárias para dar um novo passo para a tarefa corrente. Para isso, é necessário que o STI registre e disponibilize ao agente metacognitivo um histórico de solução de tarefas anteriores, com os respectivos passos do aluno. Caso o aluno não tenha resolvido anteriormente um passo similar, o nível 3 de *prompt* terá que ser cancelado, e um nível mais abstrato terá que ser verificado, no caso, o nível 2.

O nível 4 é similar ao nível 3, com a diferença que exhibe explicitamente ao aluno, na interface gráfica do sistema, o passo similar anteriormente resolvido, incitando o aprendiz a refletir sobre o passo similar. Da mesma forma como no nível 3, será necessário que o STI registre e disponibilize um histórico da solução de tarefas anteriores, com os respectivos passos. Caso o aluno não tenha resolvido anteriormente um passo similar, tanto o nível de *prompt* 4 quanto o nível 3 terão que ser cancelados, sendo verificado, dessa forma, a seleção para o nível 2.

## 5.6 Arquitetura do agente metacognitivo

A Figura 19 apresenta a arquitetura do agente metacognitivo com seus componentes e sua interação com o STI. Os principais módulos encontrados em STIs são representados, destacando os repositórios de dados que precisam ser disponibilizados pelo STI ao agente metacognitivo. As setas representam o fluxo de dados entre os componentes. O agente metacognitivo interage com o STI recebendo e enviando dados. A função de cada componente e as relações de dependência são descritas na sequência desta seção.

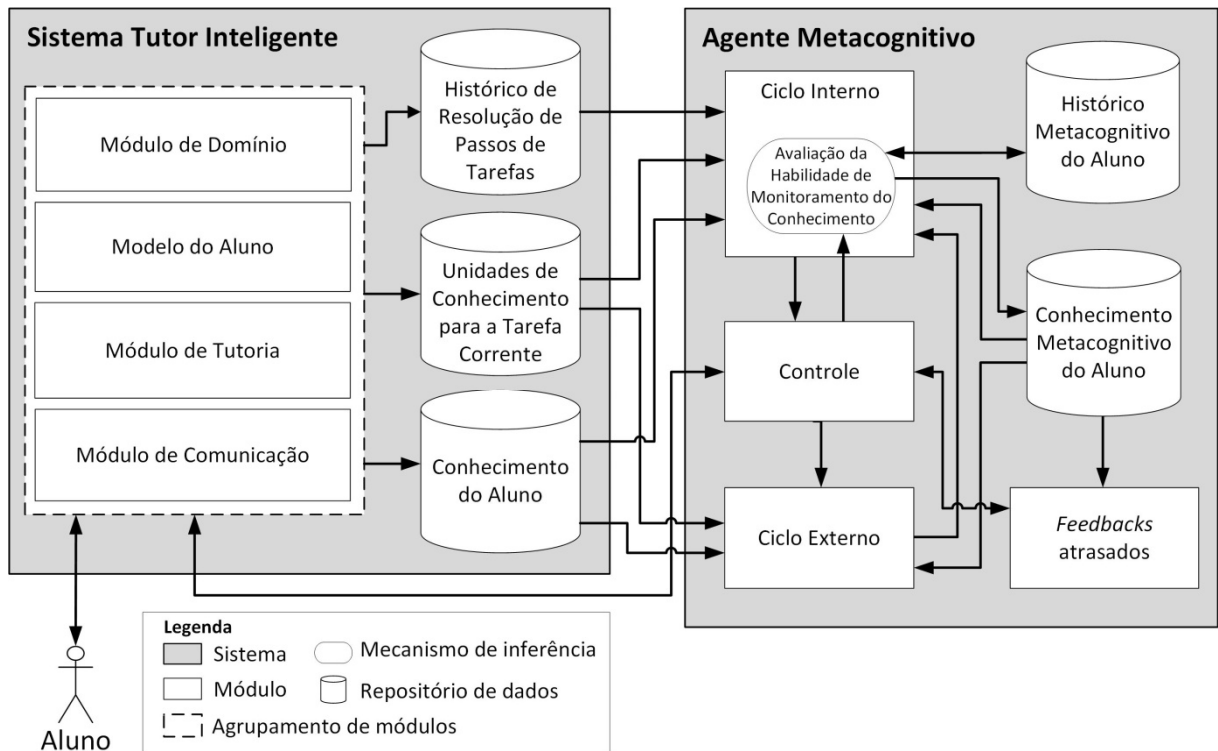
Além disso, para que se possa obter uma melhor compreensão da arquitetura do agente metacognitivo, faz-se necessário recuperar algumas responsabilidades do agente: acompanhar os passos de resolução de tarefas do aluno no domínio, atribuindo ações metacognitivas com o objetivo de melhorar a habilidade do aprendiz de monitorar o conhecimento, e avaliar a habilidade do aprendiz de monitorar seu próprio conhecimento no domínio. O modelo define um agente instrucional que pode ser implementado e integrado a STIs capazes de: a) acompanhar os passos de solução de tarefas do aluno, mantendo e fornecendo um histórico com os respectivos passos e unidades de conhecimento aplicadas pelo aprendiz nestes passos; b) inferir e fornecer as unidades de conhecimento no domínio que poderiam ser aplicadas em

um próximo passo de tarefa; c) inferir e fornecer valores relativos à probabilidade de o aluno dominar as unidades de conhecimento do domínio.

### 5.6.1 O STI na arquitetura do agente metacognitivo

O STI é representado na arquitetura com seus principais componentes: Módulo de Comunicação, Módulo de Tutoria, Módulo de Domínio e Modelo de Aluno. (BURNS; CAPPS, 1988; WOOLF, 2009). Estes módulos são descritos na seção 3.2. A Figura 19 apresenta os principais módulos do STI, mas não é intenção deste trabalho descrever os relacionamentos internos do STI.

Figura 19: Arquitetura do agente metacognitivo e sua interação com o STI



Fonte: Elaborado pelo autor.

As ações que os alunos realizam em um ambiente computacional de aprendizagem podem informar como estes alunos estudam, resolvem problemas e autorregulam sua aprendizagem. (WINNE, 2010). Além de conseguirem acompanhar as ações dos alunos no ambiente computacional, os STIs também conseguem inferir informações sobre o aluno e sobre suas ações. Estas informações podem ser mantidas em repositórios de dados e disponibilizadas para o acesso do agente metacognitivo. Os repositórios de dados que o STI

deve fornecer ao agente metacognitivo são: a) conhecimento do aluno; b) histórico de resolução de passos de tarefas; c) unidades de conhecimento para um novo passo da tarefa corrente. O agente metacognitivo é compatível com qualquer STI capaz de acompanhar os passos do aluno na resolução de tarefas e que forneça os repositórios citados anteriormente.

O **repositório de conhecimento do aluno** deve manter informações referentes ao conhecimento do aluno nas unidades de conhecimento relativas ao conteúdo de aprendizagem. Para cada unidade de conhecimento no domínio deve ser disponibilizado um valor referente à probabilidade do aluno dominar aquela unidade de conhecimento. Uma unidade de conhecimento poderia ser uma determinada habilidade, conceito ou uma falsa concepção. Estas informações são inferidas pelo Modelo de Aluno do STI, como descrito nas seções 3.2.2 e 3.5.2. Sobre o **repositório de histórico de resolução de passos de tarefas**, o STI deverá disponibilizar as seguintes informações relativas a cada passo de tarefas anteriormente resolvidas pelo aluno: identificador do passo, identificador da tarefa relativa ao passo e unidades de conhecimento empregadas pelo aluno para resolver o passo. O sistema especialista do STI deve ser capaz de inferir as unidades de conhecimento empregadas pelo aluno em determinado passo, como descrito nas sessões 3.2.1 e 3.5.1. O **repositório de unidades de conhecimento para a tarefa corrente** precisa disponibilizar um identificador para cada unidade de conhecimento que poderia ser empregada pelo aluno no próximo passo da tarefa corrente. Estas informações podem ser inferidas pelo STI através de um sistema especialista, como descrito nas sessões 3.2.1 e 3.5.1.

#### 5.6.2 Arquitetura interna do agente metacognitivo

O agente metacognitivo possui um módulo central chamado **Controle**. O módulo de Controle é responsável por interagir com o componente de comunicação do STI. Ele recebe o enunciado da tarefa corrente ou do passo anterior, que é apresentada no STI ao aprendiz e os dados referentes à interação do aluno com o tutor, como as entradas relativas às estimativas do conhecimento sobre determinado passo. No sentido oposto, o módulo de Controle envia as ações metacognitivas para a interface do sistema tutor.

O agente também possui dois módulos que representam os mecanismos de Ciclo Interno e Ciclo Externo e um módulo responsável pelos *feedbacks* atrasados. Além disso, mantém dois repositórios de dados: Histórico metacognitivo do aluno e Conhecimento metacognitivo do aluno.

O **módulo de Ciclo Externo** representa o mecanismo de mesmo nome descrito na seção 5.3.2. Este módulo é responsável por ativar as ações de instrução metacognitivas para os passos de tarefas, através de duas estratégias de decisão. A estratégia de decisão por nível metacognitivo do aluno necessita do índice metacognitivo fornecido pelo repositório de Conhecimento Metacognitivo do Aluno. A estratégia de decisão por conhecimento do aluno no domínio necessita de dados fornecidos pelo STI através dos repositórios Conhecimento do Aluno e Unidades de Conhecimento para a Tarefa Corrente. O módulo de Controle requisita ao Ciclo Externo que tome uma decisão sobre a ativação do Ciclo Interno, enviando um identificador do aluno e o enunciado da tarefa corrente ou do passo anterior. O Ciclo Externo, por sua vez, pode requisitar ao módulo de Ciclo Interno que apresente uma ação metacognitiva, quando este é ativado, enviando um identificador do aluno e o enunciado da tarefa corrente ou do passo anterior.

O **módulo de Ciclo Interno** representa o mecanismo de mesmo nome descrito na seção 5.3.1. Ele é responsável pelas ações de instrução metacognitiva do agente através das ferramentas de *scaffolding*: *prompts* metacognitivos, *feedbacks* imediatos e *self-explanations*. Todas as ações metacognitivas do módulo de Ciclo Interno são encaminhadas ao componente de comunicação do STI através do módulo de Controle do agente. Além disso, o Ciclo Interno entra em funcionamento após ser ativado pelo ciclo Externo.

Para selecionar *prompts* metacognitivos, o componente de Ciclo Interno implementa as regras de seleção de níveis de *prompts* apresentadas na Figura 18. As condições das regras necessitam do índice KMA corrente do aluno, disponibilizado pelo repositório Conhecimento metacognitivo do Aluno. Depois de selecionados, os níveis de *prompt* metacognitivo 2, 3 e 4 necessitam de repositórios de dados específicos. O nível 2, relativo à reflexão sobre o conhecimento anterior já demonstrado no STI, necessita de informações de dois repositórios: Conhecimento do aluno e Unidades de conhecimento para a tarefa corrente, ambos disponibilizados pelo STI. Em relação aos níveis 3 e 4, referentes à reflexão do aluno sobre um passo similar, o agente metacognitivo necessita de informações de dois repositórios: Histórico de resolução de passos de tarefas e Unidades de conhecimento para a tarefa corrente, ambos disponibilizados pelo STI.

O módulo de Ciclo Interno também é responsável por verificar se o aluno passou tempo suficiente refletindo sobre o seu conhecimento e entregar *feedbacks* imediatos quando o comportamento do aluno é inadequado. Para isso, ele precisa de informações sobre o horário em que a tarefa corrente ou passo anterior foi apresentado ao aluno na interface do STI e o horário que o aluno entrou com um novo passo de solução. Essas informações são

fornecidas pelo módulo de Controle do agente metacognitivo que, por sua vez, recebe estas informações do componente de comunicação do STI.

O Ciclo Interno possui o mecanismo de inferência **Avaliação da habilidade de monitoramento do conhecimento**, responsável por inferir dois tipos de informações sobre o aluno: o score KMA sobre o passo da tarefa corrente e o índice KMA corrente do aluno. Sobre a inferência dos scores KMA, descritos na seção 5.1, o mecanismo necessita de informações do módulo de Controle, como a estimativa do aluno sobre um passo da tarefa e o desempenho do aluno no mesmo passo. O módulo de Controle, por sua vez, recebe estas informações do módulo de comunicação do STI. O resultado da inferência dos scores KMA, para cada passo de resolução de tarefa, é armazenado no repositório Histórico metacognitivo do aluno. Para inferir o índice KMA corrente do aluno, como descrito na seção 5.2, o mecanismo necessita do histórico dos scores KMA mantidos no repositório de Histórico metacognitivo do aluno. Após a inferência, o mecanismo atualiza o índice KMA mantido no repositório Conhecimento metacognitivo do aluno.

O agente metacognitivo também possui um módulo específico para os *feedbacks* atrasados, como descrito na seção 5.4. Estes *feedbacks* informam o aluno sobre seu nível metacognitivo corrente, e para isso, o módulo necessita do índice KMA do aluno, mantido no repositório Conhecimento metacognitivo do aluno. O módulo de *feedbacks* atrasados é requisitado pelo módulo de Controle quando o Ciclo Interno não é ativado para a tarefa corrente.

Em relação aos repositórios de dados do agente, o **repositório Conhecimento metacognitivo do aluno** guarda a informação do aluno referente à sua habilidade metacognitiva de monitorar o próprio conhecimento, ou seja, mantém o índice KMA corrente do aprendiz. O **repositório Histórico metacognitivo do aluno** guarda todos os scores KMA gerados pelo agente no Ciclo Interno para cada novo passo de tarefa. O repositório guarda, para cada score gerado, um identificador cronológico, como data e horário em que o score foi gerado, um identificador da tarefa e do passo do aluno para a mesma tarefa, um identificador do aluno e a respectiva avaliação de score KMA (++, +-, -+ ou --). Desta forma, é possível identificar quais foram os scores KMA nos passos de tarefas anteriores dos alunos, para que o mecanismo de inferência do índice KMA consiga medir o nível metacognitivo corrente dos alunos.

## 6 IMPLEMENTAÇÃO E INTEGRAÇÃO COM O STI PAT2MATH

Este capítulo apresenta detalhes da implementação do agente metacognitivo descrito no capítulo 5 e sua integração com o STI de Álgebra PAT2Math. Embora o agente metacognitivo tenha sido integrado ao PAT2Math para fins de avaliação, ele pode ser incorporado a qualquer outro STI que: acompanha os passos do aluno na resolução de tarefas (ou seja, um *step-based* tutor); possua mecanismos que inferem e fornecem o conhecimento do aluno no domínio; identifica e fornece as unidades de conhecimento possíveis de serem empregadas pelo aluno no próximo passo de tarefa; guarda e fornece o histórico de resolução do aluno.

Como o modelo de agente metacognitivo foi implementado e integrado a um STI que atua no domínio de equações algébricas, é necessário que os conceitos sobre tarefas e passos de tarefas, importantes para o entendimento do modelo pedagógico, sejam contextualizados. Como descrito nos primeiros parágrafos do capítulo 5 e como apresentado na Figura 15, uma tarefa, no domínio de resolução de equações algébricas, é uma equação que é apresentada na interface gráfica do STI, para ser resolvida pelo aluno. Consequentemente, um passo de tarefa é um passo para resolver a equação. O sistema poderia apresentar a seguinte tarefa (equação) ao aluno:  $5x - 3 = 7$ . Espera-se que o aluno reflita sobre esta equação e sobre o seu conhecimento para resolver um passo. Então, o aluno poderia entrar com o seguinte passo de solução:  $5x = 7 + 3$ . Este passo de solução, que também é uma equação e não é a solução final da equação anterior, passa a ser um novo objeto de reflexão do aluno para dar um novo passo de solução. Em seguida, o aluno poderia entrar com o passo  $5x = 10$ , que passa a ser o novo objeto de reflexão para o aprendiz dar um novo passo. Este processo continua até que o aluno entre com o passo final da solução, que no exemplo, é  $x = 2$ . Para o presente trabalho, o PAT2Math considera apenas equações algébricas de 1º grau com uma incógnita pois, como descrito na seção 3.5.2, o Modelo de Aluno atual do PAT2Math não infere unidades de conhecimento relativas a equações de 2º grau.

O agente metacognitivo não foi implementado como uma aplicação específica, mas como um módulo do PAT2Math, utilizando os mesmos recursos de *hardware*, do serviço de aplicações web e do banco de dados do STI. Com isso, definiu-se que, para fins da avaliação, a implementação do agente metacognitivo proposto utilizaria as mesmas tecnologias de implementação do PAT2Math, sempre que possível. Esta decisão possibilitou a reutilização de parte do código de implementação existente do PAT2Math. Também não foi necessário implementar mecanismos intermediários de comunicação entre os sistemas, como *web*

*services*, por exemplo. A comunicação entre os sistemas foi implementada através de chamadas a interfaces públicas de código, como métodos de classes Java.

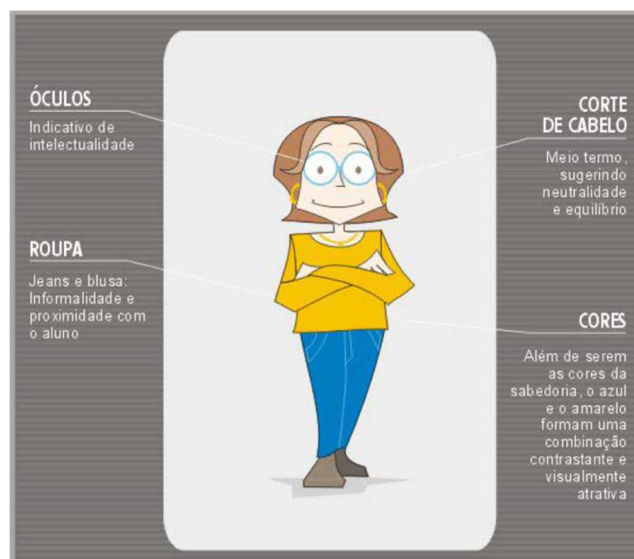
As próximas seções descrevem aspectos de implementação dos principais componentes do PAT2Math e, principalmente, do agente metacognitivo.

## 6.1 Agente Pedagógico Animado

Para permitir uma comunicação mais natural, o agente metacognitivo foi implementado como um Agente Pedagógico Animado (APA). Como já descrito na seção 3.4, um APA é um agente inteligente com função pedagógica, representado por um personagem animado (JAQUES; NUNES, 2012) que simula a presença de um professor (LESTER et al., 1997). A presença de APAs possibilita que as interações do aluno com o sistema ocorram de forma mais natural e antropomórfica e podem melhorar a aprendizagem. (LESTER et al., 1997).

No caso do trabalho proposto, o APA possui a função específica de exibir as mensagens relacionadas às ações instrucionais do agente metacognitivo. Mais especificamente, ele mostra as mensagens textuais de *prompts* metacognitivos, os *feedbacks* metacognitivos e as mensagens explicando a importância da aplicação da habilidade metacognitiva durante o aprendizado.

Figura 20: Agente Pedagógico Animado PAT



Fonte: Bocca (2003).

O personagem animado utilizado para o APA do agente metacognitivo foi criado por Bocca (2003) e se chama PAT (*Pedagogical and Affective Tutor*). O personagem animado PAT é de gênero feminino, possui corpo inteiro, aparece na interface gráfica todo o tempo em que o aluno está no sistema, e possui expressões faciais relacionadas à fala (como quando a mensagem textual de *prompt metacognitivo* é exibida), espera e outras expressões como acenos e piscadas. O personagem PAT pode ser visualizado na Figura 20 e nas imagens do agente metacognitivo integrado ao PAT2Math, no Quadro 11.

O APA foi desenvolvido com a utilização do Divalite, um *framework* dedicado ao desenvolvimento de agentes animados, definido por Sansonnet et al. (2012). O *framework* é compatível com documentos web HTML e disponibiliza interfaces de programação em linguagem JavaScript que possibilitam a manipulação do comportamento do APA, como a realização de movimentos e a exibição de mensagens.

## 6.2 Implementação e integração do agente metacognitivo com o PAT2Math

A Figura 21 apresenta a arquitetura de implementação do agente pedagógico, integrado ao STI PAT2Math. Esta arquitetura é descrita em detalhes nesta seção.

O PAT2Math é uma aplicação *web*, acessível no endereço <http://pat2math.unisinos.br>, disponibilizada em um servidor de aplicações Jetty<sup>3</sup> que implementa a especificação Java EE. O módulo PATEquation, componente de comunicação do STI que é executado no cliente através de um navegador *web*, foi implementado com as tecnologias HTML5, CSS e o framework JavaScript jQuery. Todas as requisições do PATEquation ao servidor de aplicações é realizada de forma assíncrona utilizando técnicas AJAX (*Asynchronous JavaScript and XML*). Os demais módulos do STI são executados no servidor de aplicações. São eles: Módulo de Domínio, implementado como um Sistema Especialista baseado em regras de produção; Modelo de Aluno, que possui uma rede bayesiana dinâmica que infere o conhecimento do aluno no domínio e um mecanismo que guarda o histórico de resolução de passos de tarefas do aluno; Módulo Tutor, que acompanha os passos do aluno exibindo dicas e *feedbacks*. Detalhes sobre os módulos do PAT2Math são descritos na seção 3.5.

A linguagem de programação utilizada para a implementação dos módulos executados no servidor de aplicações é a linguagem Java e alguns destes módulos ainda utilizam algumas bibliotecas de programação específicas. O Sistema Especialista utiliza a *shell* de Sistema

---

<sup>3</sup> Disponível em: <http://www.eclipse.org/jetty/>



Especialista *Drools Engine*<sup>4</sup> para a implementação do sistema de produção que representa o conhecimento especialista no domínio de equações algébricas. O mecanismo de inferência do conhecimento do aluno utiliza a biblioteca *jSMILE*<sup>5</sup>, que é uma interface de programação Java para a biblioteca *SMILE*. O *SMILE*, por sua vez, é uma biblioteca C++ que lida com raciocínio probabilístico. Esta biblioteca possibilitou a implementação da rede bayesiana dinâmica utilizada para inferir o conhecimento do aluno no domínio de equações algébricas de 1º grau com uma incógnita, como descrita no trabalho de Seffrin (2015).

Além dos módulos tradicionais do STI, descritos anteriormente, a arquitetura do *PAT2Math* possui outros três módulos que tratam questões como: a) recebimento e encaminhamento das requisições do cliente (navegador *web*); b) exposição das funcionalidades e mecanismos do STI; c) requisições a repositórios de dados. Estes módulos são identificados na arquitetura da Figura 21 como Controlador, Serviço e Repositório, e são implementadas com o auxílio do *framework* Java *Spring*<sup>6</sup>. O **Controlador** é a camada responsável por receber as requisições HTTP realizadas pelo *PATEquation*, e encaminhá-las a um determinado Serviço. A camada de **Serviço**, por sua vez, expõe funcionalidades do sistema para acesso de clientes, que podem ser tanto clientes externos à aplicação (como o *PATEquation*) quanto a clientes internos (código interno da aplicação). A camada de Serviço acessa outros componentes do sistema, como os módulos do STI e a camada de acesso aos repositórios de dados. A camada **Repositório** tem a responsabilidade de realizar todas as requisições aos repositórios do *PAT2Math*, que são implementados como tabelas de um banco de dados relacional.

Esta divisão em camadas, implementada com o auxílio do *framework* Java *Spring*, segue uma abordagem conhecida na área de Engenharia de *Software* como “dividir para conquistar” em que as responsabilidades dos componentes da aplicação são divididas, a fim de atribuir características de qualidade ao código como reusabilidade e portabilidade.

Um exemplo sobre como estas camadas se comunicam durante o uso do *PAT2Math* é quando o aluno entra com um novo passo de solução de tarefa no *PATEquation*, no navegador *web*. O *PATEquation* faz uma requisição HTTP assíncrona (AJAX) à aplicação do *PAT2Math* no servidor, enviando, como argumento, o passo do aluno e a equação que originou o passo. O Controlador recebe a requisição, prepara os dados recebidos e os encaminha ao componente da camada de Serviço que expõe a funcionalidade de correção do passo. O Serviço, por sua

---

<sup>4</sup> Disponível em: <http://www.drools.org/>

<sup>5</sup> Disponível em: <https://dslpitt.org/genie/>

<sup>6</sup> Disponível em: <http://projects.spring.io/spring-framework/>

vez, faz uma chamada ao Sistema Especialista do STI e recebe como retorno (*feedback*) a informação se o passo está correto ou errado. Após, o componente de Serviço realiza uma chamada ao mecanismo de inferência de conhecimento do aluno, que atualiza os valores das probabilidades de conhecimento do aluno nas unidades de conhecimento do domínio. Na sequência, a camada de Serviço requisita à camada Repositório para que os valores das probabilidades de conhecimento do aluno no domínio e o passo do aluno sejam guardados no banco de dados, mantendo atualizado o Modelo de Aluno (conhecimento do aluno no domínio e histórico de resolução de tarefas do aluno). Por fim, a camada de Serviço retorna o *feedback* sobre o passo ao Controlador e este, por sua vez, retorna a requisição HTTP realizada pelo PATEquation com o *feedback* sobre o passo do aluno. O PATEquation, então, exibe o *feedback* ao aluno.

O agente metacognitivo foi embutido na aplicação do PAT2Math no servidor de aplicações. Com o objetivo de manter uma estrutura similar àquela implementada no PAT2Math, o agente metacognitivo também implementa as camadas Controlador, Serviço e Repositório. O Controlador recebe e retorna as requisições HTTP assíncronas do Cliente do agente metacognitivo (embutido no PATEquation) e encaminha a requisição a algum Serviço que expõe determinada funcionalidade do agente metacognitivo. Os módulos do agente relacionados aos mecanismos de Ciclo Externo, Ciclo Interno e *Feedbacks* atrasados foram implementados na camada de Serviço, diferentemente do PAT2Math que possui uma camada específica para os módulos do STI. Procurou-se, com isso, reduzir a quantidade de classes de código Java implementadas. Um diagrama de classes da camada de Serviço do agente metacognitivo está disponível no apêndice H deste trabalho e mostra a estrutura de classes Java desta camada e suas associações.

A camada de Serviço do agente metacognitivo pode realizar, quando necessário, chamadas à camada Repositório ou chamadas ao Sistema Especialista do PAT2Math. A camada Repositório implementa todas as requisições necessárias às tabelas do banco de dados, tanto às tabelas específicas do PAT2Math quanto às tabelas específicas do agente metacognitivo.

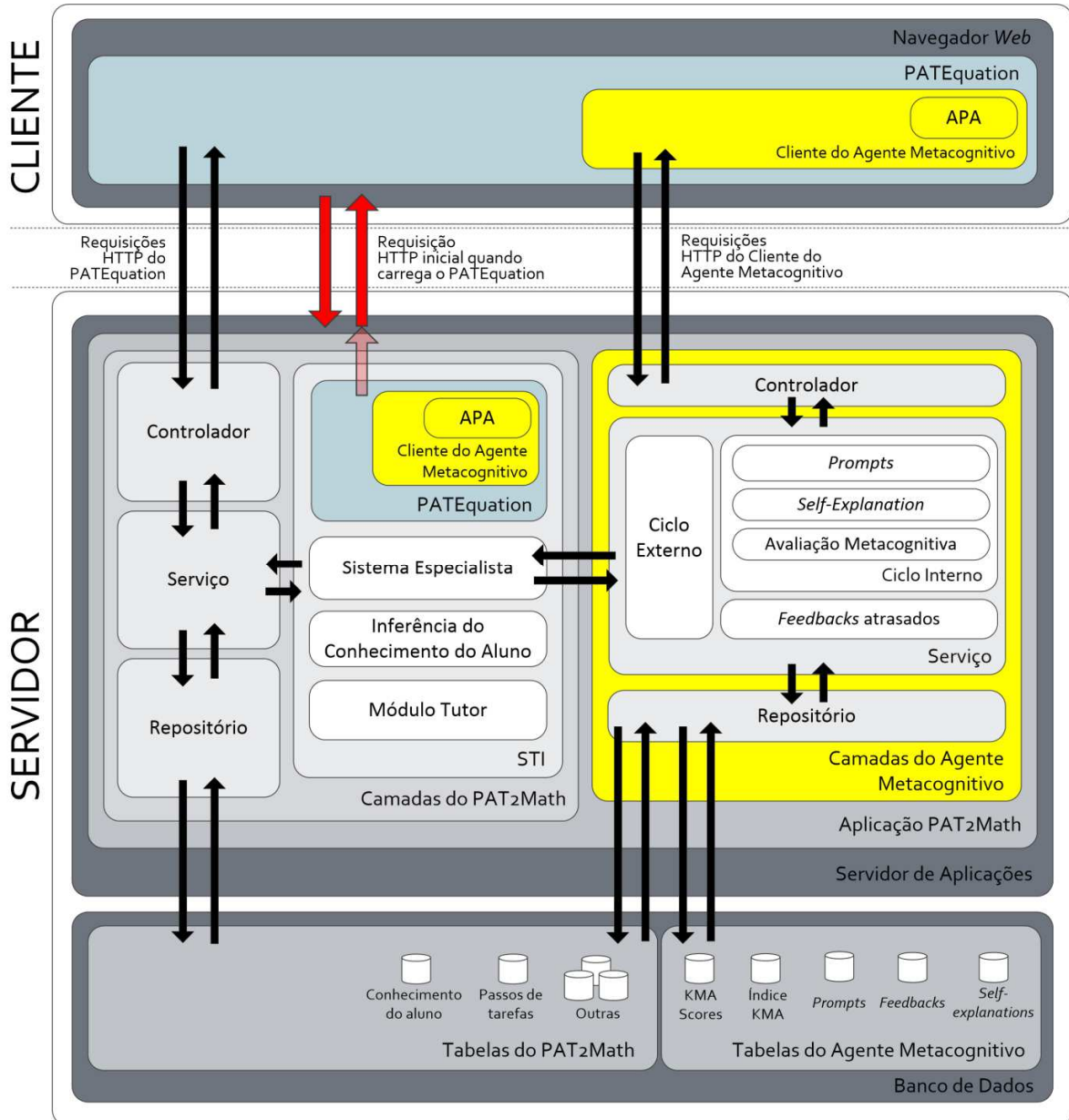
Os repositórios de dados do agente foram implementados como tabelas no mesmo banco de dados do PAT2Math, como um serviço de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados MySQL<sup>7</sup>. Uma tabela armazena os escores KMA e representa o repositório de Histórico Metacognitivo do Aluno. Outra tabela armazena o índice KMA dos alunos e

---

<sup>7</sup> Disponível em: <https://www.mysql.com/>

representa o repositório de Conhecimento Metacognitivo do Aluno. Além disso, foram criadas tabelas que armazenam as mensagens de *prompts* metacognitivos, as mensagens de *feedbacks* e os textos dos alunos relativos à atividade de *self-explanation*. Uma visualização da estrutura de tabelas de banco de dados (modelo lógico relacional), tanto do PAT2Math quanto do agente metacognitivo, está disponível no Apêndice I deste trabalho.

Figura 21: Arquitetura de implementação do agente metacognitivo integrado ao PAT2Math



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda segundo a Figura 21, nas setas em vermelho, quando o aluno acessa o PAT2Math, o navegador *web* retorna o módulo PATEquation com o módulo Cliente do agente metacognitivo embutido. A partir deste momento, todas as requisições HTTP

realizadas pelo PATEquation ou Cliente do agente metacognitivo ao servidor de aplicações são assíncronas, realizadas via técnicas AJAX. A comunicação interna, no servidor de aplicações, entre o PAT2Math e o agente metacognitivo é realizada através de chamadas a interfaces públicas de código, como métodos de classes Java. A comunicação interna entre o PATEquation e o Cliente do agente metacognitivo, no navegador web, é realizada através de chamadas a métodos e funções implementadas na linguagem de programação JavaScript.

As próximas seções descrevem os principais fluxos de execução do agente metacognitivo.

### 6.2.1 Fluxo do Ciclo Externo

O Ciclo Externo é responsável pela ativação do Ciclo Interno para as ações reflexivas e é executado sempre antes de o aluno entrar com um passo de equação no PATEquation. O Quadro 9 apresenta o fluxo de processamento do Ciclo Externo.

Quadro 9 – Fluxo de processamento do Ciclo Externo

<p>Este fluxo é iniciado pelo Cliente do agente metacognitivo, imediatamente após uma equação estar pronta para receber um novo passo no PATEquation.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. (C) O Cliente do agente metacognitivo faz uma requisição HTTP ao servidor para verificar se o Ciclo Interno foi ativado para a equação corrente. Dois argumentos são enviados: um identificador do aluno e a equação corrente.</li> <li>2. (S) O Controlador recebe a requisição e chama um Serviço do Ciclo Externo responsável pela ativação do Ciclo Interno e que recebe os argumentos do Controlador.</li> <li>3. (S) O Serviço do Ciclo Externo retorna ao Controlador uma decisão relativa à ativação do Ciclo Interno (verdadeiro ou falso).</li> <li>4. (S) O Controlador retorna a requisição HTTP com a decisão de ativação do Ciclo Interno.</li> <li>5. (C) O Cliente do agente metacognitivo recebe o retorno da requisição HTTP.</li> </ol> <p><i>(C) Ocorre no Cliente      (S) Ocorre no Servidor</i></p>
--

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.2.2 Fluxo do Ciclo Interno

O Ciclo Interno é responsável pelas ações de instrução metacognitiva e seu fluxo de execução é inicializado somente quando é ativado pelo Ciclo Externo.

#### Quadro 10 – Fluxo de processamento do ciclo interno

Este fluxo é iniciado pelo Cliente do agente metacognitivo, imediatamente após o Ciclo Interno ser ativado pelo Ciclo Externo.

1. (C) O fluxo de *prompts* metacognitivos é ativado (ver Quadro 12).
2. (C) O fluxo de estimativa do conhecimento é ativado (ver Quadro 13).
3. (C) O fluxo de *Self-Explanation* é ativado (ver Quadro 14).

(C) *Ocorre no Cliente*      (S) *Ocorre no Servidor*

Fonte: Elaborado pelo autor.


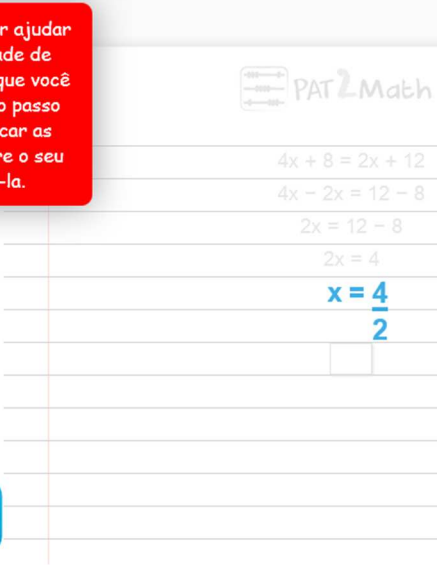

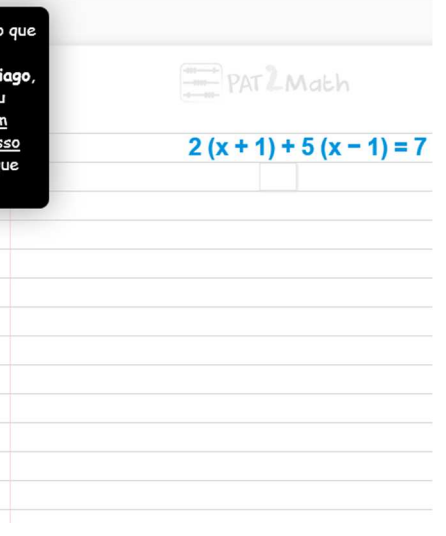

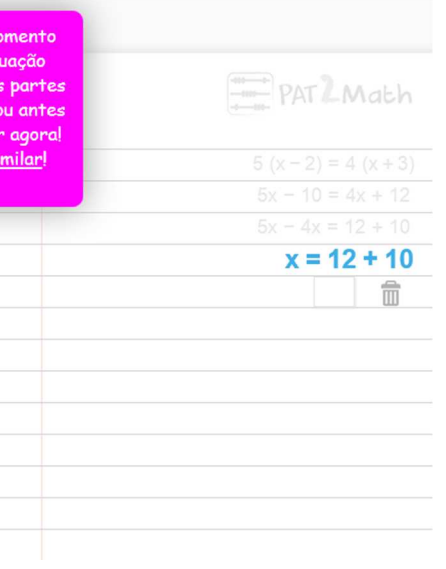
### 6.2.3 *Prompts* metacognitivos

Para a implementação do mecanismo de *prompts* metacognitivos, descrito na seção 5.4, foram criadas 65 diferentes mensagens que foram distribuídas nos quatro níveis de *prompts*. Avaliou-se que esta quantidade de mensagens seria suficiente para evitar que as ações de *prompts* se tornassem preditivas para os alunos. As mensagens utilizadas estão disponíveis no Apêndice G deste trabalho e foram todas validadas através de reuniões com professores de Matemática das turmas onde foi realizada a avaliação. Primeiramente, as mensagens foram definidas pelo autor deste trabalho, baseando-se em alguns exemplos e estratégias de reflexão metacognitivas descritas em Gama (2004), Fogarty (1994) e Verschaffel (1999). Estas mensagens foram apresentadas aos professores das turmas participantes da avaliação, que avaliaram se os termos utilizados, relacionados ao domínio de álgebra, estavam de acordo com os termos utilizados em sala de aula. Além disso, validaram a clareza das mensagens para a compreensão de alunos de 7º e 8º Anos do Ensino Fundamental.

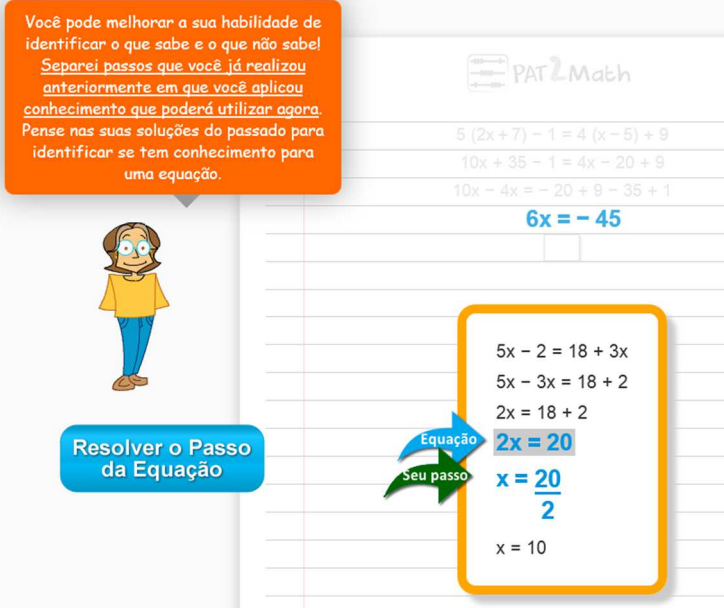
A entrega dos *prompts* pelo Cliente de agente metacognitivo foi implementada com o auxílio de um Agente Pedagógico Animado, descrito na seção 6.1. O Quadro 11 apresenta imagens de exemplos do APA, integrado ao PATEquation, para os quatro níveis de *prompts* metacognitivos.

Quadro 11 – Prompts *metacognitivos* exibidos pelo APA

(continua)

APA realizando uma ação de <i>prompt</i> metacognitivo	Observação
<p data-bbox="252 389 628 577">Olá Tiago! Meu objetivo é tentar ajudar você a melhorar a sua habilidade de identificar o que você sabe e o que você não sabe. Antes de dar um novo passo para a equação, tente identificar as partes da equação e pense sobre o seu conhecimento para resolvê-la.</p>  <p data-bbox="309 860 539 920">Resolver o Passo da Equação</p> <div data-bbox="539 374 986 952">  </div>	<p data-bbox="999 374 1447 645">APA realizando uma ação de <i>prompt</i> metacognitivo de nível 1, quando o índice metacognitivo do aluno (índice KMA) está próximo de um índice satisfatório. Este nível de <i>prompt</i> incita o aluno a refletir sobre o enunciado da equação, no exemplo, a equação <math>x = 4/2</math>.</p>
<p data-bbox="252 974 587 1162">Saber identificar o que você sabe e o que você não sabe é uma importante habilidade para o seu aprendizado! Tiago, antes de prosseguir, pense no seu conhecimento!! <u>Acho que você tem conhecimento para dar um novo passo correto para a equação!</u> E você, o que acha?</p>  <p data-bbox="309 1420 539 1480">Resolver o Passo da Equação</p> <div data-bbox="539 958 986 1491">  </div>	<p data-bbox="999 965 1447 1330">APA realizando um <i>prompt</i> metacognitivo de nível 2. Este nível de <i>prompt</i> identifica as unidades de conhecimento possíveis de serem aplicadas no próximo passo da equação e verifica se o aluno atingiu uma probabilidade de 95% em alguma destas unidades de conhecimento. O <i>prompt</i> incita o aluno a refletir sobre seu conhecimento demonstrado.</p>
<p data-bbox="252 1514 619 1702">Olá Tiago! Pense se em outro momento você já não resolveu alguma equação parecida com esta! Identifique as partes da equação e veja se já não aplicou antes conhecimento que poderá utilizar agora! <u>Eu já vi você resolvendo algo similar!</u> Pense sobre isso!</p>  <p data-bbox="309 1984 539 2045">Resolver o Passo da Equação</p> <div data-bbox="539 1498 986 2065">  </div>	<p data-bbox="999 1505 1447 1870"><i>Prompt</i> metacognitivo de nível 3. Este nível de <i>prompt</i> identifica as unidades de conhecimento possíveis de serem aplicadas no próximo passo da equação e verifica se o aluno já entrou, anteriormente, com algum passo correto aplicando uma unidade de conhecimento possível de ser utilizada na equação corrente. O <i>prompt</i> incita o aluno a refletir sobre suas soluções do passado.</p>

(conclusão)

APA realizando uma ação de <i>prompt</i> metacognitivo	Observação
 <p>Você pode melhorar a sua habilidade de identificar o que sabe e o que não sabe! Separei passos que você já realizou anteriormente em que você aplicou conhecimento que poderá utilizar agora. Pense nas suas soluções do passado para identificar se tem conhecimento para uma equação.</p> <p>Resolver o Passo da Equação</p> <p>Equação Seu passo</p> $5(2x + 7) - 1 = 4(x - 5) + 9$ $10x + 35 - 1 = 4x - 20 + 9$ $10x - 4x = -20 + 9 - 35 + 1$ $6x = -45$ $5x - 2 = 18 + 3x$ $5x - 3x = 18 + 2$ $2x = 18 + 2$ $2x = 20$ $x = \frac{20}{2}$ $x = 10$	<p><i>Prompt</i> metacognitivo de nível 4. Este nível de <i>prompt</i> identifica as unidades de conhecimento possíveis de serem aplicadas no próximo passo da equação e verifica se o aluno já entrou, anteriormente, com algum passo correto aplicando uma unidade de conhecimento possível de ser utilizada na equação corrente. Além disso, o agente exhibe a equação similar resolvida anteriormente e o respectivo passo utilizado. O <i>prompt</i> incita o aluno a refletir sobre suas soluções do passado.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando o aluno clica no botão “Resolver o Passo da Equação”, ele está indicando que pretende dar um novo passo para a equação corrente, e o Cliente do agente metacognitivo imediatamente entrega uma caixa de diálogo (Figura 22) que solicita ao aluno que estime o seu conhecimento.

O comportamento esperado de um aluno que monitora o seu conhecimento é que, antes de entrar com um passo para uma equação, ele passe um tempo procurando identificar as partes e as operações envolvidas na equação e reflita sobre seu conhecimento. Caso o aluno seja muito reativo, ou seja, caso o aprendiz clique no botão “Resolver o Passo da Equação” imediatamente após a exibição do *prompt*, o agente entrega um *feedback* imediato (Figura 23) indicando o comportamento inadequado do aluno. O agente considera, como parâmetro para indicar o comportamento inadequado, o tempo de 1 milissegundo para cada caractere da mensagem de *prompt*. Este tempo foi definido e ajustado após observações realizadas com alunos em sessões de teste-piloto. O teste-piloto será descrito na sessão 6.3.

O fluxo de execução dos *prompts* metacognitivos é apresentado no Quadro 12 e é acionado pelo fluxo de execução do Ciclo Interno (Quadro 10).

Quadro 12 – Fluxo de processamento do mecanismo de *prompts* metacognitivos

Este fluxo é iniciado no Cliente do agente metacognitivo pelo fluxo do Ciclo Interno (Quadro 10).

1. (C) O Cliente do agente metacognitivo faz uma requisição HTTP ao servidor para requisitar um *prompt* metacognitivo, enviando dois argumentos: um identificador do aluno e a equação corrente.
2. (S) O Controlador recebe a requisição e chama um Serviço de *Prompts* do Ciclo Interno, responsável por selecionar um *Prompt* Metacognitivo.
3. (S) O Serviço de *Prompts* do Ciclo Interno retorna um *prompt* ao Controlador. Pode não retornar nenhum *prompt* (quando o índice KMA é satisfatório).
4. (S) O Controlador retorna a requisição HTTP com o *prompt* (ou nenhum).
5. (C) O Cliente de agente metacognitivo recebe o retorno da requisição HTTP.
6. (C) O Cliente Metacognitivo exibe o *prompt* (ou não, caso não receba um *prompt*).

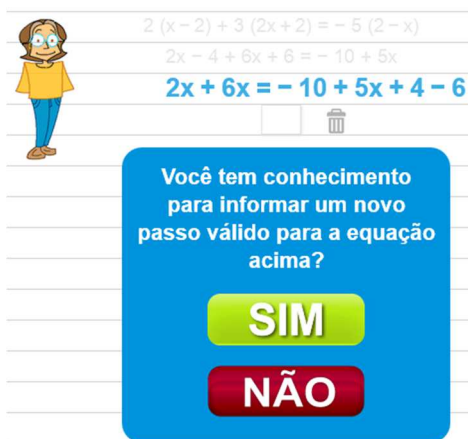
(C) Ocorre no Cliente      (S) Ocorre no Servidor

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 6.2.4 Estimativas de conhecimento e atualização do índice metacognitivo

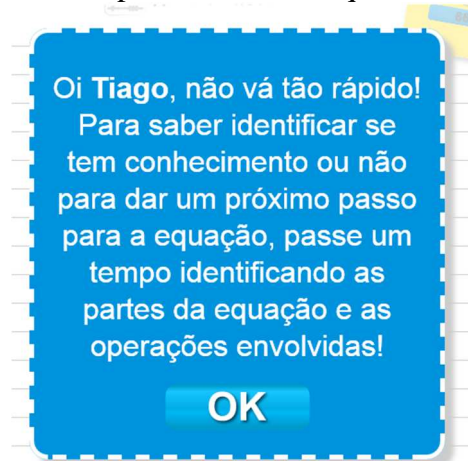
A estimativa do conhecimento é uma das principais ações do aluno no Cliente do agente metacognitivo. É a partir da estimativa do aluno sobre seu conhecimento para dar um passo para a equação e o seu desempenho no passo da mesma equação, que o sistema atualiza o índice KMA que mede o nível da habilidade metacognitiva do aluno.

Figura 22: Caixa de diálogo da estimativa de conhecimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23: *Feedback* imediato de comportamento inadequado



Fonte: Elaborado pelo autor.



O Cliente do agente metacognitivo exibe uma caixa de diálogo (Figura 22) que solicita ao aluno que estime o seu conhecimento, respondendo com “SIM” ou “NÃO” para a pergunta: “Você tem conhecimento para informar um novo passo válido para a equação acima?”. Na sequência, o sistema aguarda o aluno entrar com um passo da equação, para que possa requisitar a atualização do índice metacognitivo (índice KMA). Um *feedback* imediato indicando comportamento inadequado (Figura 23) também é apresentado quando o aluno é muito reativo, ou seja, quando clica muito rapidamente nas opções “SIM” ou “NÃO”. Foram criadas dez diferentes mensagens para o *feedback* imediato, a fim de evitar que se tornassem preditivas pelos alunos. A mensagem é selecionada aleatoriamente. O Quadro 13 apresenta o fluxo de execução do processo de estimativa do conhecimento e atualização do índice KMA.

Quadro 13 – Fluxo do processo de estimativa do conhecimento

Este fluxo é iniciado no Cliente do agente metacognitivo pelo fluxo do Ciclo Interno (Quadro 10).

1. (C) O Cliente do agente metacognitivo exibe uma caixa de diálogo de estimativa de conhecimento (Figura 22).
2. (C) O aluno estima seu conhecimento para dar um novo passo (tem conhecimento ou não tem conhecimento).
3. (C) Aluno entra com um passo de resolução da equação.
4. (C) O Cliente do agente metacognitivo requisita ao PATEquation o desempenho do aluno no passo (correto ou incorreto).
5. (C) O Cliente do agente metacognitivo recebe o retorno do PATEquation.
6. (C) O Cliente do agente metacognitivo faz uma requisição HTTP ao servidor para solicitar a atualização do índice KMA do aluno. Três argumentos são enviados: um identificador do aluno, a estimativa de conhecimento (tem conhecimento ou não tem conhecimento) e o desempenho (certo ou errado) do aluno no passo.
7. (S) O Controlador recebe a requisição e chama um Serviço de Avaliação Metacognitiva do Ciclo Interno responsável por avaliar e atualizar o índice metacognitivo do aluno.
8. (S) O Serviço de Avaliação Metacognitiva do Ciclo Interno retorna o índice metacognitivo ao Controlador.
9. (S) O Controlador retorna a requisição HTTP com o índice KMA do aluno atualizado.
10. (C) O Cliente do agente metacognitivo recebe o retorno da requisição.

(C) Ocorre no Cliente      (S) Ocorre no Servidor

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.2.5 *Self-Explanations*

A atividade de *self-Explanation* busca incitar o aluno a descrever, com suas próprias palavras, o motivo pelo qual acredita que tem, ou não, conhecimento para dar um passo para a equação, fazendo-o refletir sobre suas ações do passado.

Esta atividade é atribuída ao aluno logo após sua estimativa de conhecimento, mas é entregue casualmente. O agente metacognitivo foi ajustado para que uma atividade de *self-explanation* (Figura 24) tenha 30% de chances de ser entregue após a estimativa do aluno, considerando uma distribuição de probabilidades uniforme. O Quadro 14 apresenta o fluxo de execução de uma atividade de *self-explanation*. É possível observar que nenhum tratamento é realizado com os textos dos alunos, que são, tão somente, armazenados no repositório de banco de dados.

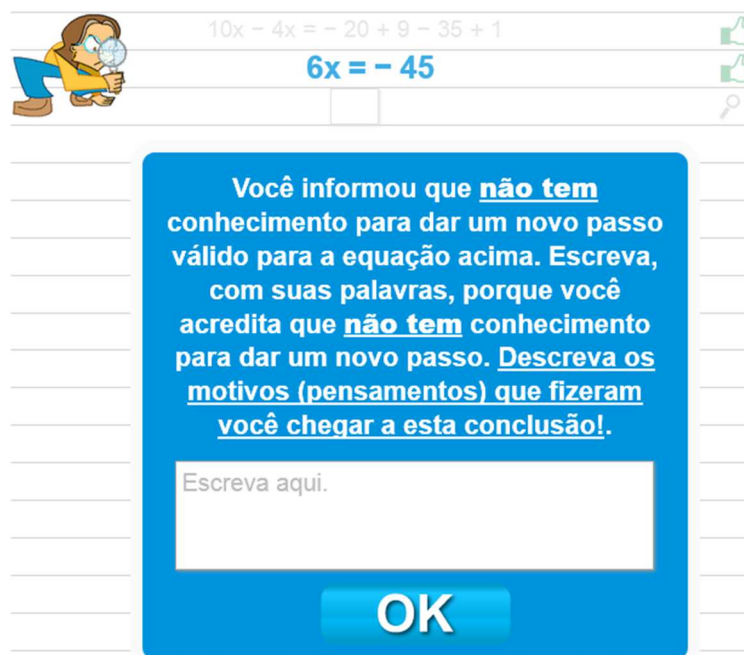
Quadro 14 – Fluxo de *self-explanation*

Este fluxo é iniciado no Cliente do agente metacognitivo pelo fluxo do Ciclo Interno (Quadro 10).

1. (C) O Cliente de agente metacognitivo decide se atribui uma atividade de *self-explanation*. Em caso positivo, entrega a atividade. Senão, este fluxo é encerrado.
2. (C) O aluno entra com um texto de *self-explanation*.
3. (C) O Cliente de Agente Metacognitivo faz uma requisição HTTP ao servidor para solicitar que o texto de *self-explanation* do aluno seja armazenado. Dois argumentos são enviados: um identificador do aluno e seu texto de *self-explanation*.
4. (S) O Controlador recebe a requisição e chama um Serviço de *Self-Explanation* do Ciclo Interno responsável por armazenar o texto do aluno.
5. (S) O Serviço de *Self-Explanation* do Ciclo Interno requisita a um Repositório que guarde o texto do aluno.
6. (S) O Serviço de *Self-Explanation* do Ciclo Interno retorna ao Controlador a confirmação do registro do texto do aluno.
7. (S) O Controlador retorna a requisição HTTP com a confirmação do registro de *self-explanation*.
8. (C) O Cliente do agente metacognitivo recebe o retorno da requisição.

(C) *Ocorre no Cliente*      (S) *Ocorre no Servidor*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24: Caixa de *Self-Explanation*

Fonte: Elaborado pelo autor.

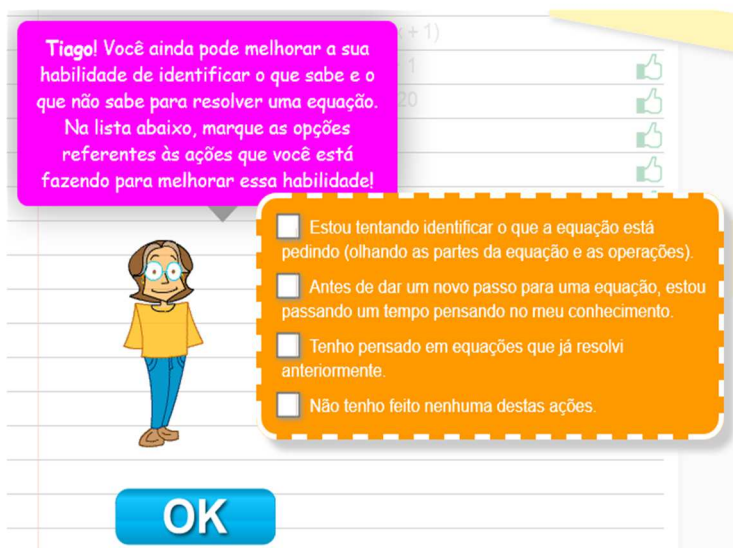
### 6.2.6 *Feedbacks* atrasados

Os *feedbacks* atrasados notificam o aluno sobre o seu nível metacognitivo corrente (satisfatório ou insatisfatório). São atrasados, pois não são exibidos imediatamente após a atualização do índice metacognitivo, mas são entregues algum tempo depois. As razões dessa abordagem são descritas na sessão 5.4.

Estes *feedbacks* não foram implementados no Ciclo Interno, pois ocorrem somente quando o Ciclo Interno não é ativado. Os *feedbacks* atrasados foram implementados no módulo Cliente do agente metacognitivo, pois são apenas mensagens textuais exibidas na interface gráfica, sem necessidade de requisição ao servidor.

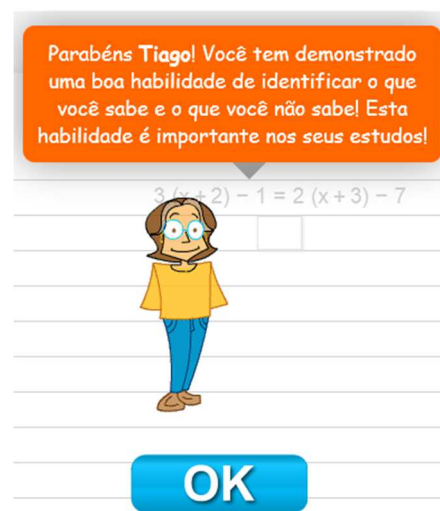
O Cliente de agente metacognitivo foi ajustado de forma que a probabilidade do *feedback* atrasado ser atribuído ao aluno, quando o Ciclo Interno não for ativado, seja de 70%, de acordo com uma distribuição de probabilidades uniforme. Quando o índice metacognitivo corrente do aluno é insatisfatório, o *feedback* atrasado incita o aluno a refletir sobre as ações que tem realizado para melhorar sua habilidade metacognitiva. O aluno deve selecionar uma ou mais opções de uma lista, como mostra a Figura 25. Nenhum tratamento é realizado com as opções marcadas. O único objetivo da ferramenta gráfica é fazer o aluno refletir. O *feedback* da Figura 26 é exibido quando o índice KMA do aluno é satisfatório.

Figura 25: *Feedback* atrasado sobre nível metacognitivo insatisfatório



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26: *Feedback* atrasado sobre nível metacognitivo satisfatório



Fonte: Elaborado pelo autor.

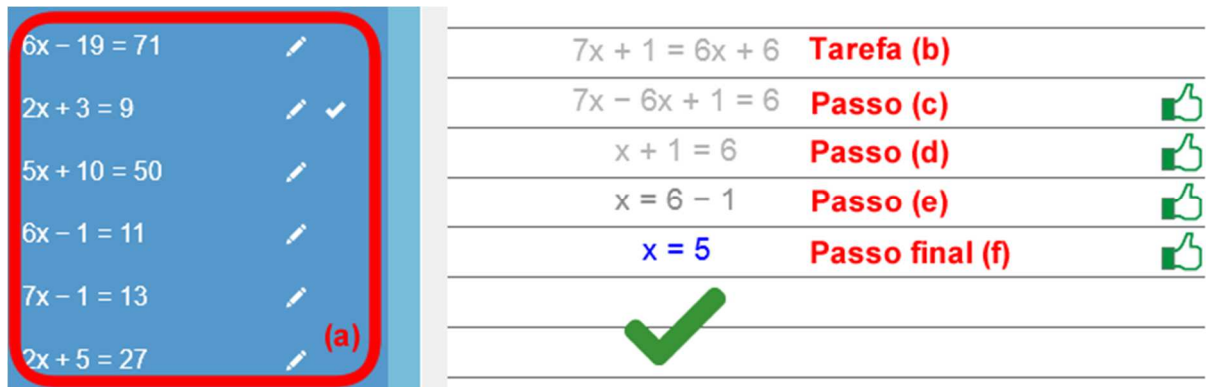
### 6.3 Teste-piloto

Algumas decisões relacionadas a parâmetros de implementação do modelo metacognitivo, como o tempo necessário para avaliar o comportamento de um aluno como reativo, como descrito na seção 6.2.3, foram tomadas após observações realizadas em sessões de teste-piloto. O objetivo do teste-piloto foi avaliar o processo de avaliação do agente metacognitivo (descrito no próximo capítulo), bem como aspectos do modelo e da implementação do agente. Foram realizadas três sessões de teste-piloto com um grupo de 17 alunos de uma escola particular da região do Vale dos Sinos, no Rio Grande do Sul. Estes alunos não participaram da avaliação do agente. Os alunos foram divididos aleatoriamente em dois grupos: controle e experimental. Cada sessão teve duração de 50 minutos, com intervalo de uma semana entre as sessões. Em duas sessões, os alunos utilizaram o PAT2Math com o agente metacognitivo integrado. Foram observadas questões como usabilidade e funcionamento do sistema, além do comportamento dos alunos durante as sessões. Em uma terceira sessão foi realizado um pós-teste, em papel e caneta.

## 6.4 Cenário de exemplo

Após a descrição do modelo do agente e dos detalhes de implementação e integração com o STI PAT2Math, é possível descrever um pequeno cenário em que o agente metacognitivo é integrado ao PAT2Math.

Figura 27: Fragmento da interface do PATEquation



Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente, após o acesso do aluno ao PAT2Math, a interface gráfica do PATEquation é carregada no navegador web do aluno. Um fragmento desta interface é apresentado na Figura 27. No painel à esquerda (a), o aluno escolhe uma equação (tarefa) que deseja resolver. A equação é carregada na área de resolução de equações (b). Imediatamente, o ciclo externo do agente metacognitivo decide se ativa o ciclo interno. Em caso afirmativo, o ciclo interno realiza uma ou mais ações a seguir: a) apresenta um *prompt* metacognitivo, mediante uma decisão do agente, incitando o aluno a refletir sobre seu conhecimento, como apresentado no Quadro 11; b) solicita ao aluno que estime seu conhecimento para resolver um novo passo, como na Figura 22; c) entrega um *feedback* imediato, caso o aluno seja muito reativo, como na Figura 23; d) incita o aluno a responder um questionamento de *self-explanation*, mediante decisão do agente, como na Figura 24. A única atividade que sempre ocorre no ciclo interno é a que solicita ao aluno que estime seu conhecimento. Em seguida, o aprendiz entra com um passo para a equação, que poderia ser  $7x - 6x + 1 = 6$  (c). Após o aluno entrar com o passo, caso o ciclo interno esteja ativado o índice metacognitivo do estudante é atualizado, utilizando a estimativa do aprendiz para dar um novo passo e o seu desempenho (correto ou errado) no passo recente. O ciclo interno é encerrado, caso tenha sido ativado. Na sequência, caso o passo anterior não tenha sido a solução final para a equação, o ciclo externo é acionado, novamente, a fim de decidir se o ciclo interno é ativado, realizando

suas ações em caso positivo. Então, o aluno entra com um novo passo de equação, que poderia ser  $x + 1 = 6$  (d).

Este processo ocorre, continuamente, até que o aluno entre com o passo final da equação, no caso,  $x = 5$  (f). Dependendo do conhecimento do aluno no domínio, do seu nível metacognitivo corrente e do seu histórico de resolução de passos de tarefas, o agente decidirá ativar ou não ativar o ciclo interno para as ações metacognitiva antes de cada novo passo do aprendiz. Quando o ciclo interno não é ativado, o agente pode entregar um *feedback* atrasado informando o aluno sobre seu nível metacognitivo corrente, como pode ser visto na Figura 25 e na Figura 26.

Este é apenas um exemplo simples de um cenário do agente metacognitivo integrado ao STI PAT2Math. Espera-se que o aluno adquira a consciência da importância de monitorar o que sabe e o que não sabe, passando um tempo identificando as partes de uma tarefa antes de resolvê-la e estabelecendo uma relação com seu conhecimento demonstrado e com passos de tarefas anteriores que tenha resolvido. No domínio de equações algébricas, primeiramente, quando a tarefa (equação) recém é apresentada na interface do tutor, o aluno reflete sobre o enunciado da equação inicial. A cada novo passo correto da equação, o aluno reflete sobre o passo anterior para verificar se tem conhecimento para um novo passo, até que a solução final seja informada.

O próximo capítulo descreve a avaliação do agente metacognitivo com grupos de alunos e os seus resultados.

## 7 AVALIAÇÃO E RESULTADOS

Este capítulo descreve os métodos e materiais empregados e os resultados de uma avaliação experimental do agente metacognitivo, integrado ao STI PAT2Math, com grupos de alunos. O objetivo da avaliação é verificar se a instrução explícita e individualizada sobre o monitoramento do conhecimento em um STI melhora a precisão do aluno em monitorar o que sabe e o que não sabe para resolver uma tarefa. Mais especificamente, a avaliação pretende: a) verificar se a instrução metacognitiva em um STI melhora a habilidade dos alunos de monitorar o seu conhecimento; b) verificar se a instrução metacognitiva em um STI melhora o desempenho dos alunos no domínio da instrução; c) verificar uma correlação entre a habilidade de monitoramento do conhecimento, desenvolvida pelo treinamento metacognitivo, e o desempenho dos aprendizes no domínio. As próximas sessões descrevem os materiais e métodos empregados, com as etapas da avaliação e a divisão dos alunos em grupos, além dos testes estatísticos utilizados, as análises dos resultados e as conclusões obtidas.

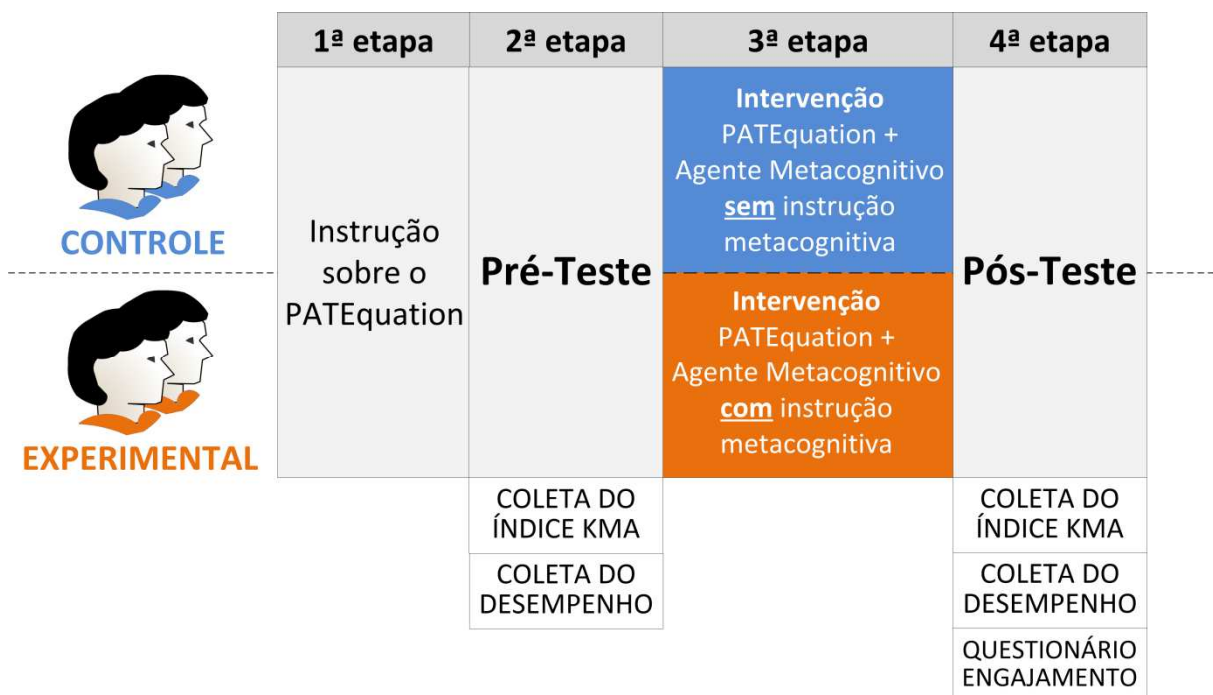
### 7.1 Materiais e métodos

A avaliação seguiu um desenho experimental do tipo grupo de controle versus grupo experimental com pré e pós-testes. Esse é um desenho experimental bastante robusto e, por isso, com alto prestígio nos estudos envolvendo humanos. (CAMPBELL; STANLEY; GAGE, 1963; HUCK; MCLEAN, 1975). Um total de 107 alunos de quatro escolas particulares da região do Vale dos Sinos, oriundos de três turmas de 8º Ano do Ensino Fundamental e uma turma de 7º Ano do Ensino Fundamental, participaram do estudo. Cada aluno foi atribuído, aleatoriamente, a um dos seguintes grupos: controle ou experimental. A distribuição dos alunos em cada grupo foi realizada através de um *software* implementado para esta avaliação. O *software* utilizou um algoritmo que distribuiu os alunos a cada um dos grupos, de forma aleatória, seguindo uma distribuição de probabilidades uniforme. Mais especificamente, o software foi executado para cada turma. O sorteio realizado em cada turma foi repetido até que a quantidade de alunos em cada grupo fosse igual, no caso de uma quantidade par de alunos na turma, ou com diferença de um aluno para um dos grupos, no caso de uma quantidade ímpar de alunos na turma. Desta forma, evitou-se que a diferença do número total de alunos em cada grupo fosse elevada.

A avaliação foi realizada em quatro etapas, como pode ser visualizado na Figura 28. As etapas envolveram a realização de sessões, com duração de 50 minutos cada, e intervalo mínimo de uma semana e máximo de duas semanas entre as sessões. A primeira etapa envolveu uma demonstração do STI PAT2Math. A segunda e última etapas se caracterizaram pela aplicação do pré-teste e pós-teste, respectivamente. A terceira etapa compreendeu o uso do PAT2Math nos laboratórios de informática das escolas. A avaliação nas escolas teve uma duração média de nove semanas. Algumas sessões tiveram intervalo de duas semanas, em função da ocorrência de alguns feriados. Foram realizadas 26 sessões, no total.

Como se tratou de uma avaliação envolvendo alunos menores de idade, cada aluno deveria retornar o documento Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) assinado por uma pessoa responsável pelo aluno, concordando com a utilização na pesquisa dos dados gerados pelo aprendiz e que foram coletados nas etapas de pré e pós-testes. O projeto e o TCLE foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da universidade. O TCLE está disponível no Anexo A deste documento.

Figura 28: Projeto da avaliação



Fonte: Elaborado pelo autor.

A 1ª etapa foi realizada em sessão única. Os alunos utilizaram o PATEquation, individualmente, sem o agente metacognitivo integrado, em uma sala com computadores. O objetivo desta etapa foi apresentar aos alunos o *software* de resolução de equações do



PAT2Math, o PATEquation, familiarizando o uso da ferramenta. Com isto, procurou-se evitar que a familiarização do *software* ocorresse em meio às sessões de intervenção (3ª etapa), o que poderia ocasionar a sobrecarga cognitiva<sup>8</sup> dos alunos, prejudicando o experimento.

A 2ª etapa foi realizada em sessão única, em sala de aula, com os alunos participando de um pré-teste. O objetivo do pré-teste foi coletar o nível metacognitivo e o desempenho dos aprendizes no domínio, antes do início das intervenções (sessões de experimento da 3ª etapa). Primeiramente, cada aluno recebeu uma folha onde constavam dez equações de 1º grau com uma incógnita em que deveria estimar o seu conhecimento para dar um passo correto, em cada equação apresentada. Quando o aluno entregou a folha, ao professor, com as suas estimativas, imediatamente recebeu outra folha em que deveria escrever um passo correto para cada uma das equações apresentadas na folha anterior. Dessa forma, foi possível comparar o desempenho dos alunos para dar um passo correto para as equações com as suas estimativas de conhecimento sobre os mesmos passos, possibilitando a descoberta do nível metacognitivo e o desempenho prévio no domínio. Os alunos não foram avisados, previamente, sobre o conteúdo das folhas de testes. A única orientação prévia que receberam foi que, a medida que entregassem uma folha, receberiam outra. Esta abordagem, que primeiramente coleta as estimativas sobre o conhecimento e só depois coleta os desempenhos, foi utilizada em estudos de Tobias e Everson (2002) sobre a habilidade de monitoramento do conhecimento. Os modelos das folhas de estimativas e de desempenho no pré-teste foram disponibilizados nos Apêndices A e B deste documento.

Na 3ª etapa da avaliação foram realizadas as sessões de intervenção, em salas com computadores. O grupo experimental utilizou o PATEquation com o agente metacognitivo integrado e realizando a instrução metacognitiva. O grupo de controle também utilizou o PATEquation com o agente metacognitivo integrado, inclusive com a presença do agente pedagógico animado. No entanto, o agente metacognitivo utilizado no grupo de controle foi modificado de forma que não entregasse as ações de instrução metacognitiva. Os alunos não foram avisados sobre detalhes da avaliação, como a divisão dos grupos.

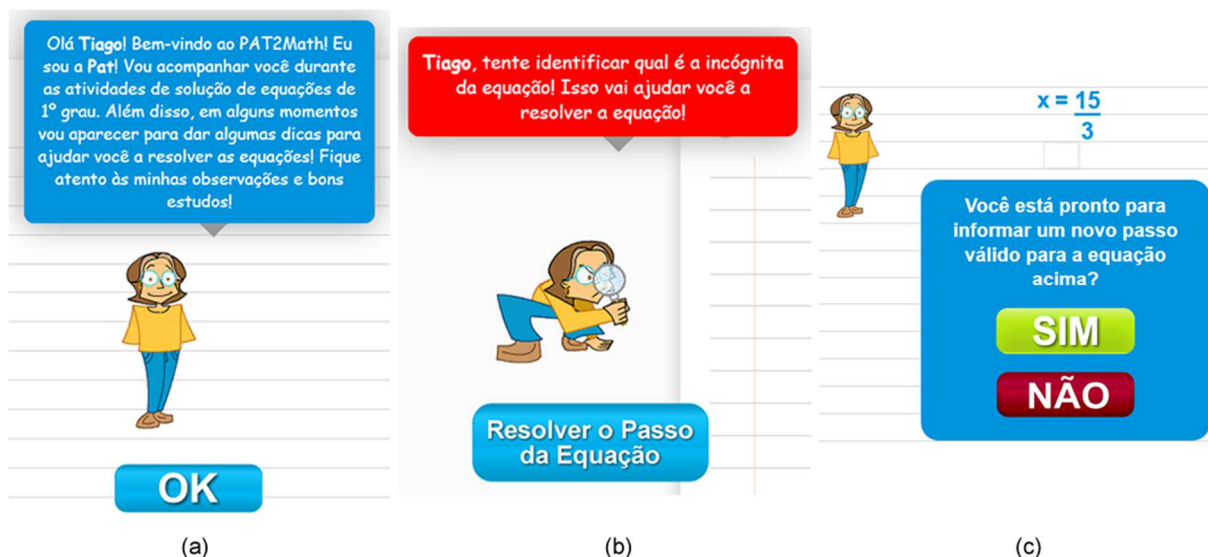
Para o grupo de controle, foi necessário modificar o agente metacognitivo de forma que não entregasse qualquer mensagem incitando a reflexão metacognitiva. As mensagens entregues ao grupo de controle foram mensagens genéricas, algumas relacionadas unicamente ao domínio. A Figura 29 mostra a mensagem de boas-vindas (a) alterada para o grupo de controle, bem como uma mensagem genérica sobre o domínio (b) em substituição a um

---

<sup>8</sup> Relacionado à capacidade limitada de processamento cognitivo do aprendiz. Um projeto instrucional deve evitar a sobrecarga do sistema cognitivo do aluno. (MAYER, 2011).

*prompt* metacognitivo. A Figura 29 também mostra uma caixa (c) similar à caixa de estimativa do conhecimento, com conteúdo alterado. Desta forma, procurou-se evitar que os alunos, muitos deles sentados ao lado de colegas de outro grupo do experimento, percebessem claramente as diferenças nas versões do sistema e a divisão dos alunos em diferentes grupos. Esta abordagem buscou evitar uma ameaça interna à validade do experimento. Alguns alunos, percebendo que outros colegas recebem conteúdo diferenciado do sistema, poderiam desejar receber o mesmo conteúdo, alterando o seu engajamento durante o uso do software e prejudicando os objetivos da intervenção. Na versão do grupo de controle também foram retirados os *feedbacks* imediatos e atrasados e a atividade de *self-explanation*. Observou-se, durante as sessões do experimento, que os alunos não perceberam que faziam parte de grupos distintos e que cada grupo recebia instrução diferenciada do agente pedagógico.

Figura 29: Agente metacognitivo modificado para o grupo de controle



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na 3ª etapa, a quantidade de sessões variou entre as quatro escolas participantes. Em duas escolas foram realizadas quatro sessões e nas outras duas foram realizadas três sessões. Isto ocorreu em função da diferente disponibilidade de horários das escolas para a realização das sessões e a ocorrência de alguns feriados. No total, foram realizadas 14 sessões de intervenção nas escolas.

A 4ª etapa foi realizada em sessão única, em sala de aula, com os alunos participando de um pós-teste. O objetivo do pós-teste foi coletar o nível metacognitivo e o desempenho dos alunos no domínio, após as sessões de uso do *software*. O procedimento foi similar ao realizado no pré-teste. Primeiramente, cada aluno recebeu uma folha onde constavam dez

equações de 1º grau com uma incógnita em que deveria estimar o seu conhecimento para dar um passo correto, em cada equação apresentada. Imediatamente após entregar a folha com as estimativas, o aluno recebeu uma segunda folha em que deveria escrever um passo correto para as mesmas equações apresentadas na folha anterior. Da mesma forma como ocorreu no pré-teste, os alunos não foram avisados, previamente, sobre o conteúdo das folhas de testes e sobre detalhes da sessão. Os estudantes não foram avisados que o procedimento do pós-teste seria similar ao procedimento do pré-teste e não receberam qualquer orientação inicial que pudesse estimulá-los a resolverem este teste com mais seriedade, como a atribuição de notas. Assim, foi possível comparar o desempenho dos alunos nos passos das equações com as suas estimativas sobre os mesmos passos, permitindo a coleta do nível metacognitivo dos alunos e o seus desempenhos no domínio, após a realização das sessões de uso do *software*. As equações utilizadas no pós-teste foram similares às questões do pré-teste, mudando-se apenas os valores das constantes nos termos das equações e alterando a ordem das mesmas nas folhas.

Ainda na sessão de pós-teste, cada aluno recebeu uma terceira folha, após a entrega da segunda folha, com um questionário composto por seis questões. O objetivo do questionário foi possibilitar que os alunos avaliassem o seu engajamento pessoal nas sessões de uso do *software*, a fim de tentar estabelecer uma relação com seus índices metacognitivos na análise dos resultados. As respostas do questionário foram baseadas em uma escala Likert de frequência, com as opções “nunca”, “raramente”, “algumas vezes”, “frequentemente” e “sempre”. Os modelos das folhas de estimativas, de desempenho e do questionário de engajamento da sessão de pós-teste foram disponibilizados nos Apêndices C, D e E, respectivamente, deste documento.

Com o objetivo de encontrar evidências relativas à melhora da habilidade metacognitiva proporcionada pela instrução explícita e individualizada do agente, foram realizados testes que compararam: a) médias dos índices metacognitivos dentro dos grupos e entre os grupos; b) médias dos ganhos metacognitivos (diferença do índice metacognitivo no pós-teste com o índice metacognitivo no pré-teste) entre os grupos. Estes testes foram realizados através de testes *t* independentes e pareados. Testes similares aos descritos no parágrafo anterior foram realizados para encontrar evidências relativas à melhora do desempenho dos alunos no domínio. A diferença entre os testes sobre o domínio e sobre o índice metacognitivo é que, ao invés de considerar o índice metacognitivo, foi considerado o desempenho do aluno no domínio, representado por uma nota de 0 a 10 que corresponde a uma contagem de acertos do aluno no teste.

Testes *t* independentes também foram utilizados para comparar as pontuações do questionário com respostas em escala Likert, buscando encontrar diferenças entre as respostas dos grupos.

Por fim, com o objetivo de encontrar evidências relativas a uma correlação do índice metacognitivo e o desempenho no domínio, quando o aluno recebe a instrução metacognitiva, foram realizados testes utilizando o coeficiente de correlação de *Pearson*.

Todos os testes utilizaram nível de significância estatística de 0,05. Os resultados destes testes são descritos na próxima seção.

## 7.2 Resultados

O principal objetivo deste trabalho é encontrar evidências relacionadas à contribuição da instrução personalizada e explícita para uma melhora do índice metacognitivo (índice KMA) da habilidade de monitoramento do conhecimento em ambientes computacionais de aprendizagem inteligentes, como os STIs. Pretende-se, também, verificar se há uma correlação entre o índice metacognitivo e o desempenho no domínio no grupo de alunos que recebe a instrução metacognitiva, e se o grupo experimental apresenta um melhor desempenho no domínio em relação ao grupo de controle.

Tabela 1 – Panorama dos alunos participantes da avaliação

Escola	Inicial	Critérios				Critérios não atendidos						Grupo de Controle		Grupo Experimental	
		A		NA		TCLE		Pré		Pós		M	F	M	F
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F				
Escola 1	25	5	7	7	6	4	4	3	2	0	0	1	4	4	3
Escola 2	24	9	9	1	5	0	2	1	2	1	1	6	5	3	4
Escola 3	31	13	9	5	4	3	0	2	3	1	1	7	4	6	5
Escola 4	27	4	7	10	6	9	6	1	1	1	0	1	6	3	1
		<b>31</b>	<b>32</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>13</b>
<b>Total</b>	<b>107</b>	<b>63</b>		<b>44</b>		<b>28</b>		<b>15</b>		<b>5</b>		<b>34</b>		<b>29</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A = Atendem; NA = Não atendem; TCLE = Termo de Consentimento Livre e Esclarecido; Pré = Pré-Teste; Pós = Pós-Teste; M = Masculino; F = Feminino

As amostras de dados do grupo experimental e do grupo de controle, utilizadas na análise de resultados da avaliação, foram constituídas apenas de dados de alunos que

estiveram de acordo com todos os critérios a seguir: a) entrega do TCLE assinado pelo responsável; b) participação na sessão de pré-teste; c) participação na sessão de pós-teste. De um total de 107 alunos, 63 alunos estiveram de acordo com todos os critérios e foram considerados para as amostras de dados. A Tabela 1 mostra um panorama dos alunos participantes em cada escola, a divisão dos grupos e os critérios não atendidos, ambos agrupados por gênero.

As amostras de dados coletadas durante a avaliação com os grupos de alunos foram todas disponibilizadas no Apêndice F deste trabalho.

### 7.2.1 Ganhos na habilidade metacognitiva

Com o objetivo de encontrar evidências relacionadas à contribuição da instrução metacognitiva explícita e individualizada em STIs para uma melhora da habilidade do aluno de monitorar o seu conhecimento, foram realizados vários testes estatísticos comparando as médias dos índices metacognitivos e a média dos ganhos dos índices metacognitivos (diferença do índice KMA no pós-teste com o índice KMA no pré-teste) dos alunos do grupo de controle e do grupo experimental. Nestes testes, a variável dependente é o índice metacognitivo (índice KMA) e a variável independente representa as condições experimentais (com a instrução metacognitiva e sem a instrução metacognitiva). Os testes foram realizados utilizando testes *t* independentes e pareados, com o auxílio do *software Statdisk*<sup>®</sup> versão 12.0.2<sup>9</sup>.

Alguns valores extremos relativos aos índices metacognitivos foram identificados, tanto na amostra do grupo experimental, quanto no grupo de controle. Em função disso, os dados foram revisados para verificar se os valores extremos não ocorreram em decorrência de algum erro na obtenção dos dados, como erros de digitação. Como não foram identificados tais erros, optou-se por manter os dados, uma vez que uma análise estatística mais aprofundada seria necessária. O trato de valores extremos em amostras é uma questão controversa junto aos pesquisadores e deve ser realizada com cautela. (DANCEY; REIDY, 2013). Não fez parte do escopo deste trabalho este tipo de análise.

Antes de prosseguir com a apresentação dos resultados, considera-se importante que se descreva algumas características sobre as amostras de dados. Uma importante característica que deve ser encontrada nas amostras de dados para a realização de testes paramétricos, como o teste *t*, é que as amostras devem ser aproximadamente normais. (DANCEY; REIDY, 2013).

---

<sup>9</sup> Disponível em: <http://www.statdisk.org/>

Foram realizados testes de normalidade *Ryan-Joiner* em todas as amostras utilizadas na análise de resultados deste estudo, para cada grupo de alunos, tanto para os índices metacognitivos quanto para os ganhos metacognitivos, desempenho no domínio, os ganhos de desempenho no domínio e as pontuações Likert. Algumas amostras não passaram no teste de normalidade, mas estiveram muito próximas de passar. Acredita-se, verificando o histograma dessas amostras que não passaram no teste de normalidade, que as mesmas se encaminham para uma distribuição normal, à medida que se tenha um conjunto amostral maior. Também foram realizados testes de *Levene* para verificar a igualdade de variância das amostras. Essa é outra característica importante para a aplicação de testes *t*. Todos os testes indicaram igualdade de variância. Os testes de *Levene* foram realizados no *software IBM® SPSS®* versão 22<sup>10</sup>. Os testes *Ryan-Joiner* foram realizados no *software Statdisk®* versão 12.0.2.

Primeiramente, foram realizados testes *t* independentes comparando o índice metacognitivo entre os grupos, tanto no pré-teste quanto no pós-teste. Estes testes estatísticos testam duas hipóteses: hipótese nula e hipótese alternativa. A hipótese nula ( $H_0$ ) para os testes é que a diferença entre a média do índice metacognitivo do grupo experimental ( $\mu_2$ ) e a média do índice metacognitivo do grupo de controle ( $\mu_1$ ) é menor ou igual à zero. A hipótese alternativa ( $H_1$ ), de pesquisa, é que a diferença entre a média do índice metacognitivo do grupo experimental e a média do índice metacognitivo do grupo de controle é maior que zero. As hipóteses também podem ser descritas na seguinte forma:

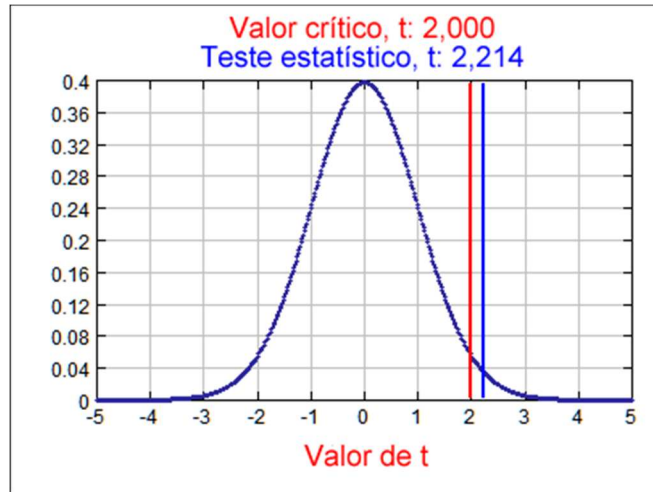
- $H_0 = \mu_2 - \mu_1 \leq 0$
- $H_1 = \mu_2 - \mu_1 > 0$

Primeiramente, foram encontradas diferenças significativas no índice KMA entre os grupos no pós-teste. A média do índice metacognitivo do grupo experimental foi de 0,8, superior ao valor médio de 0,6052 do grupo de controle. Com  $t(61) = 2,214$  e  $p = 0,0153$ , logo  $p < 0,05$ , é possível afirmar que a média do índice KMA do grupo experimental é superior à média encontrada no grupo de controle. Esta é uma evidência estatística significativa sobre os benefícios da instrução metacognitiva do agente.

---

<sup>10</sup> Disponível em: [www.ibm.com/software/analytics/spss/](http://www.ibm.com/software/analytics/spss/)

Gráfico 1 – Gráfico do teste estatístico sobre os índices metacognitivos no pós-teste



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 1 apresenta um gráfico da distribuição *t* de *Student* com o valor de *t* crítico e o valor de *t* do teste estatístico que comparou os índices metacognitivos entre os grupos no pós-teste. A Tabela 2 apresenta informações estatísticas dos índices metacognitivos em cada grupo. No Gráfico 2 é possível visualizar as diferenças encontradas nos valores médios do índice KMA no pré e no pós-teste das amostras de ambos os grupos, apresentando uma visível diferença do índice KMA no pós-teste em favor do grupo experimental.

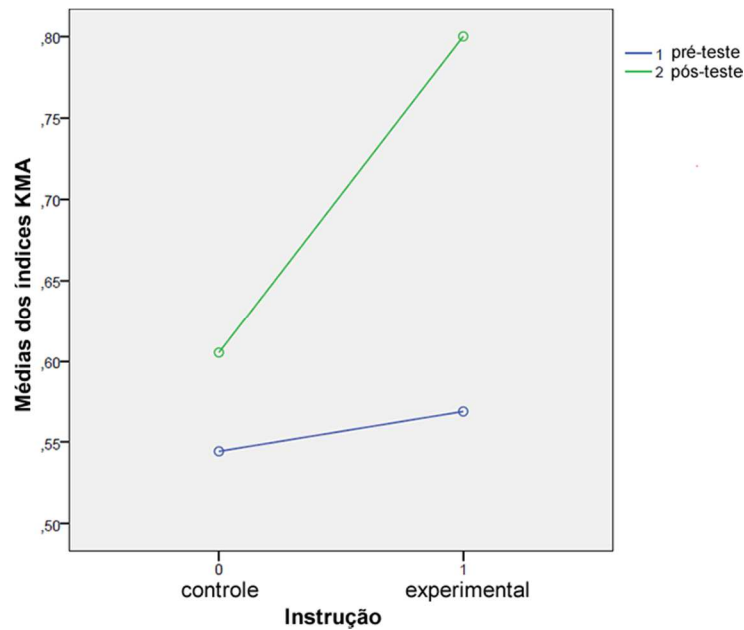
Tabela 2 – Informações estatísticas dos índices metacognitivos nos grupos de alunos

<b>Grupo</b>	<b>Teste</b>	<b>n</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Controle	Pré	34	,5444	,32463
Experimental	Pré	29	,5690	,38089
Controle	Pós	34	,6052	,41307
Experimental	Pós	29	,8000	,25071

Fonte: Elaborado pelo autor.

Um segundo teste estatístico comparou os índices metacognitivos entre os grupos, no pré-teste. Com  $t(61) = 0,2768$  e  $p = 0,3914$ , não é possível afirmar, com segurança estatística, que haja diferenças significativas entre os pré-testes de ambos os grupos. Isso pode ter ocorrido em função da divisão aleatória dos estudantes na formação dos grupos, indicando que os grupos, no pré-teste, possuíam média equivalente.

Gráfico 2 – Médias do índice metacognitivo no pré-teste e pós-teste dos grupos de alunos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foram comparados os índices metacognitivos entre o pré-teste e o pós-teste, dentro de cada grupo, utilizando testes *t* pareados. A hipótese de pesquisa ( $H_1$ ), nestes testes, é que a diferença da média do índice metacognitivo no pós-teste com a média do índice metacognitivo no pré-teste é maior que zero. Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas no grupo de controle, com média no pré-teste de 0,5444 e média no pós-teste de 0,6052 e o resultado do teste estatístico apresentando  $t(33) = 0,7657$  e  $p = 0,2247$ . No entanto, no grupo experimental, foi encontrada uma diferença significativa, com média no pré-teste de 0,5690 e média no pós-teste de 0,8 e o teste estatístico apresentando  $t(28) = 3,3328$  e  $p = 0,0012$  ( $p < 0,05$ ). Esta é mais uma evidência positiva relativa ao benefício da instrução metacognitiva do agente para uma melhora do índice KMA dos alunos.

Além dos testes anteriores, que apresentaram evidências positivas relacionadas ao benefício da instrução metacognitiva individualizada e explícita em STIs para um ganho da habilidade de monitoramento do conhecimento, foi realizado um teste *t* independente comparando as médias dos ganhos metacognitivos dos alunos entre os grupos de controle e experimental. Os ganhos metacognitivos, em cada grupo, foram obtidos, primeiramente, calculando-se a diferença do índice KMA no pós-teste com o índice KMA no pré-teste, para cada aluno. Para cada grupo, foi encontrado o valor médio destes ganhos. Após, as médias dos ganhos dos grupos foram comparadas. A hipótese nula ( $H_0$ ) para o teste sobre os ganhos é de que a diferença da média dos ganhos de índice metacognitivo do grupo experimental com a



média dos ganhos de índice metacognitivo do grupo de controle é menor ou igual à zero. A hipótese alternativa ( $H_1$ ), de pesquisa, é que a diferença da média dos ganhos de índice metacognitivo do grupo experimental com a média dos ganhos de índice metacognitivo do grupo de controle é maior que zero.

Tabela 3 – Informações sobre os ganhos de índice metacognitivo nos grupos de alunos

<b>Grupos</b>	<b><i>n</i></b>	<b>Média dos ganhos</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Controle	34	,0608	,46289
Experimental	29	,2310	,37331

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificou-se que a média dos ganhos no grupo que recebeu a instrução metacognitiva ( $\mu = 0,2310$  e  $\sigma = 0,37331$ ) foi superior à média dos ganhos no grupo que não recebeu a instrução metacognitiva ( $\mu = 0,0608$  e  $\sigma = 0,46289$ ). Foi encontrado um resultado estatístico marginal ao nível de significância aceitável, cientificamente, com  $t(61) = 1,5876$  e  $p = 0,0588$ . No entanto, são necessárias garantias estatísticas para afirmar que estes ganhos apresentados nas amostras podem também ser verificados na população, aceitando a hipótese de que a instrução do agente proporciona uma melhora dos ganhos de índice metacognitivo. Como o valor de  $p$  está acima do nível de significância adotado neste trabalho, de 0,05, não há uma probabilidade estatística aceitável para rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese de pesquisa. Ou seja, com  $p = 0,0588$  há uma probabilidade de erro de 5,88% de a decisão de rejeitar a hipótese nula seja equivocada, no caso dos dados populacionais serem conhecidos. No entanto, deve-se considerar que com o valor de  $p$  encontrado, é provável que a instrução metacognitiva apresente ganhos caso os dados da população sejam conhecidos. Além disso, é possível verificar, claramente, no Gráfico 2, que ambos os grupos apresentaram ganhos metacognitivos entre o pré e o pós-teste, sendo que os ganhos no grupo experimental foram superiores. A Tabela 3 apresenta algumas informações sobre os ganhos metacognitivos nos dois grupos.

### 7.2.2 Ganhos de desempenho no domínio

Testes similares aos realizados na seção anterior, com testes  $t$  independentes e pareados, também foram realizados para encontrar benefícios da instrução metacognitiva no desempenho dos alunos no domínio de equações algébricas. Nestes testes, a variável

dependente é o desempenho do aluno no domínio (pontuação relativa ao desempenho nos passos de equação) e a variável independente representa as condições experimentais (controle e experimental). Foram encontrados valores extremos nas amostras de dados, porém, uma revisão não encontrou erros relativos à captação destes dados, e os mesmos não foram removidos das amostras.

Através de um teste  $t$  independente, não foi possível encontrar uma diferença significativa entre os desempenhos no pré-teste entre os grupos, com  $t(61) = 1,3117$  e  $p = 0,1945$ . No entanto, foi possível encontrar uma diferença estatisticamente significativa no desempenho no pós-teste entre os grupos, com a média do grupo de controle em 7,4412 e no grupo experimental em 8,6207 e o teste estatístico apresentando  $t(61) = 2,3274$  e  $p = 0,0116$ . Esta é uma evidência positiva relativa a uma melhora do desempenho no domínio quando os alunos recebem a instrução metacognitiva do agente. Os dados estatísticos relativos aos desempenhos no domínio são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Informações sobre o desempenho no domínio nos grupos de alunos

<b>Grupo</b>	<b>Teste</b>	<b>n</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Controle	Pré	34	5,5000	2,03381
Experimental	Pré	29	6,2069	2,24212
Controle	Pós	34	7,4412	2,20456
Experimental	Pós	29	8,6207	1,74056

Fonte: Elaborado pelo autor.

Um teste  $t$  pareado comparou o desempenho entre o pré e o pós-teste dentro de cada grupo. Foram encontradas diferenças significativas em ambos os grupos, com  $t(33) = 6,2029$  e  $p < 0,001$  para a diferença do pós-teste para o pré-teste no grupo de controle, e  $t(28) = 6,0552$  e  $p < 0,001$  para a diferença no grupo experimental.

Também foi aplicado um teste  $t$  independente que verificou a diferença dos ganhos de desempenho (diferença do desempenho no pós-teste com o desempenho no pré-teste) do grupo experimental ( $\mu = 2,4138$  e  $\sigma = 2,14671$ ) com os ganhos de desempenho do grupo de controle ( $\mu = 1,9412$  e  $\sigma = 1,82477$ ). A hipótese de pesquisa é que esta diferença é maior que zero. Com  $t(61) = 0,9447$  e  $p = 0,1743$ , não é possível concluir, com segurança estatística, que essa diferença de ganhos de desempenho seja encontrada na população. No entanto, com o valor de  $p$  encontrado, há uma probabilidade de erro de 17,43% de se aceitar a hipótese de

pesquisa quando ela é falsa. Desta forma, ainda é provável que a instrução metacognitiva do agente melhore o desempenho dos alunos no domínio.

### 7.2.3 Correlação do índice metacognitivo com o desempenho no domínio

Um dos objetivos específicos deste trabalho é verificar se ocorre uma associação positiva entre o índice metacognitivo (índice KMA) e o desempenho dos alunos no domínio (contagem de soluções corretas no domínio) quando os aprendizes recebem a instrução metacognitiva. Para isso, foi realizada uma análise de correlação entre algumas variáveis, utilizando o coeficiente de correlação de *Pearson*.

Tabela 5 – Correlação do índice metacognitivo com o desempenho no domínio

Amostras	Índice KMA no Pré-Teste X Desempenho no Domínio no Pré-Teste <i>r</i> (p)		Índice KMA no Pós-Teste X Desempenho no Domínio no Pós-Teste <i>r</i> (p)		Ganhos do Índice KMA X Ganhos de Desempenho no Domínio <i>r</i> (p)		Índice KMA no Pós-Teste X Pontuação Likert no Pós-Teste <i>r</i> (p)		Ganhos do Índice KMA X Pontuação Likert no Pós-Teste <i>r</i> (p)	
	Contr.	Exper.	Contr.	Exper.	Contr.	Exper.	Contr.	Exper.	Contr.	Exper.
Geral	,45**	,60**	,29 <sup>†</sup>	,92**	,13	,65**	,01	-,11	,06	,002
Escola 1	,72	,88**	,99**	,97**	-,22	,58	,61	-,42	,76	-,46
Escola 2	,48	,78*	,3	,82*	,22	,29	,14	-,03	-,21	,34
Escola 3	,67*	,71*	,27	1**	,54 <sup>†</sup>	,74**	-,06	-,02	,18	-,01
Escola 4	-,15	-,31	,38	1**	-,4	0	-,23	-,44	-,11	-,78

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verde = alta correlação; Laranja = correlação moderada; Vermelho = fraca correlação;

<sup>†</sup>p<0,1 (Estatisticamente marginal); \*p<0,05 (Significativo); \*\*p<0,01 (Muito significativo)

Para verificar a correlação entre o índice KMA e o desempenho do aprendiz no domínio, foi testada a correlação entre as seguintes variáveis, para os grupos de controle e experimental: a) índice KMA no pré-teste com o desempenho no domínio no pré-teste; b) índice KMA no pós-teste com o desempenho no domínio no pós-teste; c) ganhos do índice KMA com os ganhos do desempenho no domínio. A Tabela 5 apresenta os coeficientes de correlação (*r*) entre as variáveis. Os valores de *r* correspondem ao nível de relacionamento entre as variáveis, enquanto que o valor *p* é a probabilidade de o valor de *r* ocorrer quando a hipótese nula (não há associação entre as variáveis) for verdadeira, ou, em outras palavras, a

probabilidade de cometermos o erro de rejeitar a hipótese nula quando ela é verdadeira. (DANCEY; REIDY, 2013). Assim como no teste  $t$ , o valor de  $p$  deve ser menor que o nível de significância de 0,05 para que a correlação seja considerada estatisticamente significativa.

Valor de  $r$  igual a +1 indica relacionamento positivo perfeito entre as variáveis, enquanto que o valor 0 indica que não há nenhum relacionamento. O valor -1 indica associação negativa perfeita entre as variáveis. Valores altos de  $r$ , próximos de +1, indicam que valores altos em uma variável tendem a ser associados com valores altos na outra variável. Valores baixos de  $r$ , próximos de -1, indicam que valores altos de uma variável tendem a ser associados a valores baixos na outra variável. Valores de  $r$  próximos de 0 indicam que ambas as variáveis tendem a não ter um relacionamento linear. Para este trabalho, deseja-se encontrar um relacionamento positivo próximo de +1, ou seja, que o índice metacognitivo dos alunos que receberam a instrução do agente cresça junto com o desempenho no domínio dos mesmos alunos. Foi considerado um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ) para a rejeição da hipótese nula. Os testes de correlação foram todos realizados no *software StatDisk* versão 12.0.2.

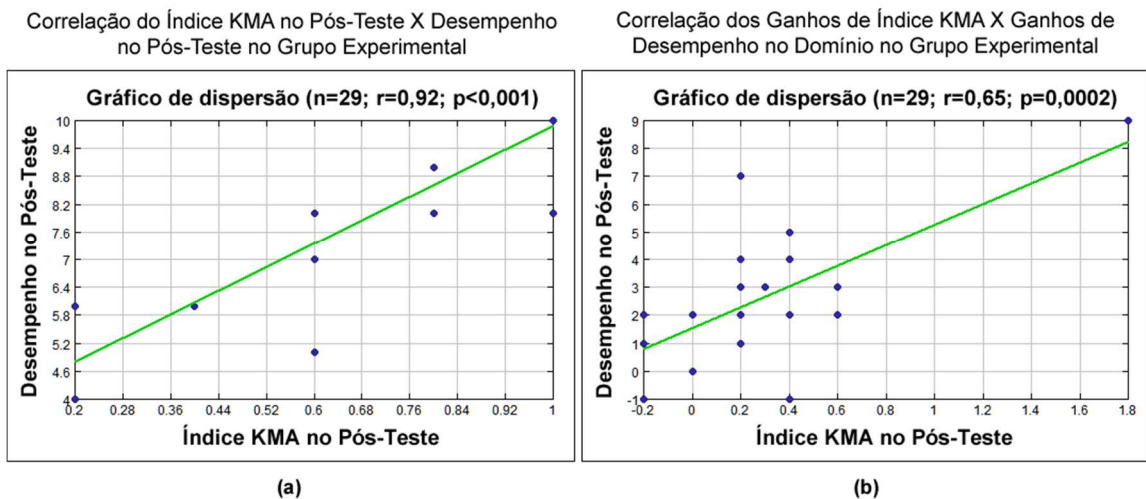
Na Tabela 5 é possível verificar que, no pré-teste, em geral, ocorreu uma associação positiva moderada entre o índice metacognitivo e o desempenho no domínio, tanto no grupo experimental, com  $r = +0,6$  e  $p = 0,0006$ , quanto no grupo de controle, com  $r = +0,45$  e  $p = 0,006$ . No entanto, considerando apenas o pós-teste, em geral, o grupo experimental obteve um alto nível de associação entre o nível metacognitivo e o desempenho no domínio, com  $r = +0,92$  e  $p < 0,001$ . Com este valor para  $r$ , temos  $r^2 = 0,85$ , de forma que 85% da variação do desempenho no domínio é explicada pela variação do índice metacognitivo. Além disso, mais especificamente, nas quatro escolas foi encontrada uma forte associação entre as variáveis, no grupo experimental, sendo que nas escolas 3 e 4 foi encontrada correlação positiva perfeita, ambas com  $r = +1$  e  $p < 0,001$ . Enquanto isso, em geral, o grupo de controle obteve um nível fraco de relacionamento positivo no pós-teste, com  $r = +0,29$  e  $p = 0,09$ . Uma baixa associação também foi encontrada em três escolas. Apenas uma das escolas do grupo de controle, no pós-teste, obteve um forte relacionamento entre as variáveis.

Na correlação entre as variáveis de ganhos de índice metacognitivo e ganhos de desempenho no domínio, foi possível encontrar uma correlação positiva moderada, próxima de alta, no grupo experimental, com  $r = +0,65$  e  $p = 0,0002$ , enquanto que no grupo de controle, em geral, foi encontrado um fraco relacionamento, com valor de  $r = +0,13$  e  $p = 0,45$ . O Gráfico 3 apresenta dois gráficos de dispersão (a e b) mostrando o bom

relacionamento positivo entre o índice KMA e o desempenho no domínio, para o grupo experimental, no pós-teste.

Faz-se necessário explicar que a análise de correlação apresenta somente uma análise estatística de correlação dos valores das amostras, mas não explica a causalidade das associações. Não é possível concluir, por exemplo, que o índice KMA foi a causa para um aumento do desempenho dos alunos no domínio, quando se identificou um forte relacionamento entre as duas variáveis. Outros fatores podem ter sido determinantes para o aumento do desempenho dos alunos.

Gráfico 3 - Correlação do índice KMA X desempenho no grupo experimental



Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível concluir que foram encontradas evidências estatísticas positivas relacionadas a um forte relacionamento positivo entre o índice metacognitivo e o desempenho dos alunos no domínio, no grupo de alunos que utilizou a instrução metacognitiva no STI. Além disso, foi encontrado um relacionamento fraco entre as variáveis no grupo de alunos que não recebeu a instrução metacognitiva do agente.

#### 7.2.4 Questionário de engajamento

Na sessão de pós-teste, os aprendizes de ambos os grupos responderam a um questionário que coletou uma avaliação dos alunos sobre o próprio engajamento durante as sessões de uso do sistema. O objetivo deste questionário foi verificar se as ações metacognitivas de monitoramento do conhecimento apareceriam na avaliação dos alunos sobre o próprio comportamento e se haveria diferença nesta avaliação, entre os grupos.

Tabela 6 – Resultados estatísticos do questionário de engajamento

Questão	Controle (n = 34)		Experimental (n = 29)		Teste <i>t</i> independente t(61)
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	
Questão 1	2,0000	,92113	2,7586	1,27210	2,7376 (p = ,004)
Questão 2	2,2941	1,14228	2,3448	1,14255	,1756 (p = ,4306)
Questão 3	2,7353	1,39933	2,5862	1,26822	-,4399 (p = ,6692)
Questão 4	3,1176	1,53277	2,9655	1,20957	-,4317 (p = ,6663)
Questão 5	2,8235	1,46620	2,7241	1,25062	-,2867 (p = ,6124)
Questão 6	2,1176	1,22511	2,3103	1,31213	,6023 (p = ,2746)

Fonte: Elaborado pelo autor.

As questões do questionário podem ser visualizadas no Quadro 15. As respostas foram organizadas em uma escala Likert de frequência de 5 pontos, e cada resposta recebeu uma pontuação com valor de 1 a 5. Os pontos foram atribuídos, respectivamente, às seguintes respostas: “nunca”, “raramente”, “algumas vezes”, “frequentemente” e “sempre”. O modelo do questionário de engajamento foi disponibilizado no Apêndice E. Os dados resultantes das respostas (pontuação Likert) no questionário foram disponibilizados no Apêndice F.

Para cada questão, em cada grupo, foram calculados o valor médio e o desvio padrão da pontuação sobre as respostas. Também foram realizados testes *t* independentes, comparando a média de pontuação de cada questão, entre os grupos, a fim de verificar se houveram diferenças nas pontuações entre os grupos. Pretende-se encontrar, para cada questão, como hipótese de pesquisa ( $H_1$ ), que a diferença da média da pontuação do grupo experimental com a média da pontuação do grupo de controle é maior que zero. São encontradas na literatura algumas controvérsias sobre a realização de operações matemáticas como multiplicação e divisão sobre números ordinais como os da escala Likert de 5 pontos. No entanto, é aceitável que sejam realizados testes estatísticos que comparam médias, como o teste *t*, sobre estes números, com o objetivo de encontrar diferenças entre eles. (SAURO; LEWIS, 2012). As informações estatísticas e os resultados dos testes são apresentados na Tabela 6, sendo que foram calculados com o *software StatDisk* versão 12.0.2.

É possível identificar, com  $t(61) = 2,7376$  e  $p = 0,004$ , que a primeira questão apresenta uma pontuação maior no grupo experimental do que no grupo de controle. Esta questão é sobre a frequência com que os alunos leram, com atenção, as mensagens do assistente pedagógico animado.

Nas questões 2 e 6, as médias de pontuação do grupo experimental também foram superiores para as amostras coletadas. Nestas questões, os alunos avaliaram a frequência que seguiam as orientações do agente pedagógico animado e a frequência que passavam um tempo procurando por uma equação similar antes de entrar com um novo passo. No entanto, as diferenças não foram estatisticamente significativas, com  $p = 0,4306$  na questão 2 e  $p = 0,2746$  na questão 6. Por outro lado, nas questões 3, 4 e 5, as médias da pontuação no grupo de controle foram superiores às médias do grupo experimental, mas também sem segurança estatística, com  $p = 0,6692$  na questão 3,  $p = 0,6663$  na questão 4 e  $p = 0,6124$  na questão 5. Estes últimos valores de  $p$  também não são significativos para aceitar uma hipótese de que essas pontuações são realmente superiores para os alunos que não recebem a instrução metacognitiva.

Quadro 15 – Questões do questionário de engajamento

Número	Pergunta
1	Durante o uso do PAT2Math, eu lia com bastante atenção as mensagens exibidas pela assistente Pat.
2	Durante o uso do PAT2Math, eu seguia as orientações da assistente Pat.
3	Durante o uso do PAT2Math, antes de dar um novo passo para uma equação, eu ficava um tempo pensando se tinha conhecimento para dar um novo passo correto.
4	Durante o uso do PAT2Math, antes de dar um novo passo para uma equação, eu ficava um tempo identificando as partes da equação e as operações envolvidas.
5	Durante o uso do PAT2Math, antes de dar um novo passo para uma equação, eu ficava um tempo pensando se já havia resolvido uma equação parecida, para verificar se eu teria conhecimento para dar um novo passo correto.
6	Durante o uso do PAT2Math, antes de dar um novo passo para uma equação, eu procurava uma equação parecida que já havia resolvido, para verificar se eu teria conhecimento para dar um novo passo correto.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foi testada a correlação existente entre os índices metacognitivos das amostras e as pontuações do questionário, com os resultados apresentados na Tabela 5. Não

foi encontrada boa correlação positiva e/ou estatisticamente significativa dos índices metacognitivos no pós-teste e dos ganhos metacognitivos em relação às pontuações do questionário, tanto no grupo de controle quanto no grupo experimental.

Com isso, uma análise das avaliações que os alunos realizaram sobre o próprio comportamento durante o uso do sistema não indicaram, claramente, que os aprendizes que utilizaram o PAT2Math com o treinamento metacognitivo tenham relatado o mesmo comportamento incitado pela instrução com mais frequência que o grupo de controle.

### **7.3 Discussão sobre os resultados**

O objetivo geral deste trabalho é verificar se a instrução metacognitiva individualizada e explícita em um Sistema Tutor Inteligente melhora o índice metacognitivo (índice KMA) da habilidade do aluno de monitorar o seu conhecimento. Além disso, a avaliação pretende verificar se a instrução metacognitiva em um STI melhora o desempenho dos alunos no domínio. Também pretende verificar se é encontrada uma correlação entre o índice metacognitivo e o desempenho dos aprendizes no domínio, após o treinamento metacognitivo. Esta correlação pode ser uma evidência de que o desempenho do aluno no domínio acompanhe o desempenho da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento, quando os alunos recebem a instrução do agente metacognitivo. Porém, é apenas uma possibilidade, pois a análise de correlação não indica causalidade, ou seja, que uma melhora do índice metacognitivo leva a uma melhora do desempenho no domínio, ou vice-versa. Ela indica que um pode acompanhar o outro, mas não que um foi causa para o outro.

Em relação ao objetivo principal deste trabalho, foram encontradas evidências positivas relativas ao benefício da instrução metacognitiva do agente para uma melhora da habilidade de monitoramento do conhecimento dos alunos. Um dos testes realizados comparou os ganhos de índice metacognitivo (diferença da média do índice KMA no pós-teste com a média do índice KMA no pré-teste) entre os grupos. Foi encontrado um valor médio de índice KMA superior no grupo experimental, com valor de  $p$  marginalmente aceito, cientificamente. Com uma probabilidade de erro marginal de 5,88%, a um nível de significância de 5%, este teste não apresentou um resultado forte como o esperado. No entanto, outros testes corroboram com a hipótese de pesquisa. O teste que comparou o índice metacognitivo entre os grupos apenas no pós-teste encontrou um valor superior para o grupo experimental, com probabilidade de erro cientificamente aceitável ( $p < 0,05$ ). Considerando que não foram encontradas diferenças significativas de índice metacognitivo entre os grupos



no início da avaliação (pré-teste), possivelmente em função da distribuição aleatória na formação dos grupos, o teste que comparou o índice metacognitivo entre os grupos apenas no pós-teste é uma evidência positiva que corrobora com a hipótese de pesquisa deste trabalho. Outro teste que corrobora com a hipótese de pesquisa comparou o índice metacognitivo entre o pré e o pós-teste dentro de cada grupo. Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas no grupo de controle, com  $p > 0,05$ . No grupo experimental, no entanto, foram encontradas diferenças significativas entre o pré e o pós-teste, com  $p < 0,05$ .

As evidências descritas no parágrafo anterior indicam que a instrução do agente metacognitivo provavelmente melhora a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento dos alunos e corroboram com a hipótese de pesquisa deste trabalho. O único teste que não apresentou um resultado sólido como o esperado comparou os ganhos de índices metacognitivo entre os grupos. Neste teste, foi encontrado um resultando marginalmente aceito. É possível que o resultado para este teste pudesse ser melhor caso a quantidade de sessões na avaliação fosse maior. Em cada escola, foram realizadas entre três e quatro sessões de experimento, e só não foram realizadas mais sessões de uso do *software* pelo fato de algumas escolas não terem disponibilizado uma quantidade maior de horas para a realização das sessões. Um dos princípios fundamentais para o sucesso da instrução metacognitiva é que o treinamento metacognitivo deve ser prolongado. (VEENMAN; HOUT-WOLTERS; AFFLERBACH, 2006).

Em relação à melhora de desempenho no domínio, foram encontradas algumas evidências positivas relativas a uma melhora do desempenho dos alunos no domínio quando estes recebem a instrução metacognitiva do agente. Um dos testes indicou que o grupo experimental obteve um ganho de desempenho (diferença do desempenho no pós-teste com o desempenho no pré-teste) maior do que o grupo de controle. No entanto, o teste sobre os ganhos não apresentou um resultado forte como o esperado, a um nível de significância de 5%. Com  $p = 0,1743$ , é provável que o ganho de desempenho dos alunos que recebem a instrução do agente também possa ser encontrado na população, mas com  $p > 0,05$ , não é possível confirmar este benefício com segurança estatística. Outro teste encontrou diferenças significativas do desempenho no domínio para o grupo experimental no pós-teste, quando comparado ao desempenho do grupo que não recebeu a instrução do agente, também no pós-teste. Estas evidências corroboram com a hipótese de que os alunos que recebem a instrução metacognitiva melhoram o desempenho no domínio.

O questionário de engajamento, que utilizou escala Likert de frequência para coletar uma avaliação dos alunos sobre o próprio engajamento no uso do sistema, não apresentou

resultados estatísticos significativos, tanto a favor dos objetivos do agente metacognitivo, quanto contra. No entanto, o único teste estatístico que apresentou garantias estatísticas aceitas, cientificamente, a um nível de confiança de 5%, foi aquele relacionado à primeira questão. Esta questão é sobre a frequência com que os alunos leram, com atenção, as mensagens do assistente pedagógico animado. Esse resultado pode ser uma evidência positiva indicando que os alunos do grupo experimental podem ter sido menos reativos na resolução de tarefas, passando um tempo maior prestando atenção nas orientações do agente metacognitivo. Importante lembrar que os alunos do grupo de controle também receberam mensagens do assistente pedagógico animado, em substituição às mensagens de instrução metacognitiva do grupo experimental, porém com conteúdos genéricos sobre o domínio e não relacionados à reflexão metacognitiva. Além disso, diferentemente do que ocorre com as mensagens do agente pedagógico animado no grupo experimental, as mensagens genéricas apresentadas no grupo de controle não são adaptadas ao aluno, tanto em relação à frequência com que aparecem quanto ao conteúdo das mesmas. Sabendo disso, é possível, mas não se pode afirmar, que a diferente abordagem do agente pedagógico animado no grupo experimental, tanto em relação ao conteúdo das mensagens quanto à adaptação das mesmas ao aluno, pode ter contribuído para a maior pontuação do grupo experimental na primeira questão do questionário de engajamento. Essa pode ser uma evidência de que os alunos que recebem as ações instrucionais metacognitivas do agente proposto são menos reativos na utilização do sistema.

Por fim, foi encontrada uma ótima associação entre o índice KMA e o desempenho no domínio, no grupo experimental. Foi encontrada uma alta associação entre o índice KMA e o desempenho no domínio, em geral, com um relacionamento de +0,92 entre as variáveis. Em duas escolas, o relacionamento entre as variáveis foi de +1, ou seja, uma relação perfeita. O mesmo nível de relacionamento não foi encontrado no grupo de controle, o que permitiu aceitar a hipótese de que a instrução do agente, sob as condições empregadas na avaliação, leva a uma boa associação entre o índice metacognitivo e o desempenho no domínio. A análise de correlação não infere causalidade, ou seja, não permite concluir que uma variável ocasiona a outra, mas indica o nível de relacionamento quando estas variáveis são observadas nas condições da avaliação. Estas evidências corroboram com resultados encontrados por Tobias e Everson (2002) que indicam que alunos com bons índices KMA também apresentam melhor desempenho no domínio.

## 8 CONCLUSÕES

Identificar com precisão o que se sabe e o que não se sabe sobre determinado domínio de conhecimento é ingrediente fundamental para o sucesso escolar. Esta habilidade, chamada de monitoramento do conhecimento, é fundamental para o desenvolvimento de outras habilidades metacognitivas. (TOBIAS; EVERSON, 2002).

O presente trabalho propôs um modelo de agente pedagógico metacognitivo para treinar a habilidade do aluno de monitorar o seu conhecimento, em Sistemas Tutores Inteligentes. O modelo visa incitar o aluno a refletir sobre o seu conhecimento, com o objetivo de melhorar a sua precisão em identificar o que sabe e o que não sabe sobre determinado domínio. Além de explicitar ao aluno a importância do emprego da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento, a instrução é adaptada de acordo com o conhecimento do aluno, o seu histórico de resolução de tarefas e o seu nível metacognitivo corrente. O agente busca melhorar o comportamento do aluno de monitorar o seu conhecimento, fazendo-o: a) ter uma atitude menos reativa, refletindo sobre seu conhecimento antes de tentar resolver uma tarefa; b) refletir sobre o conhecimento já demonstrado; c) refletir sobre tarefas similares resolvidas anteriormente.

O agente pode ser integrado a Sistemas Tutores Inteligentes baseados em passos (*step-based*) que forneçam o conhecimento do aluno no domínio, seu histórico de resolução de tarefas e as unidades de conhecimento possíveis de serem empregadas em um próximo passo.

Os trabalhos relacionados, descritos no capítulo 4, treinam habilidades metacognitivas, porém, apresentam, no mínimo, alguma das seguintes lacunas: a) não explicitar, durante a instrução, a importância da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento para o aprendizado do aluno; b) não incitar o aluno, de forma explícita, a monitorar o seu conhecimento; c) não avaliar a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento.

O agente metacognitivo proposto no presente trabalho difere-se dos demais estudos relacionados por ser o único agente que treina especificamente a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento em STIs. Também é o único sistema que adapta a quantidade de intervenções do agente e o conteúdo da instrução metacognitiva relacionada a habilidade do aluno de monitorar o conhecimento, considerando o conhecimento do aprendiz no domínio, seu nível metacognitivo e seu histórico de resolução de tarefas.

Uma avaliação experimental com 63 alunos de 7º e 8º Anos do Ensino Fundamental encontrou evidências positivas relacionadas aos benefícios da instrução fornecida pelo agente

para a melhora da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento, corroborando com a principal hipótese deste estudo. Um dos testes comparou os ganhos metacognitivos (diferença do nível metacognitivo no pós-teste com o nível metacognitivo no pré-teste) entre os grupos. O teste encontrou uma probabilidade de erro de 0,588, um valor marginal ao nível de significância de 0,05. Com esse resultado, há uma probabilidade de 5,88% de se cometer o erro de aceitar a hipótese de pesquisa quando a hipótese nula é verdadeira. Sendo assim, é maior a probabilidade de que a instrução metacognitiva do agente melhore a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento dos alunos. Outros dois testes apresentaram evidências significativas, estatisticamente, sobre os benefícios da instrução do agente, indicando melhora do índice metacognitivo no grupo experimental e que esse resultado poderia ser encontrado na população. Um destes testes comparou os índices metacognitivos entre o grupo de controle (sem a instrução metacognitiva) e o grupo experimental (com a instrução metacognitiva) apenas no pós-teste. O outro teste comparou os índices metacognitivos entre o pré e o pós-teste dentro de cada grupo.

Em relação ao desempenho dos alunos no domínio, foram encontradas algumas evidências positivas de que os alunos que recebem a instrução do agente metacognitivo melhoram o desempenho no domínio. O teste que comparou os ganhos de desempenho (diferença do desempenho no pós-teste com o desempenho no pré-teste) não apresentou resultados tão sólidos quanto os esperados. Apesar dos ganhos de desempenho do grupo experimental terem sido superiores aos ganhos do grupo de controle, o teste estatístico não apresentou diferenças significativas. Com uma probabilidade de erro de 17,43%, é provável que a instrução do agente melhore o desempenho dos alunos no domínio, mas é um valor superior ao nível de significância de 5%. O teste que comparou o desempenho apenas no pós-teste entre os grupos apresentou uma diferença significativa para o grupo experimental. Estas evidências são positivas e indicam um provável benefício do agente metacognitivo na melhora do desempenho no domínio dos alunos.

Sobre os resultados do questionário de engajamento, com respostas em escala Likert, não foram encontradas evidências claras em favor dos benefícios da instrução do agente metacognitivo. No entanto, a pontuação dos alunos do grupo experimental na primeira questão foi superior à pontuação do grupo de controle, com significância estatística. A questão é relativa à frequência com que os alunos prestavam atenção às explicações do agente metacognitivo. Esta pode ser uma evidência positiva indicando que os alunos do grupo experimental foram menos reativos do que os alunos do grupo de controle.

Foram encontrados resultados significativos relativos à correlação do índice KMA e o desempenho no domínio. Uma alta correlação do índice metacognitivo com o desempenho dos alunos no domínio foi encontrada apenas no grupo experimental. O grupo de controle apresentou uma fraca correlação. A correlação entre a habilidade metacognitiva do monitoramento do conhecimento e o desempenho no domínio já havia sido encontrada em ambientes convencionais de aprendizagem (TOBIAS; EVERSON, 2002), porém, ainda não em STIs. No entanto, não é possível afirmar através de uma análise de correlação que o bom índice metacognitivo seja a causa para um bom desempenho no domínio, ou vice-versa. Pode-se afirmar apenas que estas duas variáveis cresceram juntas quando os alunos receberam a instrução do agente metacognitivo. É uma evidência positiva indicando que a instrução metacognitiva do agente pode levar a uma correlação de causalidade entre a habilidade metacognitiva e o desempenho no domínio, embora isso não possa ser confirmado através de um teste de correlação.

Os testes estatísticos apresentaram evidências positivas sobre a instrução do agente metacognitivo. É possível que os resultados fossem ainda melhores se fosse realizada uma quantidade maior de sessões de instrução metacognitiva durante a avaliação. Foram realizadas entre três e quatro sessões de experimento em cada escola. Esta quantidade de sessões pode não ter sido satisfatória para encontrar resultados ainda melhores, principalmente em relação aos testes sobre ganhos metacognitivos e ganhos de desempenho no domínio e o questionário de engajamento, que não apresentaram resultados tão sólidos quanto os esperados. Não foram realizadas mais sessões de uso do *software*, na avaliação, pelo fato de algumas escolas não terem disponibilizado uma quantidade maior de horas para a realização das sessões. Segundo Veenman, Hout-Wolters e Afflerbach (2006), um dos princípios fundamentais para o sucesso da instrução metacognitiva é que o treinamento metacognitivo deve ser prolongado.

Como trabalhos futuros, pretende-se estudar as possibilidades de pesquisa e a relevância de um aperfeiçoamento do mecanismo de inferência da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento. O trabalho presente utilizou o instrumento KMA, definido por Tobias e Everson (2002), que infere o nível metacognitivo do aluno utilizando a estimativa do aprendiz sobre seu conhecimento para resolver uma tarefa e o seu desempenho sobre a mesma tarefa. Este instrumento não considera, por exemplo, um viés cognitivo conhecido como excesso de confiança (*overconfidence*), em que a confiança de uma pessoa em seus julgamentos excede a precisão destes julgamentos. Durante as sessões de uso do *software* na avaliação, o experimentador observou que alguns alunos aparentavam estarem com excesso de confiança em seus julgamentos. Este viés não é considerado na avaliação

metacognitiva do instrumento KMA. Pode-se avaliar que este viés poderia prejudicar a precisão da inferência do nível metacognitivo do aluno.

## REFERÊNCIAS

- ALEVEN, V. A.W. M. M.; KOEDINGER, K. R.. An effective metacognitive strategy: learning by doing and explaining with a computer-based Cognitive Tutor. **Cognitive Science**, New Jersey, v. 26, n. 2, p. 147-179, 2002.
- ALEVEN, V.; KOEDINGER, K. R.. Limitations of Student Control: Do Students Know when They Need Help? In: International Conference on Intelligent Tutoring Systems, 5, 2000, Montréal, Canada. **Proceedings...** New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, p. 292–303, 2000.
- ALEVEN, V.; MCLAREN, B.; KOEDINGER, K.; ROOL, I.. Toward Meta-Cognitive Tutoring: A Model of Help-Seeking with a Cognitive Tutor. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, New York, vol. 16, p. 101-130, 2006.
- ANDERSON, J. R. Acquisition of Cognitive Skill. **Psychological Review**, Washington, v. 89, n. 4, p. 369-406, 1982.
- ANDERSON, J. R.; BOYLE, C. F.; CORBETT, A. T.; LEWIS, M. W.. Cognitive Modeling and Intelligent Tutoring. In: CLANCEY, W. J.; SOLOWAY, E.. (Ed.). **Artificial Intelligence and Learning Environments**. Scituate, MA, USA: Bradford Company, v. 42, n. 1, p. 7-49, 1990.
- ANDERSON, J. R.; CORBETT, A.; FINCHAM, J.; HOFFMAN, D.; PELLETIER, R.. General principles for an intelligent tutoring architecture. In: REGIAN, J. Wesley; SHUTE, Valerie J. (Ed.). **Cognitive approaches to automated instruction**, Mahwah, NJ: Routledge, p. 81-106, 1995.
- AZEVEDO, R., HADWIN, A. F.. Scaffolding Self-regulated Learning and Metacognition – Implications for the Design of Computer-based Scaffolds. **Instructional Science**. Dordrecht, Netherlands, v. 33, n. 5-6, p. 367-379, 2005.
- AZEVEDO, R.; ALEVEN, V.. **International Handbook of Metacognition and Learning Technologies**. Pittsburgh, PA, USA: Springer, 2013a.
- AZEVEDO, R.; FEYZI-BEHNAGH, R. F.; DUFFY, M.; HARLEY, J. M.; TREVORS, G.. Metacognition and self-regulated learning in student-centered learning environments. In: JONASSEN, D.; LAND, S. (Eds.), **Theoretical foundations of student-center learning environments**, New York: Routledge, n. 2, pp. 171–197, 2012.
- AZEVEDO, R.; HARLEY, J.; TREVORS, G.; DUFFY, M.; FEYZI-BEHNAGH, R.; BOUCHET, F.; LANDIS, R.. Using Trace Data to Examine the Complex Roles of Cognitive, Metacognitive, and Emotional Self-Regulatory Processes During Learning with Multi-agent Systems. In: AZEVEDO, R.; ALEVEN, V. (Eds.). **International Handbook of Metacognition and Learning Technologies**. New York: Springer, cap. 28, p. 427-449, 2013b.

- AZEVEDO, R.; WHITERSPOON, A.; CHAUNCEY, A.; BURKETT, C.; FIKE, A.. MetaTutor: A MetaCognitive Tool for Enhancing Self-Regulated Learning. **Annual Meeting of the American Association for Artificial Intelligence, Symposium on Metacognitive and Cognitive Educational Systems**, p. 4–19, 2009.
- BAKER, R. D.; CORBETT, A.; KOEDINGER, K. R.; EVENSON, S.; ROLL, I.; WAGNER, A. Z.; MEGHAN, N.; RASPAT, J.; BAKER, D. J.; BECK, J. E. Adapting to when students game an intelligent tutoring system. In: International Conference on Intelligent Tutoring Systems, 8, 2006, Jhongli, Taiwan. **Proceedings...**, p. 392–401, Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- BANNERT, M.. Effects of reflection prompts when learning with hypermedia. **Journal of Educational Computing Research**. Los Angeles: SAGE, n. 4, p. 359–375, 2006.
- BERARDI-COLLETA, B.; BUYER, L.S.; DOMINOWSKI, R.L.; RELLINGER, E.R.. Metacognition and problem solving: A process-oriented approach. **Journal of Experimental Psychology**, v. 21, n.1, p. 205-223, 1995.
- BIELACZYK, K.; PIROLLI, P. L.; BROWN, A. L.. Training in Self-Explanation Strategies: Self-Regulation the Effects of Investigating Knowledge Acquisition Activities on Problem Solving. **Cognition and Instruction**, New York, v. 13, n. 2, p. 221-252, 1995.
- BLACKWOOD, T.. Business undergraduates' knowledge monitoring accuracy: how much do they know about how much they know? **Teaching in Higher Education**, New York, v. 18, n. 1, p. 65-77, 2013.
- BLOOM, B. S.. The 2 sigma problem: the search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. **Educational Researcher**, New Orleans, LA: American Educational Research Association, v. 13, n. 6, p. 4-16, 1984.
- BOCCA, E. W.. **Modelagem e Implementação da Interface para Apresentação de Comportamentos Animados e Emotivos de um Agente Pedagógico Animado**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre, 2003.
- BOUD, D.; FALCHIKOV, N.. Quantitative Studies of Student Self-Assessment in Higher Education: a Critical Analysis of Findings. **Higher Education**, New York, v. 18, n. 5, p. 529-549, 1989. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/BF00138746>>. Acesso em: 11 out. 2014.
- BRANSFORD, J. D.; BROWN, A. L.; COCKING, R. R.. **How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School**. Washington: National Academy Press, 1999.
- BROWN, A. L.. **Knowing When, Where, and How to Remember: A Problem of Metacognition. Technical Report n. 47**. Washington: National Institute of Education, 1977.
- BURNS, H. L.; CAPPS, C. G.. Foundations of Intelligent Tutoring Systems: an introduction. In: RICHARDSON, J. Jeffrey; POLSON, Martha C.; (Ed.). **Foundations of Intelligent Tutoring Systems**, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, p. 1–14, 1988.
- CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J. C.; GAGE, N. L.. **Experimental and quasi-experimental designs for research**. Boston: Houghton Mifflin, 1963.



CHI, M. T. H.; BASSOK, M.; LEWIS, M. W.; REIMANN, P.; GLASER, R.. Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems. **Cognitive Science**, Austin, TX, v. 182, p. 145-182, 1989.

CHI, M. T. H.; LEEUW, N. de; CHIU, M.; LAVANCHER, C.. Eliciting Self-Explanations Improves Understanding. **Cognitive Science**, Austin, TX, v. 18, n. 3, p. 439–477, 1994.

CONATI, C.; VANLEHN, K.. Toward computer-based support of meta-cognitive skills: A computational framework to coach self-explanation. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, Amsterdam, The Netherlands, v. 11, n. 1, p. 389-415, 2000.

CORBETT, A.; ANDERSON, J. R.. Knowledge tracing: modeling the acquisition of procedural knowledge. **User modeling and user-adapted interaction**, The Netherlands, v. 4, n. 4, p. 253-278, 1995.

DANCEY, C. P.; REIDY, J.. **Estatística sem matemática para Psicologia**. 5ª ed., Porto Alegre: Penso, 2013.

DAVIS, E. A.. Prompting Middle School Science Students for Productive Reflection: Generic and Directed Prompts. **Journal of the Learning Sciences**, Mahwah, NJ, v. 12, n. 1, p. 91-142, 2003.

DESOETE, A.. The Enigma of Mathematical Learning Disabilities: Metacognition or STICORDI, That's the Question. In: HACKER, D. J.; DUNLOSKY, J.; GRAESSER, A. C. (Eds.). **Handbook of Metacognition in Education**. New York, NY: Routledge, cap. 7, p. 107-127, 2009.

DESOETE, A.; ROEYERS, H.; DE CLERCQ, A.. Can Offline Metacognition Enhance Mathematical Problem Solving? **Journal of Educational Psychology**, Washington, v. 95, n. 1, p. 188-200, 2003.

DUNLOSKY, J.; METCALFE, J.. **Metacognition**. Los Angeles: SAGE, 2009.

FERGUSON-HESSLER, M. G. M.; JONG, T.. Studying Physics Texts: Differences in Study Process Between Good and Poor Performers. **Cognition and Instruction**, Mahwah, NJ, v. 7, n. 1, p. 41-54, 1990.

FLAVELL, J. H.; MILLER, P. H.; MILLER, S. A.. **Desenvolvimento Cognitivo**. Porto Alegre: Artmed, 1999.

FLAVELL, J.. Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. **American Psychologist**, New York, v. 34, n. 10, p. 906–911, 1979. Disponível em: <<https://saltworks.stanford.edu/assets/mg885pk5612.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2014.

FOGARTY, R. J.. **How to Teach for Metacognitive Reflection**. Glenview: Pearson, 1994.

GAMA, C. A.. **Integrating Metacognition Instruction in Interactive Learning Environments**. 2004. 246 f. Thesis (PhD) -- University of Sussex, Brighton, UK, 2004. Disponível em: <[http://homes.dcc.ufba.br/~claudiag/thesis/Thesis\\_Gama.pdf](http://homes.dcc.ufba.br/~claudiag/thesis/Thesis_Gama.pdf)>. Acesso em: 7 out. 2014.

- GIRAFFA, L. M. M.. **Uma arquitetura de tutor utilizando estados mentais**. 1999.177 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) -- Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 1999. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17620> >. Acesso em: 14 nov. 2014.
- GOODMAN, B.; SOLLER, A.; LINTON, F.; GAIMARI, R.. Encouraging student reflection and articulation using a learning companion. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**. Amsterdam, The Netherlands: IOS Press, p. 151–158, 1997.
- HARTMAN, H. J.. Metacognition in teaching and learning: An introduction. **Instructional Science**, Netherlands, v. 26, n. 1-2, p. 1-3, 1998.
- HARTMANN, H. J.. Teaching Metacognitively. In: HARTMANN, Hope J. (Ed.). **Metacognition in Learning and Instruction: Theory, Research, and Practice**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, cap. 8, p. 149 -169, 2001.
- HUCK, S. W.; MCLEAN, R. A.. Using a repeated measures ANOVA to analyze the data from a pretest-posttest design: A potentially confusing task. **Psychological Bulletin**. Washington, American Psychological Association, v. 82, n. 4, p. 511-518, 1975.
- JAQUES, P. A.; NUNES, M. A. S. N. Ambientes Inteligentes de Aprendizagem que inferem, expressam e possuem emoções e personalidade. In: JORNADA DE ATUALIZAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (JAIE), 2012, Natal, Brasil. **Anais...** Porto Alegre: SBC, p. 31-82, 2012.
- JAQUES, P. A.; SEFFRIN, H.; RUBI, G.; MORAIS, F. de; GHILARDI, C.; BITTENCOURT, I. I.; ISOTANI, S.. Rule-based expert systems to support step-by-step guidance in algebraic problem solving: the case of the tutor PAT2math. **Expert Systems with Applications**, Dordrecht, The Netherlands, v. 40, n. 14, p. 5456–5465, 2013.
- JENNINGS, N.; SYCARA, K.; WOOLDRIDGE, M.. A Roadmap of agent research and development. **Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**, v.1, p. 275-306, 1998.
- JUSTI, R.. La enseñanza de ciencias basada em la elaboración de modelos. **Enseñanza de las Ciências**, v. 24, n.2, p. 173-184, 2006.
- KOLENCHIK, P. L.; HILLWIG, S. A.. **Encouraging Metacognition: Supporting learners through metacognitive teaching strategies**. New York: Peter Lang Publishing, 2011.
- KOEDINGER, K. R.; ALEVEN, V. Exploring the Assistance Dilemma in Experiments with Cognitive Tutors. **Educational Psychology Review**, v. 19, n. 3, p. 239–264, 2007.
- KRAMARSKI, B.; MEVARECH, Z. R.; ARAMI, M.. The effects of Metacognitive Instruction on Solving Mathematical Authentic Tasks. **Educational Studies in Mathematics**, Netherlands, v. 49, p. 225-250, 2002.
- KRAMARSKI, B.; MICHALSKY, T.. Student and Teacher Perspectives on IMPROVE Self-Regulation Prompts in Web-Based Learning. In: AZEVEDO, Roger; ALEVEN, Vincent (Ed.). **International Handbook of Metacognition and Learning Technologies**. New York: Springer, cap. 3, p. 35-51, 2013.

LESTER, J. C.; CONVERSE, S. A.; KAHLER, S. E.; BARLOW, S. T.; STONE, B. A.; BHOGAL, R. S. **The persona effect: Affective impact of animated pedagogical agents.** SIGCHI conference on Human factors in computing systems. Atlanta: 1997.

LHYLE, K. G.; KULHAVY, R. W.. Feedback processing and error correction. **Journal of Educational Psychology**, Washington, v. 79, n. 3, p. 320-322, 1987.

LIN, X.. Designing Metacognitive Activities. **Educational Technology Research and Development**, Netherlands, v. 49, n. 2, p. 23-40, 2001.

MA, W.; ADESOPE, O. O.; NESBIT, J. C.; LIU, Q.. Intelligent Tutoring Systems and Learning Outcomes: A Meta-Analysis. **Journal of Educational Psychology**, Washington, v. 106, n. 4, p. 901-918, 2014.

MAYER, R. E.. **Applying the Science of Learning.** Boston, MA: Pearson Education, 2011.

MCCALLA, G. I.. The search for adaptability, flexibility, and individualization: Approaches to curriculum in intelligent tutoring systems. In: JONES, Marlene; WINNE, Philip H.. **Adaptive Learning Environments.** New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, v.85, p. 91-121, 1992.

NELSON, T. O.; NARENS, L.. Metamemory: A Theoretical Framework and New Findings. In: BOWER, Gordon H. (Ed.). **The Psychology of Learning and Motivation.** New York, NY: Academic Press, v. 26, cap. 4, p. 125-173, 1990.

PIMENTEL, E. P.; OMAR, N.; FRANÇA, V. F. de. Um modelo para Incorporação de Automonitoramento da Aprendizagem em STI. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 62-70, 2005.

PINTRICH, P. R.; WOLTERS, C. A.; BAXTER, G. P.. Assessing Metacognition and Self-Regulated Learning. In: SCHRAW, Gregory; IMPARA, James C.. **Issues in the measurement of metacognition.** Lincoln, NE: Buros Institute of Mental Measurements, p. 43-97, 2000.

POLYA, G.. **How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method.** Garden City, New York: Princeton University Press, 1957.

PSOTKA, J.; MASSEY, L. D.; MUTTER, S. A.. Introduction. In: PSOTKA, J.; MASSEY, L. D.; MUTTER, S. A.. **Intelligent Tutoring Systems: Lessons Learned.** Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, cap. 1, p. 1-14, 1988.

PUNTAMBEKAR, S.; BOULAY, B. D.. Design and Development of MIST – A System do Help Students Develop Metacognition. **J. Educational Computing Research**, Atlanta, USA: Edutech Institute, v. 16, n. 1, p. 1-35, 1997.

RAMANDALAHY, T.; VIDAL, P.; BROISIN, J.. An intelligent tutoring system supporting metacognition and sharing learners' experiences. In: ALEVEN, V.; KAY, J.; MOSTOW, J. (Ed). **Lecture Notes in Computer Science (including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, p. 402–404, 2010.

REISER, B. J.. Why scaffolding should sometimes make tasks more difficult for learners. In: CONFERENCE ON COMPUTER SUPPORT FOR COLABORATIVE LEARNING, 2002, Boulder, Colorado. **Proceedings...** International Society of the Learning Sciences, p. 255-264, 2002.

RICKEL, J. W.. Intelligent computer-aided instruction: a survey organized around system components. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, San Diego, California, v. 19, n. 1, p. 40–57, 1989.

RICKEL, J.; JOHNSON, L.. Steve: A Pedagogical Agent for Virtual Reality. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS, 1998, Minneapolis. **Proceedings...** New York: ACM Press, p. 165-172, 1998.

RICKEL, J.; JOHNSON, L.. Animated Agents for Procedural Training in Virtual Reality. **Applied Artificial Intelligence**, United Kingdom, v. 13, p. 343-382, 1999.

RIDLEY, D. S.; SCHUTZ, P. A.; GLANZ, R. S.; WEINSTEIN, C. E.. Self-regulated learning: the interactive influence of metacognitive awareness and goal-setting. **The Journal of Experimental Education**, Mawah, NJ, v. 60, n. 4, p. 293-306, 1992.

ROLL, I.; ALEVEN, V.; MCLAREN, B. M.; KOEDINGER, K. R.. Improving students' help-seeking skills using metacognitive feedback in an intelligent tutoring system. **Learning and Instruction**, New York, v. 21, p. 267–280, 2011.

RUSSEL, S.; NORVIG, P.. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

RUTZ, F.; THOLANDER, J.; KARLGREN, K.. Trusting the tutor: design aspects and trust issues in a prototypical pedagogical assistant. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN EDUCATION, Chiba, Japan, 1999. **Proceedings...** IOS Press, 1999.

SANSONNET, J. P.; CORREA, D. W.; JAQUES, P.; BRAFFORT, A.; VERRECCHIA, C.. Developing web fully-integrated conversational assistant agents. In: ACM Research in Applied Computation Symposium, 12, 2012, San Antonio, Texas, USA. **Proceedings...** New York, USA: ACM Press, 2012.

SAURO, J.; LEWIS, J. R.. **Quantifying the User Experience: Practical Statistics for User Research**. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2012.

SCHOENFELD, A. H.. What's all the Fuss About Metacognition? In: SCHOENFELD, A. H. (Ed.). **Cognitive Science and Mathematics Education**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, cap. 8, p. 189-215, 1987.

SCHRAW, G.. Measures of feeling-of-knowing accuracy: A new look at an old problem. **Applied Cognitive Psychology**, Hoboken, NJ, v. 9, p. 321-332, 1995.

SEFFRIN, H.. **Avaliando o Conhecimento Algébrico do Estudante através de Redes Bayesianas Dinâmicas: Um Estudo de Caso com o Sistema Tutor Inteligente PAT2Math**. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

- SEFFRIN, H.; RUBI, G.; CARLOTTO, T.; MELLO, G.; JAQUES, P. A.. Um resolvidor de equações algébricas como ferramenta de apoio à sala de aula no ensino de equações algébricas. In: XV WORKSHOP SOBRE INFORMÁTICA NA ESCOLA, 2009, Bento Gonçalves. **Anais...** Sociedade Brasileira de Computação, p. 1791–1800, 2009.
- SEFFRIN, H.; RUBI, G.; GHILARDI, C.; MORAIS, F. de; JAQUES, P.; ISOTANI, S.; BITTENCOURT, I. I.. Dicas inteligentes no sistema tutor inteligente PAT2Math. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2012, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Sociedade Brasileira de Computação, v. 6, 2012.
- SEFFRIN, H.; RUBI, G.; JAQUES, P.. A Dynamic Bayesian Network for Inference of Learners Algebraic Knowledge. In: SYMPOSIUM ON APPLIED COMPUTING, 29, 2014, Gyeongju, Korea. **Proceedings...** ACM Press, 2014.
- SEFFRIN, H.; RUBI, G.; JAQUES, P.. O Modelo Cognitivo do Sistema Tutor Inteligente PAT2Math. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2011, Aracaju, SE. **Anais...** Sociedade Brasileira de Computação, p. 10–19, 2011.
- SEFFRIN, H.; RUBI, G.; JAQUES, P.. Uma Rede Bayesiana aplicada à Modelagem do Conhecimento Algébrico do Aprendiz. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2013, Campinas, SP. **Anais...** Sociedade Brasileira de Computação, 2013.
- STAVRIANOPOULOS, K.. Adolescent's Metacognitive Knowledge Monitoring and Academic Help Seeking: The Role of Motivation Orientation. **College Student Journal**, Alabama, v. 41, n. 2, p. 444-453, 2007.
- STEENBERGEN-HU, S.; COOPER, H. A meta-analysis of the effectiveness of intelligent tutoring systems on K–12 students' mathematical learning. **Journal of Educational Psychology**, v. 105, p. 970–987, 2013.
- STEENBERGEN-HU, S.; COOPER, H. A meta-analysis of the effectiveness of intelligent tutoring systems on college students' academic learning. **Journal of Educational Psychology**, v. 106, p. 331–347, 2014.
- TARRICONE, P.. **The Taxonomy of Metacognition**. New York: Psychology Press, 2011.
- TOBIAS, S.; EVERSON, H.. Assessing Metacognitive Knowledge Monitoring. In: SCHRAW, G.; IMPARA, J. C. (Ed.). **Issues in the measurement of metacognition**. Lincoln, NE: Buros Institute of Mental Measurements and Erlbaum Associates, 2000. cap. 4, p. 147-222. Disponível em: <<http://digitalcommons.unl.edu/burosmetacognition/5/>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- TOBIAS, S.; EVERSON, H.. **Knowing What You Know and What You Don't: Further Research on Metacognitive Knowledge Monitoring (Research Report)**. New York: The College Board. n. 2002-3, p. 1-25, 2002.
- TOBIAS, S.; EVERSON, H.. The Importance of Knowing What You Know: A Knowledge Monitoring Framework for Studying Metacognition in Education. In: HACKER, D. J.; DUNLOSKY, J.; GRAESSER, A. C. (Ed.). **Handbook of Metacognition in Education**. New York, NY: Routledge, cap. 7, p. 107-127, 2009.

ULLMAN, M. T.. Contributions of memory circuits to language: the declarative/procedural model. **Cognition**, The Netherlands, v. 92, p. 231–270, 2004.

VANLEHN, K.. The Behavior of Tutoring Systems. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, Amsterdam, The Netherlands, v. 16, n. 3, p. 227–265, 2006.

VANLEHN, K.. The Relative Effectiveness of Human Tutoring, Intelligent Tutoring Systems, and Other Tutoring Systems. **Educational Psychologist**, New York, NY, v. 46, n. 4, p. 197-221, 2011.

VANLEHN, K.; BURLESON, W.; GIRARD, S.; CHAVEZ-ECHEAGARAY, M. E.; GONZALEZ-SANCHEZ, J.; HIDALGO-PONTET, Y.; ZHANG, L.. The Affective Meta-Tutoring Project: Lessons Learned. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS, 12, 2014, Honolulu, USA. **Proceedings...** New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, p. 84–93, 2014.

VEENMAN, M. V. J.; HOUT-WOLTERS, B. H. A. M. V.; AFFLERBACH, P.. Metacognition and learning: conceptual and methodological considerations. **Metacognition Learning**, Dordrecht, The Netherlands, v.1, n. 1, p. 3-14, 2006.

VERSCHAFFEL, L.. Realistic mathematical modelling and problem solving in the upper elementary school: analysis and improvement. In: HAMERS, J. H. M.; LUIT, J. E. H. V.. **Teaching and learning thinking skills**. Lisse, The Netherlands: Swets & Zeitlinger Publishers, cap. 9, p. 215-239, 1999.

VYGOTSKY, L. Interaction Between Learning and Development. **Mind and Society**, Cambridge, MA, p. 79-91, 1978.

WHITE, B.; FREDERIKSEN, J. R.; COLLINS, A.. The interplay of scientific inquiry and metacognition: More than a marriage of convenience. In: Hacker, D. J.; DUNLOSKY, J.; GRAESSER, A. C. (Eds.). **Handbook of metacognition in education**. New York: Routledge, p. 175–205, 2009.

WINNE, P. H.. Improving measurements of self-regulated learning. **Educational Psychologist**, New York, NY, v. 45, n. 4, p. 267–276, 2010.

WOOLF, B. P.. **Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning**. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2009.

WOOLF, B. P.; REID, J.; STILLINGS, N.; BRUNO, M.; MURRAY, D.; REESE, P.; PETERFREUND, A.; RATH, K.. A General Platform for Inquiry Learning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS, 6, 2002, Biarritz, France and Sebastian, Spain, 2002. **Proceedings...** New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, p. 1-10, 2002.

ZIMMERMAN, B. J.. A Social Cognitive View of Self-Regulated Academic Learning. **Journal of Educational Psychology**, New York, NY, v. 81, n. 3, p. 329-339, 1989.

ZIMMERMAN, B. J.. Academic Studying and the Development of Personal Skill: A Self-Regulatory Perspective. **Educational Psychologist**, New York, NY, v. 33, p. 73-86, 1998.

ZIMMERMAN, B. J.. Investigating self-regulated and motivation: Historical background, methodological development, and future prospects. **American Educational Research Journal**, Los Angeles: SAGE, v. 45, n. 1, p. 166–183, 2008.

## APÊNDICE A – ESTIMATIVAS DO CONHECIMENTO NO PRÉ-TESTE

Nome Completo: \_\_\_\_\_

Para cada uma das equações abaixo, **avaliar se você tem conhecimento ou se você não tem conhecimento para dar 1 passo correto para a equação**. Este passo correto pode ser a solução parcial ou a solução final da equação. Você não deve escrever o passo no papel, apenas marcar SIM ou NÃO.

<b>1</b>	$x + 7 = 3$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>	<b>6</b>	$x = \frac{15}{6}$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>
<b>2</b>	$-9 + x = 1$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>	<b>7</b>	$4x - 2 = 2x + 4$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>
<b>3</b>	$4x = 16$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>	<b>8</b>	$3(x + 2) = 12$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>
<b>4</b>	$-20 = -2x$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>	<b>9</b>	$x + \frac{x}{2} = 3$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>
<b>5</b>	$\frac{x}{3} = 5$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>	<b>10</b>	$\frac{x}{2} + \frac{2x}{4} = 2$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>



## APÊNDICE B – DESEMPENHO NO DOMÍNIO NO PRÉ-TESTE

**Nome Completo:** \_\_\_\_\_

Resolva **apenas 1 passo** para cada equação. Este passo pode ser a solução parcial ou a solução final. As equações desta atividade são as mesmas da atividade anterior.

<div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"><math>x + 7 = 3</math></div> <div style="padding: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</div>	<b>1</b>	<b>6</b>	<div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"><math>x = \frac{15}{6}</math></div> <div style="padding: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</div>
<div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"><math>-9 + x = 1</math></div> <div style="padding: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</div>	<b>2</b>	<b>7</b>	<div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"><math>4x - 2 = 2x + 4</math></div> <div style="padding: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</div>
<div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"><math>4x = 16</math></div> <div style="padding: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</div>	<b>3</b>	<b>8</b>	<div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"><math>3(x + 2) = 12</math></div> <div style="padding: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</div>
<div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"><math>-20 = -2x</math></div> <div style="padding: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</div>	<b>4</b>	<b>9</b>	<div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"><math>x + \frac{x}{2} = 3</math></div> <div style="padding: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</div>
<div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"><math>\frac{x}{3} = 5</math></div> <div style="padding: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</div>	<b>5</b>	<b>10</b>	<div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"><math>\frac{x}{2} + \frac{2x}{4} = 2</math></div> <div style="padding: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</div>

## APÊNDICE C – ESTIMATIVAS DO CONHECIMENTO NO PÓS-TESTE

**Nome Completo:** \_\_\_\_\_

Para cada uma das equações abaixo, **avaliar se você tem conhecimento ou se você não tem conhecimento para dar 1 passo correto para a equação**. Este passo correto pode ser a solução parcial ou a solução final da equação. Você não deve escrever o passo no papel, apenas marcar SIM ou NÃO.

<b>1</b>	$2(x + 3) = 8$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>	<b>6</b>	$3x = 9$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>
<b>2</b>	$\frac{x}{4} = 3$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>	<b>7</b>	$\frac{x}{4} + \frac{2x}{2} = 4$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>
<b>3</b>	$x = \frac{12}{9}$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>	<b>8</b>	$x + 10 = 4$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>
<b>4</b>	$x + \frac{x}{3} = 4$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>	<b>9</b>	$6x - 4 = 4x + 6$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>
<b>5</b>	$-13 + x = 2$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>	<b>10</b>	$-8 = -4x$	<p>Você avalia que tem conhecimento para dar um passo correto para a equação?</p> <p>( ) SIM</p> <p>( ) NÃO</p>

## APÊNDICE D – DESEMPENHO NO DOMÍNIO NO PÓS-TESTE

**Nome Completo:** \_\_\_\_\_

Resolva **apenas 1 passo** para cada equação. Este passo pode ser a solução parcial ou a solução final. As equações desta atividade são as mesmas da atividade anterior.

<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; margin-right: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 90%;"> <math display="block">2(x + 3) = 8</math> <p style="font-size: 0.8em; margin-top: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</p> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; margin-right: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">6</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 90%;"> <math display="block">3x = 9</math> <p style="font-size: 0.8em; margin-top: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</p> </div> </div>
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; margin-right: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 90%;"> <math display="block">\frac{x}{4} = 3</math> <p style="font-size: 0.8em; margin-top: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</p> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; margin-right: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">7</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 90%;"> <math display="block">\frac{x}{4} + \frac{2x}{2} = 4</math> <p style="font-size: 0.8em; margin-top: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</p> </div> </div>
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; margin-right: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 90%;"> <math display="block">x = \frac{12}{9}</math> <p style="font-size: 0.8em; margin-top: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</p> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; margin-right: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">8</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 90%;"> <math display="block">x + 10 = 4</math> <p style="font-size: 0.8em; margin-top: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</p> </div> </div>
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; margin-right: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">4</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 90%;"> <math display="block">x + \frac{x}{3} = 4</math> <p style="font-size: 0.8em; margin-top: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</p> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; margin-right: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">9</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 90%;"> <math display="block">6x - 4 = 4x + 6</math> <p style="font-size: 0.8em; margin-top: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</p> </div> </div>
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; margin-right: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">5</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 90%;"> <math display="block">-13 + x = 2</math> <p style="font-size: 0.8em; margin-top: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</p> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; margin-right: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">10</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 90%;"> <math display="block">-8 = -4x</math> <p style="font-size: 0.8em; margin-top: 5px;">Escreva aqui o seu passo:</p> </div> </div>

**APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO APLICADO NO PÓS-TESTE DA AVALIAÇÃO****Nome Completo:** \_\_\_\_\_

Abaixo estão descritas algumas questões relacionadas ao seu comportamento durante o uso do PAT2Math. Avalie cada uma das seis questões abaixo. Marque um “X” em apenas uma das respostas de cada questão. Fique à vontade para ser bastante sincero ao responder. Suas respostas são confidenciais e não trarão nenhum prejuízo a você na sua relação com o pesquisador ou com a escola.

**1** Durante o uso do PAT2Math, eu lia com bastante atenção as mensagens exibidas pela assistente *Pat*.

- ( ) Nunca.  
( ) Raramente.  
( ) Algumas vezes.  
( ) Muito frequentemente.  
( ) Sempre.

**2** Durante o uso do PAT2Math, eu seguia as orientações da assistente *Pat*.

- ( ) Nunca.  
( ) Raramente.  
( ) Algumas vezes.  
( ) Muito frequentemente.  
( ) Sempre.

**3** Durante o uso do PAT2Math, antes de dar um novo passo para uma equação, eu ficava um tempo pensando se tinha conhecimento para dar um novo passo correto.

- ( ) Nunca.  
( ) Raramente.  
( ) Algumas vezes.  
( ) Muito frequentemente.  
( ) Sempre.

**4** Durante o uso do PAT2Math, antes de dar um novo passo para uma equação, eu ficava um tempo identificando as partes da equação e as operações envolvidas.

- ( ) Nunca.  
( ) Raramente.  
( ) Algumas vezes.  
( ) Muito frequentemente.  
( ) Sempre.

**5** Durante o uso do PAT2Math, antes de dar um novo passo para uma equação, eu ficava um tempo pensando se já havia resolvido uma equação parecida, para verificar se eu teria conhecimento para dar um novo passo correto.

- ( ) Nunca.  
( ) Raramente.  
( ) Algumas vezes.  
( ) Muito frequentemente.  
( ) Sempre.

**6** Durante o uso do PAT2Math, antes de dar um novo passo para uma equação, eu procurava uma equação parecida que já havia resolvido, para verificar se eu teria conhecimento para dar um novo passo correto.

- ( ) Nunca.  
( ) Raramente.  
( ) Algumas vezes.  
( ) Muito frequentemente.  
( ) Sempre.

APÊNDICE F – AMOSTRAS DE DADOS DA AVALIAÇÃO

Grupo de Controle																																												
A	E	G	Escores Índice KMA Pré-Teste										Escores Índice KMA Pós-Teste										Likert						Escores Pré				Escores Pós				GKMA	GDD						
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DD	1	2	3	4	5	6	EL	++	--	+-	--	KMAPre			++	--	+-	--	KMAPos	
1	1	F	++	++	++	++	--	++	++	+-	--	--	6	+-	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	9	2	2	2	2	2	12	6	0	1	3	0,8	9	0	1	0	0,8	0	3	
5	1	F	++	++	++	++	++	+-	++	++	+-	--	7	++	++	++	+-	++	++	++	++	++	++	++	9	3	3	4	3	3	2	18	7	0	3	0	0,4	9	0	1	0	0,8	0,4	2
6	1	F	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+-	8	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	2	3	2	1	3	2	13	8	0	2	0	0,6	10	0	0	0	1	0,4	2
8	1	F	+-	++	++	+-	+-	++	+-	+-	--	--	3	+-	--	++	+-	++	+-	+-	+-	+-	+-	5	1	3	1	2	1	1	9	3	0	5	2	0	2	3	4	1	-0,4	-0,4	2	
9	1	M	++	++	++	--	++	+-	++	++	--	--	5	++	++	+-	++	++	++	++	++	++	+-	8	1	2	4	5	2	1	15	5	0	3	2	0,4	7	1	2	0	0,4	0	3	
15	2	M	++	++	+-	++	+-	+-	++	++	++	+-	5	++	++	++	+-	++	++	+-	++	++	++	++	8	2	2	1	1	1	1	8	5	0	5	0	0	8	0	2	0	0,6	0,6	3
16	2	F	++	++	+-	--	--	+-	+-	--	--	--	2	+-	--	--	--	++	--	+-	--	--	--	1	2	3	4	3	5	3	20	2	0	3	4	0,3333	1	0	2	7	0,6	0,267	-1	
17	2	F	+-	++	++	++	++	++	++	--	++	++	--	6	+-	++	--	--	++	--	+-	--	--	2	0	0	0	0	0	0	0	6	0	2	2	0,6	2	0	2	6	0,6	0	-4	
19	2	M	++	++	++	++	--	--	++	++	--	--	6	++	++	--	--	++	++	--	++	++	++	7	2	1	3	4	4	3	17	6	0	0	4	1	7	0	0	3	1	0	1	
21	2	F	++	++	++	++	+-	--	++	++	--	--	6	++	++	+-	+-	++	++	+-	++	++	++	7	1	2	4	2	5	3	17	6	0	1	3	0,8	7	0	3	0	0,4	-0,4	1	
24	2	M	++	++	++	--	--	--	++	+-	--	--	5	++	++	++	++	++	--	++	++	++	++	9	2	3	3	5	2	2	17	4	1	0	5	0,8	9	0	0	1	1	0,2	4	
26	2	M	++	++	++	++	--	--	++	--	--	--	5	++	+-	++	--	+-	++	--	++	++	++	6	3	2	2	1	3	2	13	5	0	0	5	1	6	0	2	2	0,6	-0,4	1	
27	2	F	+-	+-	++	+-	--	++	++	++	--	+-	4	++	--	++	--	++	++	--	++	++	++	6	1	1	5	2	2	1	12	4	0	4	2	0,2	6	0	1	3	0,8	0,6	2	
28	2	F	++	++	+-	+-	--	--	++	++	--	--	5	++	--	++	--	++	++	--	++	++	+-	6	2	1	2	1	1	1	8	4	1	1	4	0,6	6	0	1	3	0,8	0,2	1	
29	2	M	++	++	++	++	--	--	++	++	--	--	6	++	++	++	++	++	+-	++	++	++	++	9	2	1	4	5	3	1	16	6	0	0	4	1	9	0	1	0	0,8	-0,2	3	
30	2	M	++	++	+-	++	++	++	++	+-	--	++	7	++	++	+-	+-	++	++	+-	++	++	++	7	2	2	3	5	1	1	14	7	0	2	1	0,6	7	0	3	0	0,4	-0,2	0	
31	3	M	++	++	++	--	++	+-	--	++	--	--	5	++	--	+-	++	++	++	++	++	++	++	8	2	1	1	2	1	1	8	5	0	1	4	0,8	8	0	1	1	0,8	0	3	
32	3	M	+-	++	++	++	++	--	++	+-	--	--	5	++	--	--	++	++	++	++	++	+-	+-	6	2	2	1	5	1	1	12	5	0	2	3	0,6	6	0	2	2	0,6	0	1	
36	3	F	--	+-	+-	--	--	+-	--	+-	--	--	0	+-	++	+-	--	++	--	+-	+-	+-	4	3	2	5	3	1	1	15	0	0	4	6	0,2	2	2	3	3	0	-0,2	4		
40	3	M	++	++	++	++	++	++	++	++	--	--	6	++	+-	++	+-	++	++	+-	++	++	++	7	3	3	4	4	3	3	20	6	0	2	2	0,6	7	0	3	0	0,4	-0,2	1	
41	3	F	++	++	++	+-	++	+-	+-	+-	+-	+-	4	++	--	++	++	++	++	++	++	++	X	++	7	3	3	5	5	3	3	22	4	0	6	0	-0,2	7	0	1	1	0,7778	0,978	3
43	3	F	++	++	++	++	++	--	++	--	--	--	6	++	++	++	+-	++	++	+-	++	++	++	8	3	2	1	2	4	3	15	6	0	0	4	1	8	0	2	0	0,6	-0,4	2	
46	3	M	++	++	++	++	++	X	++	++	+-	--	7	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	1	2	3	5	4	4	19	7	0	1	1	0,7778	10	0	0	0	1	0,222	3	
47	3	M	++	++	++	+-	++	++	++	++	--	--	8	+-	+-	+-	+-	+-	+-	+-	+-	++	+-	9	3	2	1	3	4	3	16	7	1	0	2	0,8	1	8	1	0	-0,8	-1,6	1	
48	3	M	++	++	++	++	++	+-	++	++	+-	--	8	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	1	1	2	2	1	1	8	7	1	1	1	0,6	10	0	0	0	1	0,4	2	
49	3	M	+-	++	+-	+-	+-	--	+-	+-	--	--	2	++	+-	--	--	+-	++	--	++	++	++	6	4	5	1	3	4	1	18	1	1	5	3	-0,2	5	1	1	3	0,6	0,8	4	
52	3	F	++	++	+-	+-	++	++	++	++	--	--	8	++	++	+-	++	++	++	++	++	++	++	10	2	5	3	5	4	3	22	6	2	0	2	0,6	9	1	0	0	0,8	0,2	2	
53	4	F	++	++	++	++	++	++	++	++	+-	+-	8	++	++	++	+-	++	++	+-	++	++	++	8	3	4	5	5	5	5	27	8	0	2	0	0,6	8	0	2	0	0,6	0	0	
54	4	F	++	++	++	++	+-	++	++	--	+-	++	9	++	++	++	+-	++	++	++	++	++	++	9	2	1	3	4	5	1	16	6	3	0	1	0,4	9	0	1	0	0,8	0,4	0	
55	4	M	++	++	++	++	--	++	++	+-	--	--	6	++	--	++	--	++	++	--	++	++	++	7	X	2	2	2	2	2	10	6	0	1	3	0,8	7	0	0	3	1	0,2	1	
56	4	F	++	++	+-	++	--	--	++	--	--	--	4	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	3	4	3	2	4	2	18	4	0	1	5	0,8	10	0	0	0	1	0,2	6	

57	4	F	+-	+-	++	++	++	--	+-	--	--	--	3	+-	++	++	+-	+-	++	+-	++	++	++	6	1	3	2	5	4	4	19	3	0	3	4	0,4	6	0	4	0	0,2	-0,2	3
60	4	F	++	++	+-	+-	--	+-	++	--	--	--	4	+-	+-	+-	+-	++	++	+-	++	++	++	9	2	2	3	3	4	4	18	3	1	2	4	0,4	5	4	1	0	0	-0,4	5
61	4	F	++	++	++	++	+-	+-	++	+-	--	--	8	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	2	3	4	4	4	4	21	5	3	0	2	0,4	10	0	0	0	1	0,6	2

**Grupo Experimental**

		Escores Índice KMA Pré-Teste										Escores Índice KMA Pós-Teste										Likert						Escores Pré				Escores Pós											
A	E	G	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DD	1	2	3	4	5	6	EL	++	-+	+-	--	KMAPre	++	-+	+-	--	KMAPos	GKMA	GDD
2	1	M	++	++	++	++	++	++	++	+-	++	++	9	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	3	2	2	3	3	3	16	9	0	1	0	0,8	10	0	0	0	1	0,2	1
3	1	M	+-	+-	++	++	--	--	++	+-	--	3	++	--	+-	++	++	++	+-	++	++	++	7	1	1	1	1	1	1	6	3	0	3	4	0,4	7	0	2	1	0,6	0,2	4	
4	1	F	++	++	++	++	++	++	++	+-	+-	7	++	++	++	+-	++	++	++	++	++	++	++	9	3	2	2	3	2	2	14	7	0	3	0	0,4	9	0	1	0	0,8	0,4	2
7	1	F	++	++	++	++	++	++	++	++	+-	9	++	++	++	++	++	++	+-	++	++	+-	8	4	2	5	2	3	3	19	9	0	1	0	0,8	8	0	2	0	0,6	-0,2	-1	
10	1	M	++	+-	++	++	--	++	+-	+-	--	4	+-	++	++	--	++	++	--	++	++	++	8	2	4	5	5	2	3	21	4	0	3	3	0,4	6	2	0	2	0,6	0,2	4	
11	1	M	++	++	++	++	++	+-	++	++	++	9	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	1	1	2	2	1	1	8	9	0	1	0	0,8	10	0	0	0	1	0,2	1	
12	1	F	+-	++	++	++	--	--	+-	+-	--	3	++	--	--	+-	++	++	+-	++	+-	+-	4	3	3	4	3	3	3	19	3	0	3	4	0,4	4	0	4	2	0,2	-0,2	1	
13	2	M	++	++	++	++	--	++	++	+-	++	7	+-	++	++	++	++	++	++	++	++	++	9	2	2	1	3	1	2	11	7	0	1	2	0,8	9	0	1	0	0,8	0	2	
14	2	F	++	++	++	+-	--	++	++	++	+-	6	++	+-	--	++	++	++	++	++	++	++	8	5	4	3	4	3	1	20	6	0	2	2	0,6	8	0	1	1	0,8	0,2	2	
18	2	F	++	++	++	+-	++	--	++	--	+-	5	++	--	+-	--	++	++	+-	++	++	+-	6	2	3	1	4	1	3	14	5	0	2	3	0,6	5	1	2	2	0,4	-0,2	1	
20	2	M	++	++	++	++	--	--	+-	+-	--	4	++	--	++	+-	+-	++	+-	++	++	++	6	1	1	2	1	4	5	14	4	0	2	4	0,6	6	0	3	1	0,4	-0,2	2	
22	2	F	+-	+-	++	+-	+-	+-	++	++	--	3	++	--	--	+-	--	++	--	+-	++	++	5	1	3	3	1	3	4	15	2	1	4	3	0	4	1	1	4	0,6	0,6	2	
23	2	F	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	4	3	2	3	2	1	15	10	0	0	0	1	10	0	0	0	1	0	0
25	2	M	++	++	++	++	--	--	++	++	--	6	++	--	++	++	++	++	++	--	++	++	8	2	1	3	3	2	1	12	6	0	0	4	1	8	0	0	2	1	0	2	
33	3	F	++	++	++	++	++	+-	++	++	++	9	++	++	+-	++	++	++	++	++	++	++	9	1	2	1	1	2	1	8	9	0	1	0	0,8	9	0	1	0	0,8	0	0	
34	3	M	+-	++	+-	++	++	++	++	++	X	X	6	++	++	++	+-	++	++	++	++	++	9	5	3	4	4	5	5	26	6	0	2	0	0,5	9	0	1	0	0,8	0,3	3	
35	3	M	++	++	++	++	++	++	++	++	+-	8	+-	++	++	++	++	++	++	++	++	++	9	2	1	1	2	2	2	10	8	0	2	0	0,6	9	0	1	0	0,8	0,2	1	
37	3	F	++	++	++	++	++	++	++	++	--	8	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	2	2	1	4	3	1	13	8	0	0	2	1	10	0	0	0	1	0	2	
38	3	F	++	++	++	++	++	+-	++	++	--	8	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	3	2	3	2	4	1	15	7	1	0	2	0,8	10	0	0	0	1	0,2	2	
39	3	M	+-	+-	+-	+-	+-	++	+-	+-	+-	1	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	4	1	2	4	1	1	13	1	0	9	0	-0,8	10	0	0	0	1	1,8	9	
42	3	M	++	++	++	--	++	++	+-	++	--	6	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	3	2	3	2	2	2	14	6	0	1	3	0,8	10	0	0	0	1	0,2	4	
44	3	F	--	--	++	+-	--	++	++	--	--	3	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	4	3	3	4	5	3	22	3	0	1	6	0,8	10	0	0	0	1	0,2	7	
45	3	M	++	++	++	++	+-	++	++	++	+-	7	+-	++	++	++	++	++	++	++	++	++	9	5	5	4	4	4	2	24	7	0	3	0	0,4	9	0	1	0	0,8	0,4	2	
50	3	F	++	++	++	+-	++	++	++	++	--	7	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	3	3	5	3	4	1	19	7	0	1	2	0,8	10	0	0	0	1	0,2	3	
51	3	M	++	++	++	++	+-	--	+-	++	--	5	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	3	2	3	5	3	5	21	5	0	2	3	0,6	10	0	0	0	1	0,4	5	
58	4	F	++	++	++	++	++	++	++	+-	+-	7	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	1	2	2	3	2	2	12	7	0	3	0	0,4	10	0	0	0	1	0,6	3	
59	4	M	+-	++	++	++	++	++	++	+-	--	6	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	3	2	1	2	2	2	12	6	0	2	2	0,6	10	0	0	0	1	0,4	4	
62	4	M	++	++	++	++	+-	--	++	++	--	7	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	10	4	5	3	3	5	2	22	6	1	0	3	0,8	10	0	0	0	1	0,2	3	
63	4	M	++	++	+-	+-	++	+-	+-	+-	--	7	++	+-	+-	+-	++	++	+-	++	++	++	6	3	1	3	5	4	4	20	3	4	2	1	-0,2	6	0	4	0	0,2	0,4	-1	

**Legenda**

**A** Id Aluno **E** Escola **G** Gênero **EL** Escore Likert **GKMA** Ganhos do Índice KMA **DD** Desempenho no Domínio **GDD** Ganhos de Desempenho no Domínio

## APÊNDICE G - MENSAGENS DOS *PROMPTS* METACOGNITIVOS

<b>Nível 1</b>	
1	##NOME##, tente identificar qual é a incógnita e as partes da equação! Isso vai ajudar você a identificar o que você sabe e o que você não sabe para dar um novo passo correto!
2	##NOME##! Passe um tempo olhando para a equação! Veja quais são as operações existentes. Isso ajuda você a identificar o que você sabe e o que você não sabe sobre a equação.
3	Olá ##NOME##! Saber identificar o que você sabe e o que você não sabe é uma importante habilidade para o seu aprendizado. Tente identificar quais as operações da equação! Isso vai ajudar você a identificar se tem conhecimento para um próximo passo.
4	Passe um tempo olhando a equação! Não seja apressado! Identifique qual é a incógnita, quais são as operações envolvidas e quais são as partes da equação! Isto ajuda você a identificar se tem ou se não tem conhecimento para um próximo passo.
5	Será que você consegue identificar se tem conhecimento para resolver a equação? ##NOME##, passe um tempo olhando a equação, identificando suas partes.
6	Você consegue identificar o valor desconhecido da equação e as suas partes? ##NOME##, antes de resolver uma equação, é muito importante para o seu aprendizado tentar identificar se você tem ou se você não tem conhecimento!
7	Olá ##NOME##! Veja que a equação possui determinadas operações e partes. Você tem conhecimento para dar um próximo passo correto para a equação? Pense sobre isso antes de prosseguir!
8	Saber identificar o que você sabe e o que você não sabe <b>é uma importante habilidade para o seu aprendizado</b>! ##NOME##, passe um tempo tentando identificar se você tem conhecimento para dar um próximo passo correto!
9	##NOME##, muitas vezes somos superconfiantes em relação ao nosso conhecimento e acabamos errando. Passe um tempo pensando se tem conhecimento para dar um próximo passo correto para a equação!
10	##NOME##! Antes de dar um próximo passo, olhe a equação com atenção, identifique suas partes e só depois prossiga!
11	Saber identificar o que você sabe e o que você não sabe é uma importante habilidade para o seu aprendizado! Essa habilidade ajuda você a saber o momento certo de pedir ajuda, quando realmente precisa!
12	##NOME##! Saber identificar o que você sabe e o que você não sabe ajuda você a saber o momento certo de pedir ajuda ao professor ou a um colega. Identifique as partes da equação em destaque, com atenção, e tente identificar se você tem conhecimento para dar um próximo passo correto.
13	##NOME##! Quando uma pessoa consegue identificar com precisão o que ela sabe e o que ela não sabe, ela consegue estudar conteúdos que realmente precisa e não usa tempo estudando assuntos que já tem conhecimento!
14	Preste atenção na equação. ##NOME##, não seja apressado! Antes de prosseguir, pense se tem conhecimento para dar um novo passo!
15	A equação possui partes a serem resolvidas! ##NOME##, com muita atenção, identifique as partes e as operações da equação e tente identificar se você possui conhecimento para um novo passo correto!
16	##NOME##! Identifique as partes e as operações envolvidas! Isso vai ajuda-lo a refletir sobre o seu conhecimento e identificar se tem conhecimento para dar um próximo passo correto.
17	Saber identificar o que você sabe e o que você não sabe ajuda você na hora dos estudos! Você usa mais tempo estudando assuntos que você sabe que não tem conhecimento.
18	Para identificar mais precisamente se tem conhecimento para dar um novo passo correto a uma equação, primeiramente é necessário identificar qual é a incógnita e quais as partes da equação! Vamos lá, ##NOME##, você consegue!

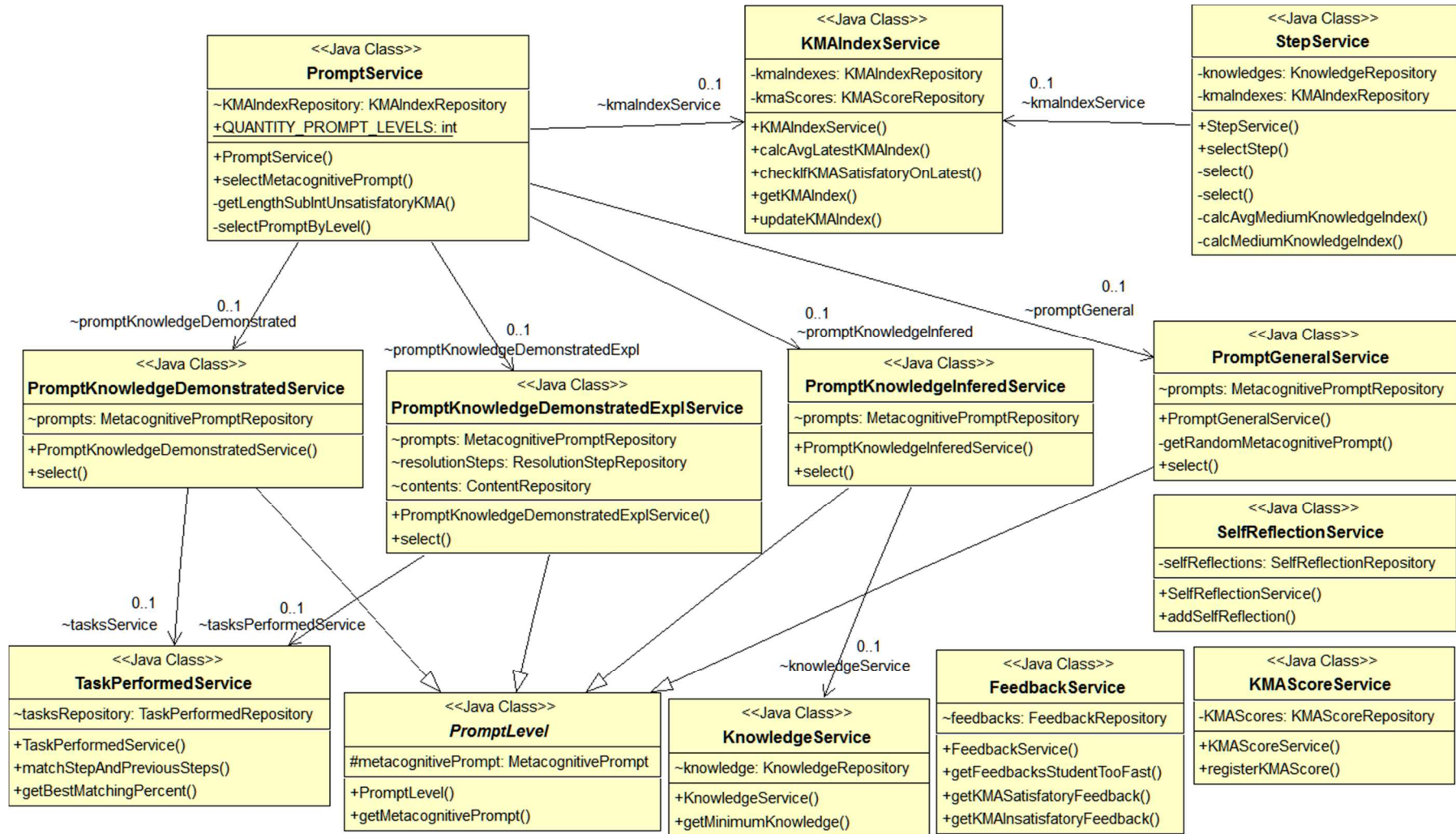
19	Oi ##NOME##! Antes de dar um novo passo para equação, identifique qual é a incógnita da equação. Identifique também quais são as partes existentes antes da igualdade e depois da igualdade.
20	##NOME##, antes de dar um novo passo para a equação, lembre de tentar identificar se tem ou se não tem conhecimento para um próximo passo.
21	Olá ##NOME##! Meu objetivo é tentar ajudar você a melhorar a sua habilidade de identificar o que você sabe e o que você não sabe. Antes de dar um novo passo para a equação, tente identificar as partes da equação e pense sobre o seu conhecimento para resolvê-la.
<b>Nível 2</b>	
22	##NOME##! Estou acompanhando suas respostas para as equações e acredito que <u>você já tem algum conhecimento para dar um próximo passo correto para a equação</u>. Leia o passo com atenção e passe um tempo pensando no seu conhecimento para dar um próximo passo correto.
23	Olá ##NOME##! <u>Me parece que você já tem algum conhecimento para dar um próximo passo correto</u>! O que você acha? Olhe a equação, com atenção, e passe um tempo pensando sobre o seu conhecimento!
24	Verifiquei que você, ##NOME##, <u>parece ter conhecimento para dar um próximo passo para a equação</u>! Não seja apressado, passe um tempo identificando as partes da equação e pense se tem conhecimento para dar um próximo passo correto!
25	Oi ##NOME##! Será que você tem conhecimento para dar um próximo passo correto para a equação? <u>Acredito que você tenha conhecimento para dar um próximo passo correto para equação</u>! Passe um tempo identificando as partes da equação e pensando no seu conhecimento antes de prosseguir.
26	##NOME##, <u>me parece que você tem conhecimento para um novo passo correto</u>! Não seja apressado e reflita sobre o seu conhecimento antes de dar um novo passo.
27	É muito importante que você pense nos passos de equações anteriores que você já resolveu! É uma forma de você identificar se tem conhecimento ou não para um próximo passo da equação! <u>Eu acredito que você tem conhecimento para dar um passo correto para a equação</u>! O que acha?
28	##NOME##! Me <u>parece que você já tem conhecimento necessário para dar um próximo passo correto para a equação</u>! Antes de tentar resolver, passe um tempo pensando no seu conhecimento!
29	Legal, ##NOME##! Pelo o que tenho acompanhado, <u>acredito que você consegue dar um novo passo correto para a equação</u>! Estou certo?
30	##NOME##, olhando esta equação, <u>acredito que você consegue dar um novo passo correto</u>! Passe um tempo pensando em seu conhecimento e nas suas soluções do passado, antes de prosseguir!
31	Não responda a equação sem antes olhar a equação e identificar suas partes. Além disso, <u>estou achando que você tem algum conhecimento para dar um novo passo para a equação</u>! Concorda comigo?
32	##NOME##! Estou lhe acompanhando desde o início e <u>acho que você tem conhecimento para dar um novo passo correto para a equação</u>! Pense sobre isto antes de prosseguir!
33	Saber identificar o que você sabe e o que você não sabe é uma importante habilidade para o seu aprendizado! ##NOME##, antes de prosseguir, pense no seu conhecimento!! <u>Acho que você tem conhecimento para dar um novo passo correto para a equação</u>! E você, o que acha?
34	<u>Acredito que você tenha conhecimento para dar um passo para a equação</u>! Pense nos passos que resolveu em equações anteriores! Isso ajuda você a identificar se tem conhecimento para a equação!
35	##NOME##! Pense no seu conhecimento antes de prosseguir! <u>Você já demonstrou ter algum conhecimento para dar um novo passo correto para a equação </u>!
36	Atenção, ##NOME##! Saber identificar o que você sabe e o que você não se sabe é uma



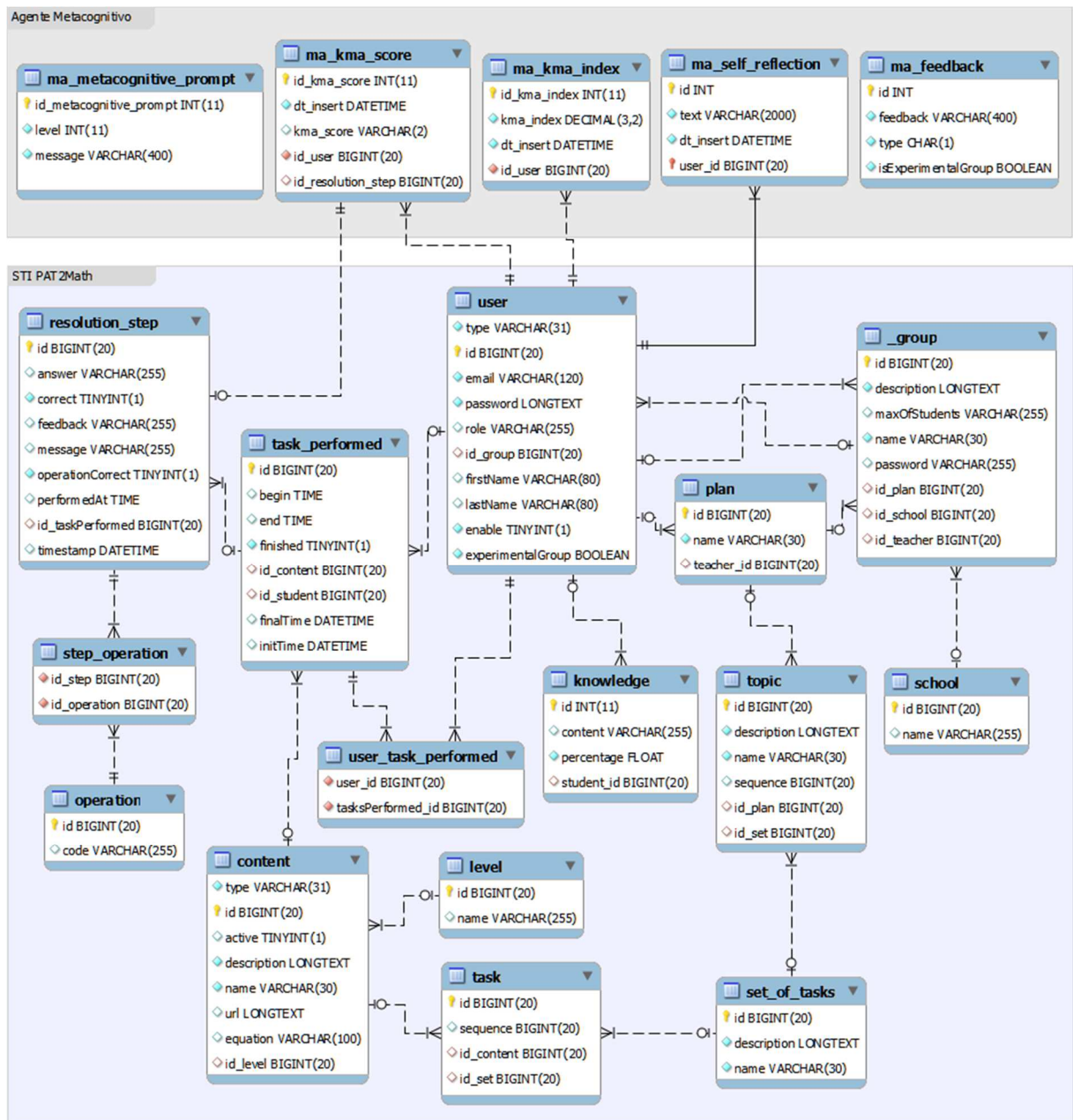
	importante habilidade para o seu aprendizado! Pelo o que tenho acompanhado, <u>acredito que você tem conhecimento para dar um passo correto para a equação</u>! Pense nos passos que realizou anteriormente!
37	##NOME##! Estou tentando ajudar você a melhorar a sua habilidade de identificar se você tem ou se você não tem conhecimento para resolver uma equação! <u>Acho que você tem conhecimento para esta equação</u>! Você concorda comigo?
<b>Nível 3</b>	
38	Muito bem, ##NOME##! Olhando suas soluções anteriores, <u>lembro de ter visto você aplicar conhecimento que poderá utilizar na equação atual</u>. Pense nas suas soluções anteriores antes de prosseguir!
39	Olá ##NOME##! Olhando as equações que você já resolveu, aviso que <u>já vi você resolver um passo utilizando conhecimento que poderá utilizar agora</u>! Pense sobre isso e prossiga!
40	Refletir sobre suas experiências anteriores em equações de 1º grau ajuda você a identificar se tem conhecimento para uma determinada equação! ##NOME##, <u>já vi você utilizando conhecimento que poderá utilizar nesta equação atual</u>!
41	##NOME##, preste atenção! <u>Já vi você aplicando conhecimento que poderá utilizar para dar um novo passo correto para a equação atual</u>! Olhe a equação, pense nas suas soluções anteriores e no seu conhecimento.
42	##NOME##! Estou acompanhando você desde o início, e <u>já vi você utilizar conhecimento que poderá utilizar para um novo passo correto na equação atual</u>! Antes de prosseguir, pense se você tem conhecimento.
43	<u>Já vi você utilizando conhecimento que poderá aplicar na equação atual</u>! É importante que você pense sobre suas soluções no passado para conseguir identificar se tem ou se não tem conhecimento para um novo passo na equação!
44	Estou tentando ajudar você a melhorar a sua habilidade de identificar se tem ou se não tem conhecimento para resolver uma equação! Olhando esta equação, <u>lembro que já vi você utilizando conhecimento que poderá utilizar agora</u>! Pense no seu conhecimento antes de prosseguir!
45	<u>Em uma equação parecida, já vi você utilizando conhecimento que poderá utilizar na equação atual</u>! Pense nisso antes de prosseguir!
46	##NOME##, você sabia que quando conseguimos identificar o que sabemos e o que não sabemos, podemos utilizar mais tempo de estudo para assuntos que realmente precisam ser reforçados? <u>Já vi você utilizando conhecimento que poderá utilizar agora</u>! Pense sobre isso!
47	##NOME##, acompanho todos os passos das suas soluções. <u>Já vi você utilizando conhecimento que poderá aplicar nesta equação ao lado! Pense sobre isso antes de prosseguir</u>!
48	Muito bem, ##NOME##!! <u>Já vi você resolvendo uma equação anterior utilizando conhecimento que poderá utilizar agora</u>! Então, passe um tempo pensando no seu conhecimento, antes de prosseguir!!
49	Em uma equação anterior, <u>vi você utilizando conhecimento que poderá utilizar agora</u>. Pense sobre isso, ##NOME##!
50	Sobre esta equação atual, aviso que em uma equação anterior <u>eu vi você utilizando conhecimento que poderá utilizar agora</u>! ##NOME##, pense sobre isso e só depois prossiga!
51	##NOME##, antes de prosseguir, pare um tempo para pensar nas partes desta equação atual e nas operações envolvidas! Eu, que lhe acompanho, <u>já vi você utilizando conhecimento, em uma equação anterior, que poderá utilizar agora</u>! Reflita!
52	##NOME##! Olhando suas equações anteriores, aviso que <u>já vi você aplicando conhecimento que poderá utilizar agora</u>! Você precisa pensar, com atenção, se tem conhecimento para um novo passo, se já não resolveu algo parecido antes!
53	##NOME##, será que você já não resolveu antes alguma equação parecida com esta? Eu digo que sim, pois <u>já vi você resolver algum passo anterior utilizando conhecimento

	que poderá utilizar agora</u>! Pense sobre isso!
54	Olá ##NOME##! Pense se em outro momento você já não resolveu alguma equação parecida com esta! Identifique as partes da equação e veja se já não aplicou antes conhecimento que poderá utilizar agora! <u>Eu já vi você resolvendo algo similar</u>! Pense sobre isso!
<b>Nível 4</b>	
55	Olá ##NOME##! Veja os passos em destaque! São <u>passos que você resolveu anteriormente utilizando conhecimento que poderá aplicar agora</u>! Refletir sobre soluções do passado ajuda a identificar o que você sabe e o que você não sabe!
56	##NOME##! Estou sempre lhe acompanhando! Separei alguns passos que você resolveu anteriormente! <u>Nestes passos, você utilizou conhecimento que poderá utilizar na equação atual</u>!
57	<u>Nestes passos na caixa em destaque você utilizou conhecimento que poderá utilizar na equação atual</u>. ##NOME##, pense na equação atual e nas suas soluções do passado! Isto vai ajudar você a melhorar a sua habilidade de identificar o que sabe e o que não sabe!
58	Estou tentando ajudar você a melhorar a sua habilidade de identificar se tem ou se não tem conhecimento para resolver uma equação! ##NOME##, veja os passos em destaque. <u>São passos que vi você aplicando conhecimento que poderá utilizar na equação atual</u>!
59	##NOME##, preste atenção nos passos da caixa em destaque. <u>Observei que você utilizou conhecimento que poderá utilizar na equação atual</u>! Pensar nas suas soluções do passado ajuda você a identificar o que sabe e o que não sabe!
60	Nestes passos da caixa em destaque, <u>acompanhei você utilizando conhecimento que poderá utilizar na equação atual</u>. Então, ##NOME##, pare um tempo para pensar na equação atual e nas suas ações do passado, para identificar se tem ou se não tem conhecimento.
61	Você pode melhorar a sua habilidade de identificar o que sabe e o que não sabe! <u>Separei passos que você já realizou anteriormente em que você aplicou conhecimento que poderá utilizar agora</u>. Pense nas suas soluções do passado para identificar se tem conhecimento para uma equação.
62	##NOME##, veja o que separei para lhe mostrar. Na caixa em destaque, estão passos que você resolveu anteriormente. <u>Neles, você aplicou conhecimento que poderá aplicar agora</u>!
63	##NOME##, estou acompanhando suas soluções para as equações! Na caixa em destaque, <u>separei alguns passos onde vi você aplicando conhecimento que poderá aplicar para um novo passo na equação atual</u>! Antes de resolver, passe um tempo pensando se tem ou se não tem conhecimento para a equação atual!
64	Olá ##NOME##! Pense se em outro momento você já não resolveu alguma equação parecida com esta, ao lado! Nesta caixa, em destaque, <u>separei passos de equações onde você aplicou conhecimento que poderá utilizar agora</u>!
65	Na caixa em destaque, estão passos de uma equação que você resolveu anteriormente! Separei para lhe mostrar que <u>você já aplicou conhecimento que poderá utilizar agora</u>! ##NOME##, pense no seu conhecimento, antes de prosseguir!

APÊNDICE H – DIAGRAMA DE CLASSES DA CAMADA DE SERVIÇO DO AGENTE METACOGNITIVO



## APÊNDICE I – MODELO LÓGICO DO BANCO DE DADOS



## ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS  
Unidade Acadêmica de Pesquisa e Pós-Graduação  
Comitê de Ética em Pesquisa

## TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE

Senhores Pais, o seu filho(a) está sendo convidado(a) a participar, como voluntário, no projeto de pesquisa para o desenvolvimento do PAT2Math: Um Sistema Tutor Inteligente Afetivo para Ensino de Equações Algébricas, coordenado pela professora e pesquisadora Patrícia A. Jaques Maillard, do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PIPCA), da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

A participação de seu filho(a) nesta pesquisa consistirá em ser um dos utilizadores avaliadores do sistema tutor inteligente PAT2Math no experimento. Logo, ele(a) irá utilizar o PATEquation (ferramenta inteligente de resolução de equações algébricas de 1º e 2º grau com uma incógnita que compõe o PAT2Math) para verificarmos se o mesmo está ensinando efetivamente. Para tanto, ele(a) deverá interagir com o sistema no período especificado pela pesquisadora. Ele(a) pode ser igualmente convidado a descrever suas ações, ou seja, ele(a) deverá narrar sua interação justificando suas ações frente ao sistema. Antes do início da seção, será realizada uma breve apresentação a seu filho(a) do projeto de pesquisa e também do sistema e seu funcionamento.

Durante todo o experimento as ações realizadas no PATEquation pelo seu filho(a) serão gravadas. O seu filho(a) também poderá ser convidado(a) a realizar testes para verificar seu conhecimento em álgebra. Essas gravações e dados serão utilizadas **apenas** para fins de pesquisa e investigação para melhoria do sistema. Cabe aqui salientar que a identidade de seu filho(a) será preservada, pois não serão divulgados nome, informações ou imagens que possam identificá-los. Por se tratar da simples utilização de um software computacional de aprendizagem, essa pesquisa não trará nenhum risco ou prejuízo ao seu filho(a).

Após ser esclarecido(a) sobre as informações **acima**, no caso de aceitar que seu filho(a) faça parte desta pesquisa, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. A participação de seu filho(a) não é obrigatória. A qualquer momento ele(a) pode desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador ou com a instituição. Em caso de dúvida você pode procurar a professora e pesquisadora Patrícia A. Jaques Maillard no telefone (51) 3591-1100, ramal 1626 ou pelo e-mail pjaques@unisinos.br. Por se tratar, da simples utilização de um sistema computacional de aprendizagem, essa pesquisa não trará nenhum risco ou prejuízo a seu filho(a). Reitera-se que as informações obtidas através dessa pesquisa serão confidenciais e assegura-se o sigilo sobre a participação do mesmo(a) no experimento. Os dados não serão divulgados de forma a possibilitar sua identificação.

Data: 23 de março de 2015.

Profa. Dra. Patrícia A. Jaques Maillard

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios da participação de meu filho(a) na pesquisa e concordo que ele(a) participe.

Responsável pelo Aluno: \_\_\_\_\_

Sujeito da Pesquisa (Aluno): \_\_\_\_\_

CEP - UNISINOS  
VERSÃO APROVADA

Em: 19 / 08 / 13