Revista Brasileira de Informática na Educação – RBIE
Brazilian Journal of Computers in Education
(ISSN online: 2317-6121; print: 1414-5685)
http://br-ie.org/pub/index.php/rbie

Submission: 21/Mar/2017; 1st round notif.: 13/Jun/2017; Available online: 22/Oct/2017; Published: 30/Oct/2917
Camera ready: 30/Aug/2017; Edition review: 09/Sep/2017;

Assistindo os estudantes na resolução de problemas algébricos: uma proposta baseada na Teoria da Carga Cognitiva

Title: Assisting students to solve algebraic word problems: a proposal based on the Cognitive Load Theory

Bruno Fagundes da Silva
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
contato@bfagundes.com

Patricia A. Jaques
PIPCA - Universidade do Vale do Rio dos Sinos
pjaques@unisinos.br

Resumo

Uma das habilidades mais importantes a serem desenvolvidas na aprendizagem de álgebra escolar é a resolução de problemas algébricos. Os problemas algébricos apresentam uma situação ou uma estória, e o estudante deve buscar compreender quais são os elementos contidos nessa situação e as relações entre eles a fim de gerar um modelo matemático para representá-lo, que consiste em uma ou mais equações. Nesse trabalho é proposto um editor com o objetivo de auxiliar os alunos na realização da tradução de problemas algébricos a partir de um enunciado, desde a identificação das partes do problema até a definição das relações e equações. O editor fornece também feedback ao aluno sobre cada passo executado, indicando se o mesmo está correto ou incorreto. O editor segue as diretrizes da Teoria da Carga Cognitiva, e se utiliza dos tipos de efeitos, especificamente o efeito da atenção dividida, o efeito da ajuda e o efeito do exemplo resolvido. Foi realizada uma avaliação experimental do editor com duas turmas do 7º ano do ensino fundamental, totalizando 59 alunos, na cidade de São Leopoldo. Embora não tenha sido encontrado um ganho de aprendizagem maior para o grupo experimental estatisticamente significativo, a avaliação mostrou que o editor auxiliou no aprendizado dos alunos e que os alunos acharam mais fácil e divertido resolver os problemas algébricos no editor do que em papel e caneta.

Palavras-chave: *Sistemas Tutores Inteligentes. Inteligência Artificial. Educação. Álgebra.*

Abstract

One of the most important skills to be developed in algebra learning is word problem solving. The word problem presents a situation or a story, where students need to understand the elements that make up the situation to generate a mathematical model to represent it, i.e. one or more equations. In this paper, we propose an editor to help students in the translation phase of problem solving, from the identification of the parts of the problem to the definition of relations and equations. The editor also provides feedback to the students about each step provided by them, indicating whether it is correct or incorrect. The editor follows the cognitive load theory, based on the following effects e.g. the split-attention effect and the worked-example effect. An evaluation of the editor was carried out with two seventh grade classes, in a total of 59 students, that showed the editor helped in the learning process and that the students found the editor easy and fun to use.

Keywords: *Intelligent Tutoring System. Artificial Inteligence. Education. Algebra.*

Cite as: Silva, B. F., Jaques, P. A. (2017). An intelligent online editor to help students at math problem translation (Um editor inteligente para auxiliar estudantes na tradução de problemas algébricos). Brazilian Journal of Computers in Education (Revista Brasileira de Informática na Educação – RBIE), 25(3), 47-79. DOI: 10.5753/RBIE.2017.25.3.47 .

1 Introdução

Embora a álgebra seja uma importante matéria do ensino escolar básico, ela possui fama de difícil e é fonte de atitudes negativas por parte dos alunos (Booth, 1995). Exames nacionais e internacionais têm mostrado que esse é um tópico da matemática em que os alunos brasileiros têm particularmente tido dificuldades (OECD, 2016; Brasil, 2008). Existem diversos fatores relacionados a isso, mas em grande parte eles envolvem a dificuldade dos estudantes de passar do "pensamento aritmético" (orientado a encontrar uma solução) ao "pensamento algébrico" (orientado a estabelecer relações envolvendo valores conhecidos e desconhecidos) (Booth, 1995; Stacey & MacGregor, 1999).

Uma das habilidades mais importantes a serem desenvolvidas na aprendizagem de álgebra escolar, aquela que se aprende no ensino básico, é a resolução de problemas envolvendo enunciado de problemas algébricos. Os problemas algébricos apresentam uma situação ou uma estória, que representa relações entre elementos (valores conhecidos e desconhecidos). O aluno deve buscar compreender quais são esses elementos e as relações entre eles a fim de gerar um modelo matemático para representá-lo, que consiste em uma ou mais equações.

Mayer (1999) divide a resolução de problemas em dois processos distintos: a tradução do problema e a execução da solução. Na tradução do problema, o aluno deve ler todo o enunciado, identificando os objetivos (as incógnitas) e os dados que o problema traz, implícita ou explicitamente no texto. A partir daí, é necessário definir os operadores aritméticos que serão utilizados e, se necessário, propor relações entre os dados já identificados. A conclusão do processo de tradução se dá quando o aluno consegue chegar a uma equação, que, quando resolvida, lhe dará a resposta para um dos objetivos. O processo de tradução do problema é dividido em três etapas: *(i)* a tradução, *(ii)* a integração do problema, e *(iii)* o monitoramento da solução (Mayer, 1999).

Esse trabalho propõe um editor para auxiliar os estudantes na tradução de problemas algébricos. O editor fornece *feedback* ao aluno sobre cada passo da sua solução e dicas durante a resolução dos problemas. O editor também incorpora algumas das diretrizes da Teoria da Carga Cognitiva (Clark, Nguyen, & Sweller, 2005), de forma a apresentar o conteúdo aos alunos da forma mais eficiente, visando otimizar a aprendizagem. O editor foi integrado ao Sistema Tutor Inteligente PAT2Math, possibilitando que os alunos possam trabalhar todas as etapas da resolução de problemas, dado que o mesmo assiste os alunos na resolução de equações de primeiro grau (Seffrin, Rubi, & Jaques, 2011; Jaques et al., 2013).

Existem alguns trabalhos que apresentam editores para auxiliar na tradução de problemas algébricos, como o *PAL Tool* (Gama, 2004a, 2004b), que foi desenvolvido com a intenção de exemplificar a utilização de heurísticas para a resolução de problemas. Já o *Cognitive Algebra Tutor* (Koedinger, Anderson, Hadley, & Mark, 1997) é um dos sistemas tutores inteligentes mais difundido nas escolas americanas no domínio de álgebra. Estima-se que mais de 1.500 escolas dos Estados Unidos o utilizam (PACT Center, 2016)[1]. Já o trabalho de Heffernan and Koedinger (2002) aborda o processo de ensino de álgebra de forma diferente, através de uma “conversação” com o aluno, enquanto que o trabalho de Lemos (2014) auxilia os alunos nas três etapas do processo de tradução de problemas.

[1]No entanto, é importante ressaltar que a utilização de Sistemas Tutores Inteligentes em escolas brasileiras não é tão difundida quanto nos EUA.

Uma característica que pôde ser notada no trabalho de Koedinger et al. e também no de Lemos é a interface um tanto engessada, de forma que o aluno deve sempre seguir certa ordem para resolver os problemas. Dessa forma, um diferencial desse trabalho em relação ao estado da arte é a utilização de uma interface mais flexível, onde o aluno é encorajado a resolver os problemas de forma mais criativa e autônoma, o que pode impactar positivamente na sua aprendizagem.

Para avaliar o impacto do editor proposto na aprendizagem dos estudantes, foi realizado um quase-experimento, que seguiu um desenho grupo de controle e experimental com pré e pós-testes e um questionário final. 59 alunos de duas turmas de 7° ano do ensino fundamental participaram do quase-experimento que durou seis semanas, com os alunos utilizando o editor inteligente proposto (grupo experimental) ou um editor não inteligente (grupo de controle) para resolver problemas algébricos, durante 50 minutos por semana no laboratório de informática da escola.

2 Problemas Algébricos

Problemas algébricos são situações que requerem a descoberta de informações matemáticas desconhecidas e/ou a demonstração de um resultado através da lógica matemática. Geralmente, os elementos de um problema estão conectados, e é preciso compreendê-los de forma a conseguir gerar um modelo matemático que os represente. Esse modelo vai consistir de uma ou mais equações, que quando resolvidas vão produzir o resultado do problema (Gama, 2004a).

A resolução de um problema algébrico demanda uma sequência de ações, pois a solução não está disponível de início, é necessário construí-la (Polya, 1971). Dar uma resposta correta não garante que o aluno tenha aprendido; é necessário garantir que o mesmo desenvolva suas habilidades de forma que seja capaz de provar os resultados e comparar diferentes caminhos para chegar à solução. O processo de resolução de um problema têm importância maior do que apenas chegar na resposta correta (Gama, 2004a; Polya, 1971).

De acordo com Mayer (1999), existem quatro fases na resolução de um problema algébrico. Na fase de **Tradução do Problema**, espera-se que o aluno seja capaz de traduzir cada instrução dada pelo problema em representações matemáticas equivalentes. Na fase de **Integração do Problema**, o aluno deve ser capaz de transformar cada instrução em uma representação coerente. Por exemplo, o aluno deve reconhecer quais fórmulas são necessárias para a resolução do problema. Além disso, o aluno deve descartar informações não relevantes que o problema possa ter trazido. Nas fases de **Planejamento e Monitoramento** da solução, espera-se que os estudantes sejam capazes de elaborar um plano para a solução do problema. Por exemplo, uma forma de resolver o problema seria dividi-lo em partes menores. Na fase de **Execução** da solução, espera-se que os alunos sejam capazes de aplicar regras aritméticas.

2.1 Estratégia de Resolução de Problemas Algébricos

Existem inúmeras estratégias para resolução de problemas algébricos. Uma das piores opções é quando o aluno aprende por imitação e/ou repetição ao invés de aprender os conceitos envolvidos (Booth, 1995); uma das estratégias mais empregadas no Brasil (Brasil, 2008).

Em seu livro *How to Solve it*, Polya (1971) identifica quatro princípios básicos relacionados

à resolução de problemas, que podem ser vistos como parte de uma estratégia para resolução de problemas algébricos. É importante ressaltar que, embora o seu livro tenha sido publicado nos anos 70, ele é ainda uma das fontes mais usadas na área.

De forma a tornar os quatro princípios mais fáceis de serem compreendidos, Polya esquematizou uma lista de perguntas que um professor ou tutor pode fazer aos estudantes repetidamente com o objetivo de ajudá-los na resolução de problemas.

Primeiramente, o aluno precisa **entender o enunciado** do problema, sendo assim, algumas das perguntas indicadas são *"Qual é a incógnita? Quais são os dados? Qual é a condição?"*. A seguir, é necessário **elaborar um plano** para a solução do problema, onde *"Você conhece um problema relacionado?"* é uma questão relevante. Caso o aluno se lembre de um problema relacionado, Polya indica perguntar *"Você pode usar esse problema relacionado de alguma forma?"*.

Muitas vezes, as perguntas citadas no parágrafo anterior já são suficientes para ajudar o aluno a começar as ideias. Porém, caso não funcionem, *"Você usou todos os dados? Você pode reformular o problema?"* são questões indicadas (Polya, 1971). Polya ressalta também que **executar o plano** é mais simples do que a elaboração do mesmo, de forma que, caso o aluno tenha criado o plano da forma correta, será difícil que se perca. No entanto, ele lembra que o professor pode aproveitar o momento para mostrar ao aluno a diferença entre "ver" e "provar" *"Você pode ver/provar que esta etapa está correta?"*.

Ao chegar a solução do problema o aluno deve **examinar a solução** e todo o caminho que o levou a ela, pois é através desse processo que o aluno vai consolidar o seu conhecimento. Aqui pode-se perguntar ao aluno *"Você pode checar o resultado?"*.

2.2 Heurística para Resolução de Problemas Algébricos

Heurística, segundo a definição do (Dicionário Priberam, 2016), é "um processo pedagógico que pretende encaminhar o aluno a descobrir por si mesmo o que se quer ensinar, geralmente através de perguntas". Um exemplo são os princípios de Polya (1971), vistos na seção 2.1.

Seguindo esses princípios, Gama (2004a) trabalhou em cima de uma heurística para a tradução de problemas matemáticos. Os passos básicos da heurística proposta envolvem: *(i)* ler todo o problema cuidadosamente; *(ii)* identificar os objetivos; *(iii)* identificar os dados, criando uma variável para cada, atribuindo a essa variável o valor correspondente; *(iv)* identificar as incógnitas, criando uma variável para cada; *(v)* propor relações entre os elementos, substituindo as partes adequadas pelas variáveis definidas anteriormente; *(vi)* concluir a tradução do problema em equações, usando as variáveis e relações definidas anteriormente; *(vii)* ler cada equação, verificando se a mesma pode ser traduzida de volta para uma das proposições originais.

3 Teoria da Carga Cognitiva

A teoria da Carga Cognitiva é uma teoria instrucional que busca produzir diretrizes e técnicas para auxiliar na elaboração de um ensino mais eficiente. A teoria pressupõe que todo o processamento consciente de informação ocorre em uma parte específica e limitada da memória *(memória de trabalho)*. Quando essa memória é excedida, o raciocínio do indivíduo fica abaixo do desempenho

esperado, dificultando o processo de aprendizagem (Miller, 1956; Clark et al., 2005).

A memória de trabalho possui dois tipos principais de limitações: de duração e de capacidade. A limitação quanto à duração leva à chamada *"curva do esquecimento"*, demonstrada por Baddeley (1982); uma curva exponencial que ilustra o quão rápido tende-se a esquecer informações. A limitação da capacidade foi demonstrada por Miller (1956), que verificou a dificuldade de se armazenar mais do que sete itens não relacionados entre si.

O fluxo de informações entra na memória de trabalho, onde é gravado por um breve período, e então é direcionado para a memória de longo prazo, onde é armazenado indefinidamente. A sobrecarga na memória de trabalho ocorre pelo fato que ela é ocupada não apenas pela informação envolvida no problema sendo resolvido, mas também por toda a articulação de raciocínios necessários para a resolução (Chandler & Sweller, 1991).

Sendo assim, o objetivo principal da Teoria da Carga Cognitiva é orientar sobre qual o melhor formato de apresentação de conteúdo, de forma que a memória de trabalho não sofra uma sobrecarga. Além disso, ela oferece orientações sobre como expandir a memória de trabalho e contornar as suas limitações. As diretrizes, sugeridas por Clark et al. (2005), podem ser observadas no anexo F.

3.1 Tipos de Carga Cognitiva

Existe mais de um tipo de carga cognitiva[2]. A **Carga Cognitiva Estranha** se refere a um custo cognitivo que é gerado para o aluno devido a maneira que o material instrucional é apresentado. Além disso, ela acaba consumindo parte da memória de trabalho que poderia estar sendo utilizada para o aprendizado (Mason, 2012).

A **Carga Cognitiva Intrínseca** diz respeito à natureza e a dificuldade do material sendo estudado. Por exemplo, é mais difícil aprender a resolver uma equação integral do que aprender a multiplicar. Essa diferença se deve ao grau de dificuldade; quanto mais complexo for o conhecimento a ser aprendido, maior será a carga intrínseca envolvida (Mason, 2012).

A **Carga Cognitiva Relevante** é uma carga benéfica para o aprendizado; ela contribui para a construção das estruturas cognitivas e dos processos que melhoram o desempenho do aluno, tais como aquisição de esquemas e automatização. Segundo F. G. W. C. Paas and Merriënboer (1993), deve-se tentar aumentar a Carga Cognitiva Relevante do aluno, já que ela é benéfica para a construção de esquemas, porém, tomando cuidado para não ultrapassar as limitações da memória de trabalho. As principais técnicas direcionadas para aumentar a Carga Cognitiva Relevante são baseadas na utilização de exemplos resolvidos e técnicas de automatização.

3.2 Tipos de Efeitos

Existem alguns tipos de efeitos que podem influenciar o aprendizado dos alunos, como o efeito da ajuda e o efeito do problema resolvido, demonstrados por diversos pesquisadores da área, entre eles (Chandler, Carlson, & Sweller, 2003; van Merrienboer, Schuurman, de Croock, & Paas, 2002). Vale ressaltar que nem todos são benéficos para o aprendizado e acabam causando um custo cognitivo que prejudica os alunos.

[2]Nesse artigo, adotamos as traduções para o português dos termos originais em inglês propostas por (Souza, 2010).

O **Efeito Modalidade** trata sobre o fato de que a memória de trabalho é capaz de absorver informações através de estímulos visuais e auditivos paralelamente. Ela têm a sua capacidade aumentada quando são usados ambos os sistemas, como quando se substitui um texto escrito que acompanha um diagrama pelo mesmo texto falado, por exemplo (Mousavi, Low, & Sweller, 1995).

O **Efeito da Atenção Dividida** fala sobre como as múltiplas fontes de informação encontradas nos materiais instrucionais estão geralmente separadas espacialmente. Essa separação obriga o aluno a dividir a sua atenção, criando um custo cognitivo. Esse custo cognitivo pode ser eliminado através da integração das fontes de informação, como integrar o texto a um diagrama (Ayres & Sweller, 2005). Além disso, deve-se eliminar as informações estranhas ao conteúdo a ser aprendido, como mensagens de motivação.

Essa integração, porém, pode gerar o **Efeito da Redundância**. Ayres e Sweller (2005) verificaram que integrar as fontes de informação nem sempre resultava em uma melhor aprendizagem. Eles chegaram a conclusão de que o efeito ocorre somente se as informações integradas não podem ser compreendidas isoladamente. Contudo, quando uma das informações é redundante à outra, não há nenhuma vantagem ao aprendizado.

O **Efeito da Ajuda** fala sobre os dois tipos de informações que podem ser dadas aos aluno para que ele resolva um problema: informações de suporte (dicas) e informações sobre procedimentos (instruções sobre como executar um procedimento ou função). Segundo van Merrienboer et al. (2002), é importante que os alunos recebam as informações sobre procedimentos no momento em que elas se tornam necessárias, promovendo um "automatismo". Dessa forma, o aluno não precisa parar de resolver o problema para procurar como resolver a etapa em que se encontra. Por outro lado, as informações de suporte devem ser entregues antes do aluno iniciar o problema.

O **Efeito do Exemplo Resolvido** mostra que intercalar exemplos resolvidos com exercícios torna o aprendizado mais eficiente (Chandler et al., 2003; F. Paas, Renkl, & Sweller, 2003; van Merrienboer et al., 2002). Em um estudo, Chandler et al. (2003) comprovaram que os alunos que estudavam intercalando exemplos resolvidos com exercícios apresentaram desempenho muito superior aos alunos que apenas resolviam os exercícios. Os autores verificaram que quando os alunos dispõem de exemplos resolvidos, eles não se prendiam às explicações e pulavam diretamente para os exemplos. Além disso, Paas e Merrienboer (1993) mostraram que os alunos que estudaram utilizando exemplos com alta variabilidade saíram-se ainda melhor do que os demais (Efeito da Variabilidade).

4 Sistemas Tutores Inteligentes

Sistemas Tutores Inteligentes são ambientes de aprendizagem inteligentes que provêm assistência individualizada aos alunos (Woolf, 2009; Vanlehn, 2006), ou seja, um STI é um ambiente de aprendizagem virtual, onde os alunos, através de um computador, *tablet*, *smartphone*, ou outro dispositivo eletrônico adequado, recebem assistência personalizada para a resolução de diversos problemas.

Existem STIs voltados para as mais diversas áreas, como o tutor para resolução de problemas de álgebra *Algebra Cognitive Tutor* (Anderson, Corbett, Koedinger, & Pelletier, 1995), os

tutores para resolução de problemas de física *Andes* (VanLehn et al., 2002) e *AutoTutor* (Graesser, Wiemer-Hastings, Wiemer-Hastings, & Kreuz, 1999); o STI para resolução de problemas em equipamentos de aviação *Sherlock* (Katz et al., 1998); o STI para aprendizado da linguagem SQL *SQL-Tutor* (Mitrovic, 2003), entre outros.

As tarefas e a interface gráfica dos STIs são geralmente projetadas de forma que completar uma tarefa demanda ao aluno múltiplos passos, onde cada passo representa uma ação do aluno na interface do sistema. Os STIs do tipo baseado em passos (*step-based*) fornecem assistência para cada passo do aluno (Vanlehn, 2006; VanLehn, 2011).

Outra definição importante é a de conhecimento, que Vanlehn (2006) define como toda a informação que o aluno possui. O conhecimento pode ser decomposto em partes menores, chamadas de componentes do conhecimento. Um componente pode ser um princípio, um conceito, uma regra, um procedimento, um fato, uma associação, etc. É importante ressaltar que um componente de conhecimento pode ser correto ou incorreto.

4.1 Arquitetura

A arquitetura mais comum empregada em STIs possui quatro módulos, que são: Módulo do domínio, do aluno, de tutoria e de comunicação (Burns & Capps, 1988; Woolf, 2009).

O **Módulo do Domínio** representa o conhecimento que o sistema tem sobre determinado assunto. Ele pode ser constituído, entre outras coisas, pelo material instrucional, por uma sistemática de geração de exemplos e pelos processos de simulação. Esse módulo exerce duas funções principais (Woolf, 2009): (*i*) servir como fonte de conhecimento do assunto a ser ensinado, o que inclui as capacidades de geração de explicações e respostas, bem como tarefas e questões a serem realizadas, e; (*ii*) servir como um padrão para avaliar o desempenho do aluno, e para isto, o sistema deve ser capaz de gerar soluções para os problemas, para que as suas respostas possam ser comparadas com as do aluno.

O **Módulo do Aluno** tem como objetivo observar o comportamento do aluno e criar uma representação para o seu conhecimento. Ele armazena informações inferidas sobre o aprendiz, como estimativas, pontuação, quantidade de erros e de dicas solicitadas, o tempo utilizado para concluir cada tarefa, entre outras informações (Woolf, 2009; Vanlehn, 2006).

O **Módulo de Tutoria** é o componente do STI responsável por planejar e gerenciar as interações com o aluno. Esse módulo é formado por um conjunto de estratégias que permitem ao sistema tutor decidir qual material apresentar e quando apresentá-lo (Wenger, 1987). Para um bom desempenho, o módulo de tutoria tem que verificar o modelo do aluno e avaliá-lo de forma a conseguir informações de como apresentar da melhor forma um determinado assunto a um determinado aluno (Burns & Capps, 1988; Wenger, 1987).

O **Módulo de Comunicação** é o responsável por interagir com o aluno e é composto por uma interface gráfica. Algumas técnicas utilizadas nesse módulo são (Woolf, 2009): os *métodos gráficos*, que podem ser agentes animados (personagens que interagem com os alunos), humanos sintéticos, ambientes de IA, etc; as *técnicas de inteligência social*, que incluem técnicas de reconhecimento visual da emoção, utilizando sensores metabólicos e reconhecimento da fala, entre outros e; os *componentes de interface*, que são os responsáveis por processar as entradas do aluno.

4.2 Funcionamento

O funcionamento de um STI é dividido em duas iterações por Vanlehn (2006). Elas podem ser vistas como dois laços de repetição, um dentro do outro. O laço de fora *(outer loop)* é o responsável por selecionar tarefas de forma inteligente para o aluno. Já o laço de dentro *(inner loop)* é o responsável por assistir o estudante durante a resolução da tarefa passo-a-passo. Fica a cargo do *inner loop* fornecer dicas, *feedbacks* e outras informações pertinentes ao aluno, a cada passo da tarefa sendo realizada (Vanlehn, 2006).

As dicas podem ser específicas, apontando o caminho ao aluno, ou podem ser genéricas, relembrando conceitos. A dica pode ser apresentada automaticamente pelo tutor após um certo intervalo de tempo, ou após um certo número de tentativas incorretas, ou ainda pode ser solicitada manualmente pelo aluno. Os *feedbacks* são geralmente apresentados após cada passo da tarefa. Eles podem ser mínimos, apenas indicando se o passo está correto ou incorreto, ou mais específicos (*error-feedback*), e podem até mesmo indicar o evento de aprendizagem que levou o aluno a cometer tal erro. Além disso, podem exibir orientações para que o aluno não cometa o mesmo erro novamente.

4.3 PAT2Math

O PAT2Math é um STI que visa assistir aos alunos no processo de aprendizagem de resolução de problemas algébricos, mais especificamente na resolução de equações de primeiro grau. Além disso, ele é um sistema *step-based*, ou seja, ele permite que os alunos resolvam as equações passo a passo, fornecendo assistência ao aluno. Essa assistência se dá na forma de *feedback* mínimos, *error-feedback* e dicas (Seffrin et al., 2011; Jaques et al., 2013).

O PAT2Math possui um sistema especialista responsável por resolver equações algébricas e verificar se os passos fornecidos pelo aluno estão corretos. O sistema especialista do PAT2Math é composto por dois módulos (Jaques et al., 2013): o *step analyzer* (SA) e o *step generator* (SG). O SG é o responsável por gerar o próximo passo, ou uma lista de passos possíveis, que o aluno poderia utilizar para resolver o problema em questão. É também função do SG gerar as dicas para o próximo passo. Já o SA tem como função comparar o passo do aluno com os passos possíveis gerados pelo SG e retornar *feedback*.

Em sua versão atual, o PAT2Math é composto pelo PATequation, representando o *inner loop*. Para o *outer loop* as tarefas são disponibilizadas como uma lista pré-definida, agrupadas por nível de dificuldade, e são selecionadas pelo próprio aluno (Jaques et al., 2013).

5 Trabalhos Relacionados

A ferramenta *PAL Tool* (Gama, 2004a, 2004b) é um STI que exemplifica a heurística para resolução de problemas algébricos descrita na Seção 2.2. A principal característica da ferramenta é auxiliar na organização e representação de problemas algébricos em partes menores, ou seja, o aluno deve indicar separadamente os dados, incógnitas, objetivos e relações entre eles. Até a última versão, PAL Tool não fornecia *feedback* indicando se as informações inseridas pelos alunos estão corretas.

O *Cognitive Algebra Tutor* (Koedinger et al., 1997) inclui um módulo que auxilia os alunos na fase de tradução do problema. Na ferramenta proposta, os alunos lêem o problema em sua forma textual e devem representá-lo através gráficos e símbolos, que são posteriormente utilizados para a resolução do problema. Além do problema em forma textual, os alunos têm a sua disposição uma série de perguntas, as quais os guiam durante a etapa de tradução do problema. O sistema também fornece *feedbacks* e dicas. É importante ressaltar que o *Cognitive Algebra Tutor* é um dos STIs mais difundido nas escolas americanas no domínio de álgebra. Estima-se que mais de 1500 escolas o utilizam nos EUA. É importante ressaltar que Sistemas Tutores Inteligentes não são tão difundidos nas escolas brasileiras quanto em escolas de outros países (PACT Center, 2016).

O tutor *Ms. Lindquist* (Heffernan & Koedinger, 2002) aborda o processo de forma diferente. A ferramenta provê uma conversação com o aluno, onde o mesmo interage com o sistema através de escolhas apresentadas como opções, geradas a partir do contexto do problema sendo resolvido e das informações guardadas no modelo cognitivo do aluno. O sistema fornece *feedbacks* indicando se as informações inseridas pelos alunos estão corretas e também disponibiliza dicas progressivas, ou seja, a cada vez que o aluno solicita uma dica o sistema exibe uma dica mais específica.

Lemos (2014) propôs um editor inteligente, com o objetivo de auxiliar os alunos na fase de tradução do problema, que foi integrado ao STI PAT2Math. A ferramenta desenvolvida, chamada de *PATtranslation*, possui uma interface semelhante àquela do PAT2Math, como pode ser visto na Figura 1. A interface apresenta o problema, em forma textual, no topo, e logo abaixo ela se divide em áreas, cada uma representando uma das partes em que se divide a equação.

Figure 1: Interface do PATtranslation. Fonte: adaptado de Lemos (2014).

Para a definição das partes do problema, o sistema exibe uma série de listas, contendo os itens ainda não definidos. Por exemplo, para definir os dados, o sistema exibe uma lista contendo todos os dados ainda não definidos, a partir da qual o aluno deve selecionar um e definir o valor numérico associado àquele dado. A definição das incógnitas segue o mesmo padrão, com a diferença de que o aluno deve informar uma letra para representar a incógnita. Para a definição das

relações, o sistema exibe uma lista contendo as relações ainda não definidas, a partir da qual o aluno deve selecionar uma e, utilizando os dados já definidos e símbolos de operações matemáticas, definir a relação.

Definidas as relações, é habilitada a função de definição da equação, onde utilizando os dados, incógnitas e relações já definidas e símbolos de operações matemáticas, o aluno deve definir a equação. O sistema também oferece *feedback* mínimo em cada passo, ou seja, informa ao aluno se as informações inseridas estão corretas.

Uma característica que pode ser notada nos trabalhos de (Koedinger et al., 1997) e (Lemos, 2014) é a interface um tanto “engessada", de forma que o aluno deve sempre seguir certa ordem para resolver os problemas. Dessa forma, esse trabalho propõe um editor inteligente, que além de incorporar as diretrizes da Teoria da Carga Cognitiva e, tomar como base alguns tipos de efeitos (ver seção 3.2), apresenta uma interface mais flexível, onde o aluno é encorajado a resolver os problemas de forma mais criativa.

Embora existam outros sistemas computacionais voltados a auxiliar estudantes na tradução de problemas algébricos, os trabalhos citados nessa seção foram escolhidos devido a terem sido desenvolvidos por pesquisadores de renome na área, por apresentar um grande diferencial em relação aos demais trabalhos (Heffernan & Koedinger, 2002), por ser um dos STIs mais utilizados ainda hoje em escolas (Koedinger et al., 1997) e, por ter sido a principal inspiração para este trabalho (Lemos, 2014).

6 PATtranslator2

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver um editor inteligente, chamado de PATtranslator2, para auxiliar os estudantes na tradução de problemas algébricos. O editor auxiliará os alunos em todas as fases de resolução de problemas propostas por Mayer (1999): tradução do problema, integração do problema, planejamento e monitoramento da solução e, através da integração com o PAT2Math, execução da solução.

O PATtranslator2 é um sistema web, implementado utilizando as linguagens do PAT2Math: Java e HTML5. O editor segue, também, as diretrizes da Teoria da Carga Cognitiva (ver Seção 3), com o objetivo de apresentar o conteúdo da melhor forma possível aos alunos, tornando o processo de aprendizagem mais eficiente.

As principais funções que o PATtranslator2 possibilita aos alunos são: *(i)* identificar as partes do problema (dados e incógnitas); *(ii)* propor relações entre as partes identificadas; *(iii)* propor equações a partir das partes e relações identificadas; *(iv)* consultar o histórico de problemas resolvidos anteriormente; e *(v)* resolver as equações, através da integração com o PAT2Math.

O PATtranslator2 é um STI do tipo *step-based*, ou seja, ele permite ao aluno resolver os problemas passo a passo. Durante a resolução, para cada passo, o editor fornece *feedback* ao aluno informando se o mesmo está correto ou não, além de dicas e *error-feedback*.

6.1 Funcionamento

O PATtranslator2 possui uma interface similar à do PAT2Math, simulando uma página de caderno, conforme pode ser visualizado na Figura 2. No topo se encontra o enunciado do exercício sendo resolvido e, logo abaixo, se encontra uma seção com os passos realizados pelo aluno, onde cada interação do aluno com a interface gera uma linha nessa seção, contendo uma descrição do passo realizado e um indicador sinalizando se o passo está correto.

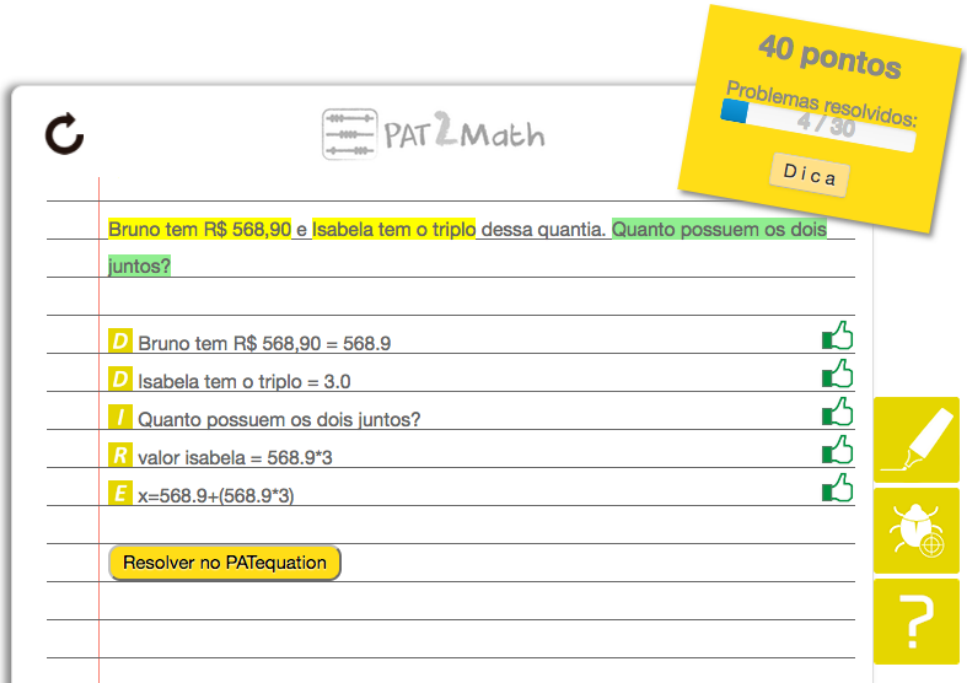

Figure 2: Interface do PATtranslator2 (Fonte: Elaborado pelo autor).

Para ilustrar a definição de dados e incógnitas, utilizaremos como exemplo o seguinte enunciado: "*Bruno tem R$ 568,90 e Isabela tem o triplo dessa quantia. Quanto possuem os dois juntos?*"

Para a definição dos dados, basta ao aluno selecionar diretamente no texto do enunciado os dados do problema. Utilizando o problema do exemplo, o aluno pode selecionar apenas a palavra "Bruno" ou, opcionalmente, pode selecionar diferentes partes do texto, como "R$ 568,90" ou mesmo a frase completa "Bruno tem R$ 568,90". Essas diferentes opções de seleção do texto dependem da forma como o problema foi cadastrado no sistema, através do módulo do professor, que pode ser visto na Seção 6.2.1.

Após a seleção, o sistema verifica se a parte do enunciado selecionada corresponde a alguma das possibilidades associadas ao problema. Caso a seleção seja correta, aparecem duas caixas de texto, onde na primeira o aluno pode digitar uma descrição para o dado e, na segunda, o aluno deve digitar o valor do dado. Caso o valor esteja incorreto, será exibida uma mensagem, a caixa de texto será limpa e o aluno poderá tentar novamente. Caso o valor esteja correto, as caixas de texto desaparecem e são substituídas por um texto no formato "*descrição* = *valor*".

Para a definição das incógnitas, o processo é semelhante, porém o aluno deve utilizar o

marcador verde. Para trocar de marcador, basta clicar sobre o ícone de marcador, localizado à direita da folha do caderno (ícone de caneta marcadora). Adicionalmente, não é necessário que o aluno defina uma descrição ou o valor da incógnita. Por padrão, o sistema assume como descrição o texto da incógnita e atribui a ela uma letra do alfabeto. Caso a seleção esteja correta, aparece na seção de passos realizados um texto no formato "*descrição* = *x*".

Em ambos os casos, após a entrada dos dados corretos, será exibido um indicador sinalizando que o passo está correto. Além disso, a parte do texto selecionada permanecerá marcada.

Após a definição de todos os dados e incógnitas, e se o problema contiver relações, o sistema passa automaticamente para a definição das mesmas. Aparecem duas caixas de texto, onde na primeira, o aluno deverá inserir uma descrição para a relação e na segunda a própria relação. Para auxiliar o aluno nessa etapa, aparece logo abaixo na folha do caderno, uma calculadora contendo além dos números e de operações matemáticas, um botão para cada dado, incógnita e relação já definidos pelo aluno, de forma a facilitar a inserção dos dados.

Após digitar a sua resposta e teclar *enter*, é validada se a relação está correta e, caso positivo, as caixas de texto desaparecem e dão lugar a um texto no formato "descrição = expressão". Será também exibido um indicador sinalizando se o passo está correto. Caso o valor esteja incorreto, será exibida uma mensagem, a segunda caixa de texto será limpa e o aluno poderá tentar novamente. Após a definição de todas as relações, o sistema passa automaticamente para a definição da equação. O procedimento para inserir uma equação é idêntico ao de relações.

Após definir a equação corretamente, aparecerá também, um botão *Resolver no PATequation*. Ao clicar nele, a interface do PATequation é exibida e o aluno pode resolver a equação, ou seja, descobrir o valor da incógnita do problema.

6.1.1 Histórico

O PATtranslator2 exibe o histórico de passos resolvidos pelo aluno. Para visualizá-los, basta ao aluno clicar sobre um problema que já tenha resolvido ao menos um dos passos. O sistema exibirá todos os passos já resolvidos e o permitirá continuar a resolução do problema do ponto onde parou. O principal objetivo do histórico é permitir que o aluno consulte exercícios resolvidos anteriormente que possam ter relação ou sejam semelhantes de alguma forma com o exercício sendo resolvido.

6.1.2 Planos de Aula

Os planos de aula agrupam problemas semelhantes, sendo que o primeiro exercício de cada plano é um exemplo resolvido, ou seja um exemplo de problema resolvido passo a passo pelo próprio sistema. Além disso, o sistema exibe algumas informações e dicas sobre como resolver problemas semelhantes e também sobre o uso do sistema em geral. Os planos de aula podem ser montados pelos professores, através do módulo do professor, descrito na seção 6.2.1.

6.2 Arquitetura

O PATtranslator2 foi desenvolvido como um módulo do STI PAT2Math e a sua interface está inserida dentro do *inner loop* do mesmo (ver Seção 4.3). O PATtranslator2 contém dois compo-

nentes internos principais: o corretor e a interface. O corretor é o responsável pela execução de um algoritmo com o objetivo de verificar se as respostas do aluno estão corretas e fornecer *feedback* sobre ela a cada passo executado. A interface é responsável pela interação com o aluno. O funcionamento do corretor é descrito na Seção 6.3.

6.2.1 Módulo do Professor

Para facilitar o gerenciamento do sistema, foi criado um módulo do professor, no qual os professores podem gerenciar os problemas já cadastrados e adicionar novos. Além disso, o módulo possibilita o gerenciamento dos planos de aula, tópicos e dicas do sistema. O módulo do professor pode ser visto no apêndice E deste trabalho.

O processo de inclusão de problemas, planos, tópicos e dicas é bem simples e consiste apenas no preenchimento de alguns campos. No caso dos problemas, por exemplo, é necessário preencher o nome, o tipo do problema, o nível de dificuldade e o texto do enunciado.

Uma vez cadastrado o problema, o professor pode adicionar dados, incógnitas, relações e equações a ele. Esse processo também é bem simples, bastando ao professor preencher os campos necessários. Para adicionar um dado, por exemplo, é necessário preencher o seu valor e pelo menos uma opção de seleção, que é uma parte do texto do enunciado. Além disso, o sistema possibilita a indicação de cinco dicas opcionais, sendo duas para auxiliar o aluno na seleção do dado e três para auxiliar o aluno, caso o mesmo indique um valor incorreto para o mesmo.

6.3 Correção Passo a Passo

A verificação dos dados ocorre em duas etapas. A primeira ocorre quando o aluno seleciona uma parte do texto do enunciado e, caso o texto selecionado corresponda a uma das opções de texto cadastradas para o dado ou incógnita do problema, a resposta é aceita. A segunda etapa ocorre quando o aluno já selecionou corretamente uma parte do enunciado e está digitando o valor do dado. Caso o valor digitado pelo aluno corresponda ao valor cadastrado para o dado, a resposta é aceita.

Para a verificação de relações e equações apenas a segunda etapa da correção é utilizada, pois não há a seleção de texto por parte do aluno. Porém, a verificação se dá de forma mais complexa, pois é necessário avaliar as relações levando em conta itens como a ordem dos fatores (uma relação $25+3$ deve ser aceita, assim como uma relação $3+25$), a utilização de parênteses e precedência das operações.

O processo de verificação de relações e equações começa quando o aluno, após digitar uma relação ou equação, pressiona o botão *enter* no seu teclado. O primeiro passo é definir se o aluno digitou uma equação (iniciando com $x =$, por exemplo) ou uma relação. Para a continuidade deste exemplo, considera-se que o aluno digitou uma equação.

O segundo passo é verificar se a equação digitada pelo aluno corresponde à equação cadastrada para o problema. Essa verificação ocorre também em duas etapas, sendo que a primeira verifica se as duas possuem os mesmos caracteres (essa verificação é aceita se 100% dos caracteres correspondem) e a segunda resolve efetivamente as duas equações e verifica se as duas equações possuem o mesmo resultado. Caso todas as verificações sejam aceitas, a resposta do aluno é aceita.

6.4 Teorias Pedagógicas

O PATtranslator2 sofreu grande inspiração do trabalho de Polya (1971), utilizando como base as questões definidas pelo autor (ver Seção 2.1) para a definição da arquitetura e interface de interação com os alunos.

O editor também se utiliza dos tipos de efeitos (ver Seção 3.2). Especificamente, o trabalho teve influência do efeito de atenção dividida (Ayres & Sweller, 2005), removendo da interface botões e gráficos desnecessários para a realização do passo atual. O Efeito da Ajuda e o Efeito do Exemplo Resolvido, demonstrados por diversos pesquisadores (Chandler et al., 2003; F. Paas et al., 2003; van Merrienboer et al., 2002), também serviram como fonte de inspiração. Os primeiros problemas de cada plano de aula são resolvidos pelo próprio sistema, mostrando com comentários e dicas ao aluno como cada tipo de problema pode ser resolvido.

O histórico, onde o aluno pode visualizar os exercícios resolvidos anteriormente, também está alinhado com o trabalho de Polya (1971), pois Polya acredita que o aluno se beneficia ao encontrar exercícios resolvidos relacionados com o exercício sendo trabalhado. Já o botão *Resolver no PATequation*, que integra o PATtranslator2 ao PATequation, permite que os alunos executem a última fase de resolução de problemas definidas por Mayer (1999), que é a execução da solução.

7 Avaliação

O objetivo da avaliação do PATtranslator2 foi verificar se o editor auxiliou os alunos no aprendizado do processo de tradução de problemas, ou seja, se auxiliou a identificar as partes do problema, como dados e incógnitas, propor relações entre eles e montar uma equação que represente o problema.

A avaliação foi realizada em uma escola privada de ensino da cidade de São Leopoldo (RS) durante seis semanas, sendo todas com a duração de um período (50 minutos) por semana para cada turma. Na primeira semana foi aplicado o pré teste, para avaliar o conhecimento prévio dos alunos, e na última semana foi aplicado o pós teste, para avaliar o conhecimento dos alunos após a utilização do sistema e possibilitar o estudo comparativo, com o sistema sendo efetivamente utilizado nas outras quatro semanas. O pré teste e o pós teste aplicados podem ser visualizados respectivamente nos apêndices A e B deste trabalho.

A avaliação consistiu de um *quasi-experimento*, que é todo desenho de dois grupos que não usa a atribuição aleatória, ou seja, os grupos são definidos por critérios onde o experimentador não possui controle (Wainer, 2012). Esse tipo de seleção foi utilizada nesse trabalho porque as interfaces das versões dos grupos de controle e experimental eram diferentes. Caso fosse realizada uma distribuição aleatória dentro da mesma turma, os alunos poderiam notar que estavam usando versões diferentes do sistema e isso impactar na avaliação.

Ambos os grupos, experimental e de controle, eram turmas do 7° ano do ensino fundamental compostos de alunos entre 12 e 14 anos de idade, sendo o experimental com 30 alunos e o de controle com 29. As turmas foram designadas aleatoriamente à situação controle e experimental.

Foram utilizadas duas versões do editor. Enquanto o grupo experimental utilizou a versão completa do PAT2Math com o PATtranslator2, o grupo de controle utilizou uma versão mais

simples, onde é apresentado ao aluno um único campo de texto onde ele deve digitar apenas a equação do problema, conforme pode ser visto na Figura 3. Nessa versão também não existem exemplos trabalhados e dicas. Tanto na versão completa quanto na versão de controle, após concluir a resolução do sistema, é exibido um botão, o qual permite que o aluno resolva a equação no PAT2Math.

O objetivo da utilização de duas versões é a possibilidade de realizar uma avaliação comparativa quantitativa entre os dois grupos de alunos. Segundo Woolf (2009), esse tipo de avaliação permite verificar se as funcionalidades da versão completa do sistema são de fato mais efetivas do que as da versão mais simples. Além disso, esse tipo de avaliação reduz a ameaça à validade da pesquisa conhecida como *efeito Hawthorne*, quando o efeito desejado se deve ao tratamento especial dado ao grupo experimental. Isso pode ocorrer, por exemplo, quando o grupo experimental usa o laboratório de informática enquanto o grupo de controle fica na sala de aula resolvendo no caderno (Wainer, 2007).

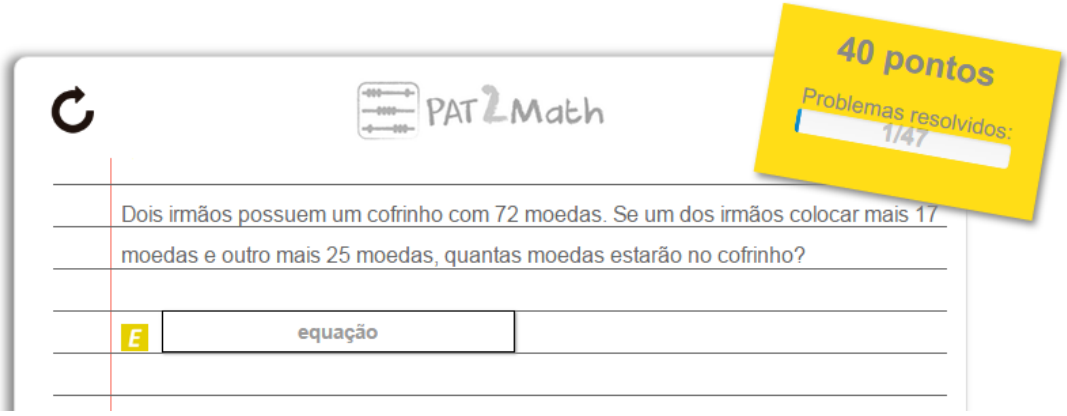

Figure 3: Interface da versão de controle do PATtranslator2 (Fonte: Elaborado pelo autor).

Para a avaliação foram cadastrados no sistema 58 problemas de nível fácil, médio e difícil, obtidos através de pesquisa bibliográfica e da professora da escola, sendo três na forma de exemplo trabalhado, os quais exibem um passo a passo sobre como resolvê-los e também apresentam dicas sobre o uso do sistema em geral. Durante a avaliação foram contabilizados o total de problemas traduzidos por cada aluno[3].

Na última sessão, juntamente com o pós-teste, um questionário de engajamento foi aplicado a ambos grupos. O questionário contém sete questões fechadas que utilizam a escala Likert e uma questão para que os alunos expressem livremente suas opiniões. As questões foram elaboradas para verificar a aceitação do PATtranslator2 pelo aluno e sua percepção em relação aos objetivos do mesmo. O questionário de engajamento aplicado pode ser observado no apêndice C deste trabalho.

[3]Um dos problemas em avaliar o conhecimento algébrico dos estudantes é que, se um problema é muito simples, eles sempre podem resolvê-lo aritmeticamente, por exemplo, por tentativa e erro, testando vários valores (Stacey & MacGregor, 1999). Embora os testes aplicados nesse experimento envolviam problemas algébricos simples, pois os alunos tiveram pouco tempo de interação com o ambiente; esse não é o caso dos testes (pré e pós) aplicados, pois os problemas solicitavam que o aluno fornecesse uma equação e não a resposta final (o valor da incógnita).

8 Resultados

Após uma pesquisa ou experimento, é importante que os seus dados sejam analisados e discutidos. Para este trabalho são utilizadas duas técnicas: o teste de hipótese e a análise exploratória de dados (AED).

O teste de hipótese é um procedimento estatístico baseado na análise de uma amostra, que usa estatística amostral para testar uma alegação sobre um valor de um parâmetro populacional (Dancey & Reidy, 2008). Os testes de hipóteses são constituídos por duas hipóteses: a hipótese nula (que traz a ausência do que se quer verificar) e a hipótese alternativa (que representa o que o investigador quer verificar). Por exemplo, para descobrir se o PATtranslator2 de fato auxilia os alunos a aprender a traduzir problemas algébricos, pegamos uma amostra (as duas turmas do 7° ano), medimos a quantidade de acertos de cada elemento da amostra (os alunos) ao resolver problemas algébricos em dois testes, um anterior ao experimento e outro após o experimento, e calculamos a média e desvio padrão dos testes. Para verificar se os resultados encontrados são significativos ou aconteceram por acaso, é aplicado um teste estatístico comparando as médias dos pós-testes dos dois grupos e usando o pré-teste para eliminar o efeito do conhecimento prévio dos estudantes.

Já a análise exploratória de dados, consiste basicamente em explorar os dados através de técnicas gráficas. A AED facilita o processo de entendimento sobre como os participantes do experimento se comportaram. Para este trabalho, foi utilizado um diagrama conhecido como diagrama de caixa e bigodes (*box plot*), que pode ser visualizado na Figura 4 (Dancey & Reidy, 2008).

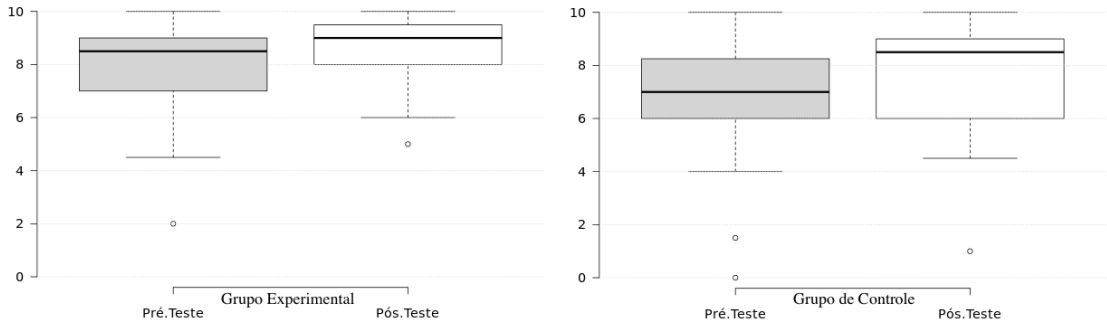

Figure 4: Boxplot das notas do pré e pós testes dos grupos experimental e controle. (Fonte: Elaborado pelo autor.).

A hipótese do experimento é que os alunos que utilizam PAT2translator2 aprendem mais efetivamente a resolver problemas algébricos. Para tanto, verificamos se a média de acertos dos alunos que utilizaram a versão experimental foi significantemente maior que a média dos alunos que utilizaram a versão de controle. A hipótese nula é a de que a média dos alunos que utilizaram a versão experimental é menor ou igual a média dos alunos que utilizaram a versão de controle. O grau de confiança adotado é de 95% ($\alpha = 0,05$).

Primeiramente, foi aplicado um *teste t pareado*, para comparar o desempenho entre o pré e o pós-teste dentro de cada grupo. O objetivo era verificar se ambos os grupos tiveram ganho de aprendizagem. O teste estatístico evidencia um ganho de aprendizagem significativo para ambos os grupos, com $t(29) = -1,98$ e $p = 0,03$ para a diferença do pós-teste para o pré-teste no grupo

Table 1: Estatística Descritiva dos Grupos de Controle e Experimental.

	Geral			Pré-Teste		Pós-Teste		Ganho	
	Acertos	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**
Experimental	916	44,04	89,18	7,93	1,92	8,58	1,27	0,65	1,97
Controle	525	29,91	104,08	6,76	2,37	7,5	2,25	0,64	1,78

de controle, e $t(30) = -1,79$ e $p = 0,04$ para a diferença no grupo experimental. Esse tipo de resultado é natural, uma vez que ambas as turmas tiveram aulas de álgebra durante o período e resolveram problemas algébricos. Por isso, é importante verificar se a turma que utilizou o PATtranslator2 (experimental) aprendeu mais que a outra turma (controle).

Para a avaliação da hipótese do experimento foi utilizado o teste *one-way* ANCOVA para comparar as notas dos alunos no pós teste em ambas as condições (controle e experimental), usando o desempenho no pré-teste como covariável. O teste ANCOVA foi utilizado, pois reduz a variância do erro, e assim fornece um teste mais poderoso e é indicado no caso de quasi-experimentos (Dancey & Reidy, 2008). Embora a média no pós teste dos alunos no grupo experimental ($M = 8,58$, $DP = 1,26$) tenha sido maior que a média do pós teste do grupo de controle ($M = 7,5$, $DP = 2.24$), não foi encontrada uma diferença estatisticamente significativa ($F(1,49) = 1,62$, $p = 0,21$).

A quantidade de problemas traduzidos corretamente, por grupo, sumarizados por plano de aula, pode ser visto na Tabela 1. Nela também consta a média e o desvio padrão de cada um. A Figura 5 mostra a quantidade de problemas resolvidos, sumarizados por plano de aula. Uma análise inicial mostra que os alunos do grupo experimental conseguiram traduzir mais problemas durante o período do experimento.

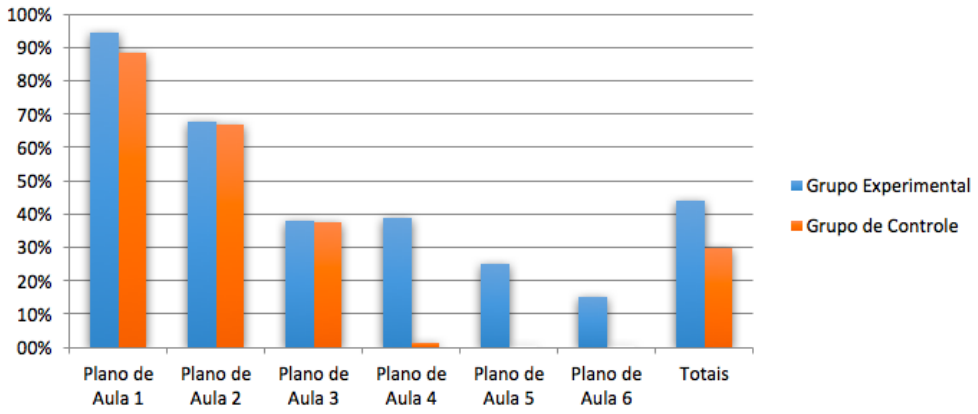

Figure 5: Problemas resolvidos por grupo, sumarizados por plano de aula. (Fonte: Elaborado pelo autor).

As questões do questionário de engajamento foram elaboradas na escala Likert, e o nível de concordância vai do 1 ao 5, onde o 5 é o mais afirmativo. As médias das respostas dos alunos para acada questão são sumarizados na tabela 2. Uma análise gráfica dos dados referentes às respostas do questionário mostra a quantidade de alunos que escolheu cada resposta, sendo que a Figura 6 mostra os dados do grupo experimental enquanto que a Figura 7 mostra os dados do grupo de controle.

Table 2: Média das respostas dos alunos (escala Likert) do questionário.

Questões	Controle	Experimental
Q6 - Interessante	4.42	3.83
Q7 - Ajudou a identificar partes do problema	4.35	4.34
Q8 - Mais fácil	4.50	3.87
Q9 - Mais divertido	4.54	4.03
Q10 - Mais motivado para tema de casa	4.35	3.97
Q11 - Melhor que papel e caneta	4.42	4.00

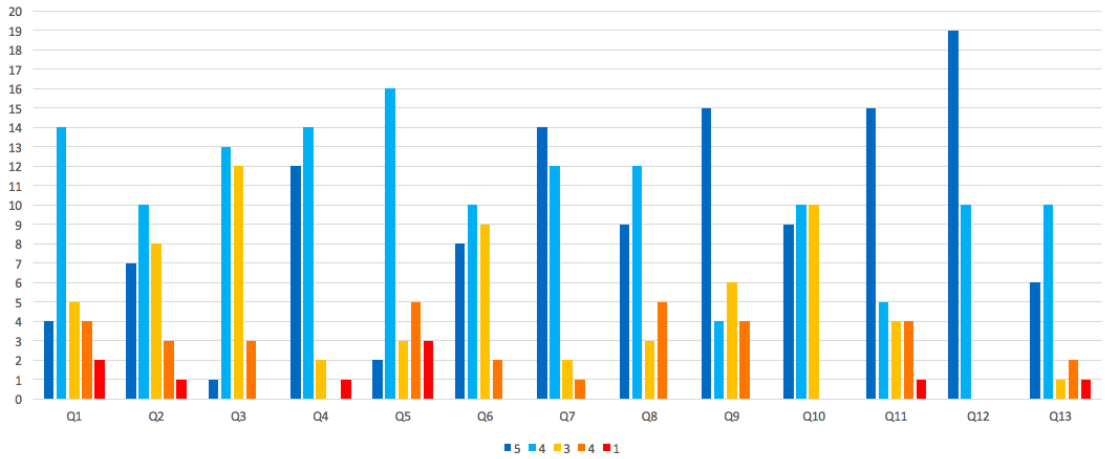

Figure 6: Quantidade de itens escolhidos por questão do questionário (grupo experimental).(Fonte: Elaborado pelo autor).

8.1 Discussão

Como comentado na seção 8, o teste estatístico ANCOVA não evidenciou uma diferença significativa de aprendizagem entre o grupo que utilizou o PATtranslator2 e o grupo de controle. Uma das possíveis causas para o resultado não significativo foi a curta duração do quasi-experimento, onde os alunos utilizaram o sistema durante apenas quatro períodos de 50 minutos, sendo um período por semana. Além disso, a complexidade do conteúdo também pode ser considerada como um dos fatores.

No entanto, a avaliação dos resultados mostra que a média final do grupo experimental foi maior que o do grupo de controle. É possível observar na Figura 4 a diferença entre os resultados do pré teste e do pós teste para ambos os grupos. Para o grupo experimental pode-se observar que há um ganho de desempenho, bem como a faixa contendo a maioria das notas obtidas se torna mais estreita, mostrando que as notas aumentaram, ficando mais próximas da média. Por outro lado, para o grupo de controle, embora tenha havido um aumento nas notas, as notas mais baixas se mantiveram no mesmo nível, o que explica a faixa de valores mais ampla.

Além disso, os alunos do grupo experimental traduziram mais problemas (ver Tabela 1) durante o período do quasi-experimento (ver Figura 5). Um dos fatores que pode ter influenciado nesse resultado são as dicas do sistema, pois pôde-se notar que os alunos do grupo experimental conseguiam resolver os problemas apenas utilizando as dicas do sistema e o seu conhecimento prévio como base e recorriam menos à professora para buscar ajuda.

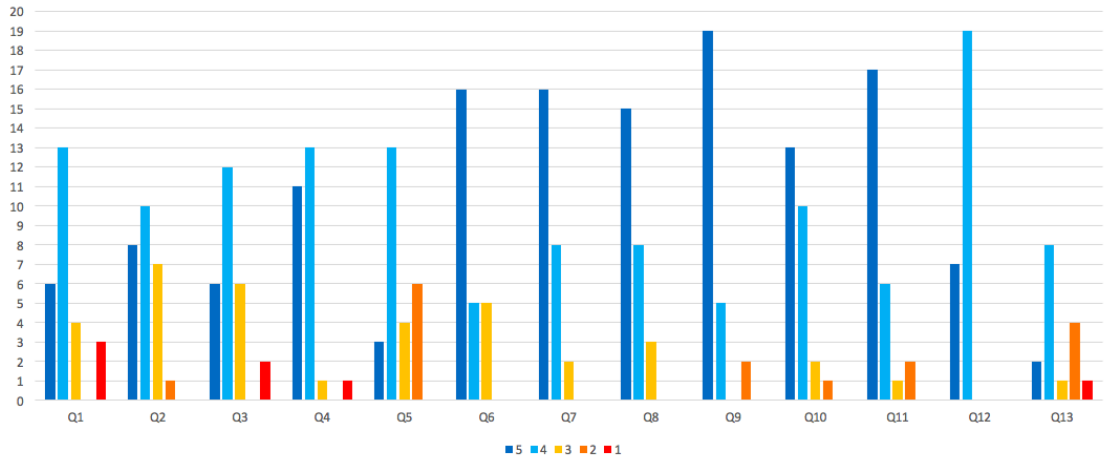

Figure 7: Quantidade de itens escolhidos por questão do questionário (grupo de controle). (Fonte: Elaborado pelo autor).

Os resultados do questionário mostram, surpreendentemente, que os alunos do grupo de controle, utilizando uma versão simplificada do editor, tiveram uma experiência mais agradável com o PATtranslator2 do que os alunos do grupo de experimental. Explicações para esse resultado podem ser encontradas nas respostas dos alunos nas questões abertas, onde vários alunos do grupo de controle manifestaram que preferem digitar do que utilizar o papel e caneta: *"Porque gosto muito mais de fazer [os exercícios] por meio da digitação do que papel e caneta."*. Por outro lado, os alunos do grupo experimental se manifestaram dizendo que resolver os exercícios em papel e caneta proporcionava mais liberdade: *"Aprendo mais escrevendo [no caderno]", "No caderno as contas são feitas mais rápido."*, o que mostra que o editor poderia ser mais flexível e permitir aos alunos outras formas de interação e entrada de dados.

Nos espaços reservados para expressar opiniões e sugestões, os alunos responderam que o PATtranslator2 é "mais prático, fácil e divertido". Mais algumas respostas se destacam: "é mais divertido, e acho que aprendemos mais rápido", "porque prefiro digitar do que escrever", "é mais intuitivo e divertido", "porque as contas são feitas mais rápido", "fico mais concentrado quando resolvo os problemas no computador". Um dos alunos respondeu que não utilizaria o PATtranslator2 para resolver problemas em casa, "porque eu acho mais prático resolver em papel e caneta". Além disso, alguns alunos relataram que gostariam que o sistema disponibilizasse um espaço para rascunhos e anotações: "com a possibilidade de um rascunho seria mais prático que fazer no caderno". Os resultados do questionário também mostram que a maioria dos estudantes acha interessante estudar matemática e gosta de resolver problemas algébricos. Porém, a maioria respondeu que estuda matemática apenas quinzenalmente.

Também foi observado durante o experimento que os alunos do grupo experimental interagiram muito menos entre si e com a professora para tirar dúvidas do que os alunos do grupo de controle. Apenas com a explicação inicial e com os exercícios resolvidos, utilizados de acordo com o Efeito do Exemplo Resolvido (ver seção 6.4), muitos deles já conseguiram traduzir os problemas.

Os alunos se mostraram satisfeitos com o sistema de dicas e, com isso, no grupo experimental, foram poucos os que recorreram à professora para tirar dúvidas sobre os problemas. Além

disso, durante o experimento foi observado que os alunos do grupo de controle por muitas vezes tentavam "acertar a resposta" tentando várias combinações. Essa tentativa dos alunos de tentar acertar a resposta é chamada de *"Gaming the System"* e é prejudicial a aprendizagem (Baker et al., 2008).

9 Conclusão

Neste artigo foi proposta a criação de um editor, chamado PATtranslator2, para auxiliar os alunos na fase de tradução de problemas algébricos, a partir do enunciado até a definição das equações. Esse editor é integrado ao PAT2Math, e com isso atende a todas as fases da resolução de problemas (Mayer, 1999).

Para isto, foram incorporadas ao editor as teorias pedagógicas sobre como resolver problemas algébricos, que envolve quatro fases (Mayer, 1999): Tradução do problema; Integração do problema; Planejamento e monitoramento da solução; e Execução da solução. Também foram estudadas as melhores práticas instrucionais de acordo com a Teoria da Carga Cognitiva para auxiliar os alunos dentro de cada fase, porém com foco na fases de tradução e integração. Foram estudados também os tipos de efeitos que podem influenciar o trabalho dos alunos ao resolver problema, como o efeito da ajuda e efeito do problema resolvido, demonstrados por diversos pesquisadores da área, entre eles (Chandler et al., 2003; F. Paas et al., 2003; van Merrienboer et al., 2002).

Foi feita uma avaliação quantitativa experimental do PATtranslator2, a fim de verificar se os recursos propostos efetivamente auxiliaram os estudantes. Duas turmas do 7° ano do ensino fundamental utilizaram o sistema. Uma das turmas utilizou uma versão que não disponibilizava dos recursos propostos, onde os alunos inseriam no sistema apenas a resposta final, enquanto que a outra turma utilizou a versão completa do sistema. Embora a média no pós-teste do grupo experimental tenha sido maior que a do grupo de controle, não foi encontrada uma diferença estatisticamente significativa. No entanto, a turma que utilizou a versão completa do PATtranslator2 traduziu mais problemas corretamente durante o período do experimento. Além disso, o questionário de engajamento mostrou que os alunos que usaram o PATtranslator2 acharam resolver problemas no editor mais fácil e mais divertido do que resolvê-los em papel e caneta, e também responderam que "com certeza" prefeririam utilizá-lo.

Como trabalhos futuros, pretende-se coletar e avaliar mais dados a partir da utilização do sistema, como a quantidade de erros cometidos pelos alunos, principalmente para a versão de controle, onde foi observado que os alunos utilizaram a técnica da "tentativa e erro". No entanto, na versão atual do sistema, não há dados para comprovar a observação. Outro dado interessante que poderia ser coletado seria a quantidade de dicas solicitadas pelos alunos, como forma de verificar, de certa forma, se os mesmos estão as utilizando ou recorrendo à professora e colegas. Contabilizar o tempo que cada aluno leva para resolver um problema também poderia ser útil para a análise.

Quanto a características do sistema, poderia ser adicionada seria a possibilidade de o aluno inserir a equação final a qualquer momento durante a resolução do problema, criando assim a mesma liberdade de uso apresentada pelo PAT2math, na resolução de equações. Além disso, a implementação de uma área para rascunho, característica muito solicitada pelos alunos no ques-

tionário de engajamento, também poderia ser considerada para uma versão futura do editor. Finalmente, como muitos alunos colocaram que preferem a escrita à mão como modo de entrada de dados, o grupo vem trabalhando na integração de reconhecimento automático da escrita à mão no PAT2Math.

References

Anderson, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., & Pelletier, R. (1995). Cognitive tutors: Lessons learned. *The Journal of the Learning Sciences*, *4*(2), 167–207. [GS Search]

Ayres, P., & Sweller, J. (2005). The Split Attention Principle. In R. Mayer (Ed.), *The cambridge handbook of multimedia learning* (p. 135-146). Cambridge: Cambridge University Press. [GS Search]

Baddeley, A. (1982). *Your Memory, A Users Guide*. New York: Macmillan. [GS Search]

Baker, R., Walonoski, J., Heffernan, N., Roll, I., Corbett, A., & Koedinger, K. (2008, April). Why students engage in "gaming the system" behavior in interactive learning environments. *Journal of Interactive Learning Research*, *19*(2), 185–224. [GS Search]

Booth, L. R. (1995). Dificuldades das crianças que se iniciam em Álgebra. In A. Coxford & A. Shulte (Eds.), *As idéias da álgebra* (pp. 23–37). São Paulo, SP. [GS Search]

Brasil (2008). Parâmetros curiculares nacionais - Terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental - Matemática. *Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Fundamental*. [GS Search]

Burns, H. L., & Capps, C. G. (1988). Foundations of intelligent tutoring systems: An introduction. In M. C. Polson & J. J. Richardson (Eds.), *Foundations of intelligent tutoring systems* (p. 1-19). Hillsdale, NJ: Erlbaum. [GS Search]

Chandler, P., Carlson, P., & Sweller, J. (2003). Learning and understanding science instructional material. *Journal of Education Psychology*, *95*(3), 629-640. [GS Search]

Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. In L. E. Associates (Ed.), *Cognition and instruction* (p. 292-332). Taylor and Francis. [GS Search]

Clark, C. R., Nguyen, F., & Sweller, J. (2005). *Efficiency in learning - evidence-based guidelines to manage cognitive load*. San Francisco, CA, USA: Wiley. [GS Search]

Dancey, C. P., & Reidy, J. (2008). *Estatística sem matemática para psicologia : usando spss para windows*. Porto Alegre : Artmed, 2008. [GS Search]

Dicionário Priberam (2016). Verbete heurística no dicionário priberam. *Priberam*. [GS Search]

Gama, C. (2004a). Integrating Metacognition Instruction in Interactive Learning Environments. *Tese de Doutorado (Matemática)*. [GS Search]

Gama, C. (2004b). Metacognition in interactive learning environments: The reflection assistant model. In *International conference on intelligent tutoring systems* (pp. 668–677). [GS Search]

Graesser, A. C., Wiemer-Hastings, K., Wiemer-Hastings, P., & Kreuz, R. (1999). Autotutor: A simulation of a human tutor. *Cognitive Systems Research*, *1*(1), 35 - 51. [GS Search]

Heffernan, N., & Koedinger, K. (2002). An Inteligent Tutoring System Incorporating a Model of an Experienced Human Tutor. *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, 596-608. [GS Search]

Jaques, P., Seffrin, H., Rubi, G., Morais, F., Ghilardi, C., Bittencourt, I. I., & Isotani, S. (2013). Rule-based expert systems to support step-by-step guidance in algebraic problem solving - the case of the tutor PAT2math. *Expert Systems with Applications*, *40*, 5456-5465. [GS Search]

Katz, S., Lesgold, A., Hughes, E., Peters, D., Eggan, G., & Gordin, M. (1998). Sherlock 2: An intelligent tutoring system built on the LDRC framework. *Facilitating the development and use of interactive learning environments*, 227-258. [GS Search]

Koedinger, K., Anderson, J., Hadley, W., & Mark, M. (1997). Intelligent Tutoring Goes to School in the Big City. *Int. J. of Artificial Intelligence in Education*, 30-43. [GS Search]

Lemos, P. (2014). Um editor para assistir a tradução de problemas algébricos. *Trabalho de Conclusão (Bacharel em Sistemas de Informação), UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos - São Leopoldo/RS*. [GS Search]

Mason, R. (2012). *Designing introductory programming courses: the role of cognitive load*. Unpublished doctoral dissertation, Southern Cross University, Lismore, AU.

Mayer, R. (1999). *The promise of educational psychology: Learning in the content areas*. Londres: Pearson education. [GS Search]

Miller, G. (1956). The Magical Number 7, Plus or Minus 2- Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, *63*(2), 81-97. [GS Search]

Mitrovic, A. (2003). An intelligent sql tutor on the web. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *13*(2-4), 173–197. [GS Search]

Mousavi, S., Low, R., & Sweller, J. (1995). Reducing Cognitive Load by Mixing Auditory and Visual Presentation Modes. *Journal of Education Psychology*, *87*(2), 319-334. [GS Search]

OECD (2016). Pisa 2015 Results in Focus. Retrieved from www.oecd.org/pisa [GS Search]

Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, *38*(1), 1-4. doi: 10.1207/S15326985EP3801_1 [GS Search]

Paas, F. G. W. C., & Merriënboer, J. J. G. V. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors*, *35*(4), 737-743. doi: 10.1177/001872089303500412 [GS Search]

PACT Center (2016). Pittsburgh Advanced Cognitive Tutor Center. Retrieved from http://pact.cs.cmu.edu [GS Search]

Polya, G. (1971). *How to solve it*. New Jersey, USA: Princeton University Press. [GS Search]

Seffrin, H., Rubi, G. L., & Jaques, P. A. (2011). O Modelo Cognitivo do Sistema Tutor Inteligente PAT2Math. In *Simpósio brasileiro de informática na educação* (pp. 10–19). Aracajú: SBC. [GS Search]

Souza, N. (2010). Teoria da carga cognitiva- origem, desenvolvimento e diretrizes aplicáveis ao processo ensino-aprendizagem. *Dissertação (Pós-Graduação em Ciências Matemáticas), Universidade Federal do Pará*. [GS Search]

Stacey, K., & MacGregor, M. (1999). Learning the algebraic method of solving problems. *The Journal of Mathematical Behavior*, *18*(2), 149 - 167. doi: 10.1016/S0732-3123(99)00026-7 [GS Search]

Vanlehn, K. (2006). The behavior of tutoring systems. *Int. J. Artif. Intell. Ed.*, *16*(3), 227–265. [GS Search]

VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, *46*(4), 197–221. [GS Search]

VanLehn, K., Lynch, C., Taylor, L., Weinstein, A., Shelby, R., Schulze, K., ... Wintersgill, M. (2002). Minimally invasive tutoring of complex physics problem solving. In (pp. 367–376). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [GS Search]

van Merrienboer, J., Schuurman, J., de Croock, M., & Paas, F. (2002). Redirecting learners' attention during training: effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction*, *12*(1), 11 - 37. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00020-2 [GS Search]

Wainer, J. (2007). Métodos de Pesquisa Quantitativa e Qualitativa para a Ciência da Computação. In T. Kowaltowski & K. Breitman (Eds.), *Jornada de atualização em informática - csbc* (pp. 221–262). Rio de Janeiro: SBC & PUC-Rio. [GS Search]

Wainer, J. (2012). Experimento em sistemas colaborativos. In M. Pimentel & H. Fuks (Eds.), *Sistemas colaborativos* (pp. 405–432). Rio de Janeiro, Brazil: Elsevier. [GS Search]

Wenger, E. (1987). *Artificial intelligence and tutoring systems: Computational and cognitive approaches to the communication of knowledge*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc. [GS Search]

Woolf, B. P. (2009). *Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc. [GS Search]

A Pré Teste

1. Matheus comprou uma Televisão e pagou em 9 parcelas de R$ 136,00. Quanto o aparelho custou?

2. Comprei 3 cadernos a R$ 18,00 cada um, 2 borrachas a R$ 1,00 cada uma, e meia dúzia de canetas a R$ R$ 2,50 cada uma. Quanto gastei?

3. Carolina e sua mãe foram à livraria comprar dois cadernos de R$20,00 cada, 3 canetas de R$ 5,40 cada uma e uma agenda de R$ 25,50. Eles deram R$ 100,00 para pagar, quanto receberam de troco?

4. Bruno tem R$ 568,90 e Isabela tem o triplo dessa quantia. Quanto possuem os dois juntos?

5. Numa farmácia o preço de 4 shampoos é de R$ 61,00. Quanto custa um shampoo?

6. Manuel tinha 8 caixas com 26 piões cada uma. Ele perdeu 8 piões. Quantos piões ele tem agora?

7. Uma menina quer comprar duas bonecas com R$50,00. Cada boneca custa R$20,00. Quanto ela vai receber de troco?

8. Uma escola recebeu a doação de 8 caixas de 100 livros, mais 5 pacotes de 10 livros, mais 9 livros. Quantos livros a escola recebeu?

9. Uma Escola tem 18 turmas e cada comporta, no máximo 34 alunos. Para o ano de 2016, foram preenchidas todas as vagas, e a direção da escola conseguiu organizar as turmas em três períodos, com quantidades iguais de alunos e sem sobrar nenhum. Quantos alunos estão matriculados em cada período?

10. Mariana comprou 3 canetas e uma lapiseira, gastando ao todo 60 reais. A lapiseira custou 24 reais. Quanto custou cada caneta, se elas tem o mesmo preço?

B Pós Teste

1. Maicon fez uma compra com R$300,00. A compra dele custou R$279,00. Quantos reais Maicon vai receber de troco?

2. Em um mês uma fabrica produz 1956 peças de roupa. Quantas peças de roupa essa fabrica vai produzir em um ano?

3. Um fazendeiro tinha 285 bois. Comprou mais 176 bois e depois vendeu 85 bois. Quantos bois esse fazendeiro tem agora?

4. Valéria tinha 248 figurinhas, colou 8 em cada página de um álbum. Quantas páginas tem seu álbum?

5. Carlos tinha 15 caixas com 41 selos cada uma. Ele achou mais 3 selos. Quantos selos ele tem agora?

6. Uma menina quer comprar duas bonecas com R$50,00. Cada boneca custa R$20,00. Quanto ela vai receber de troco?

7. A secretaria da saúde dispõe de 80000 doses de vacina para distribuir igualmente a 8 municípios. Se cada município dispõe de 4 postos de saúde, quantas doses de vacina receberá cada posto?

8. O senhor Nelson tinha saldo de R$800,00. Fez três retiradas de R$250,00 cada, depositou R$220,00 e, por fim, retirou R$450,00. Quanto passou a ser seu saldo?

9. Para uma excursão a um museu, um colégio alugou 4 ônibus. Em cada ônibus foram colocados 35 alunos . Além dos alunos 10 professores acompanham esses alunos na excursão. Quantas pessoas ao todo participaram dessa excursão?

10. Uma pilha comum dura cerca de 90 dias, enquanto que uma pilha recarregável chega a durar 5 anos. Se considerarmos que 1 ano tem aproximadamente 360 dias, poderemos dizer que uma pilha recarregável dura quantos dias?

C Questionário de Engajamento

Este questionário é parte integrante do projeto de pesquisa PAT2Math, vinculado ao programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, UNISINOS, sob orientação da Profa. Dra. Patrícia Jaques. As informações aqui contidas serão utilizadas para melhoria do sistema e seu nome será mantido em completo anonimato e sigilo. Contando com sua colaboração, solicitamos o preenchimento do mesmo e agradecemos antecipadamente a sua contribuição.

Sua opinião é muito importante e não se preocupe que isto não vai interferir na sua avaliação da disciplina. O projeto quer saber como auxiliar a melhorar o ensino de matemática na escola. Logo, fique a vontade e seja bem sincero!

Dados de identificação do Respondente:

Sexo ( ) Idade _____ Série _____

Escola ( ) Estadual ( ) Municipal ( ) Privada

1. Com que frequência você estuda matemática em casa (não conte as aulas no colégio)?

( ) Diariamente

( ) Semanalmente

( ) Quinzenalmente

( ) Mensalmente

( ) Nunca

2. Você acredita que estudar matemática é:

( ) Muito interessante

( ) Interessante

( ) Bom

( ) Chato

( ) Muito Chato

3. Você acredita que os exercícios de matemática que você faz no colégio são:

( ) Muito interessantes

( ) Interessantes

( ) Bons

( ) Chatos

( ) Muito Chatos

4. Você acredita que a matemática ajuda você no seu dia a dia:

( ) sim, ela é bem útil para todas as coisas

( ) sim, mas ela só é util para algumas coisas

( ) raramente ela é util

( ) nunca é útil

( ) não tenho opinião sobre o assunto

5. Você gosta de resolver equações e problemas algébricos?

( ) Gosto muito

( ) Gosto

( ) Não sei

( ) Gosto pouco

( ) Não gosto

Por que? _____

6. Você acredita que traduzir problemas algébricos (achar a equação a partir da historinha) no PATtranslator é:

( ) Muito interessante

( ) Interessante

( ) Bom

( ) Chato

( ) Muito Chato

7. O PATtranslation2 auxiliou você a identificar partes relevantes do problema, ou seja, os dados e as incógnitas?

( ) Com certeza sim

( ) Possivelmente sim

( ) Não sei

( ) Possivelmente não

( ) Com certeza não

8. Ficou mais FÁCIL resolver os problemas algébricos no PATtranslator do que em um caderno?

( ) Sempre

( ) Na maioria das vezes

( ) As vezes

( ) Algumas poucas vezes

( ) Nunca

9. Ficou mais DIVERTIDO resolver os problemas algébricos no PATtranslator do que em um caderno?

( ) Sempre

( ) Na maioria das vezes

( ) As vezes

( ) Algumas poucas vezes

( ) Nunca

10. Você acredita que se pudesse usar o PATtranslation2 em casa para traduzir problemas, você se motivaria mais para fazer o tema de casa?

( ) Com certeza sim

( ) Possivelmente sim

( ) Não sei

( ) Possivelmente não

( ) Com certeza não

11. Você preferiria usar o PATtranslation2 para traduzir problemas do que resolver em papel e caneta?

( ) Com certeza sim

( ) Possivelmente sim

( ) Não sei

( ) Possivelmente não

( ) Com certeza não

Por que? _____

12. Você solicitou uma dica (ajuda) ao PATtranslator?

( ) SIM

( ) NÃO

13. O que você achou das dicas (mensagens de ajuda) do PATtranslator?

( ) muito útil (excelente)

( ) útil

( ) indiferente

( ) não muito úteis

( ) totalmente inúteis

( ) Não pedi dicas

Por que? _____

14. Opinião / Sugestões:

_____

_____

_____

Obrigado pela sua colaboração!

D Modelo Lógico do Banco de dados

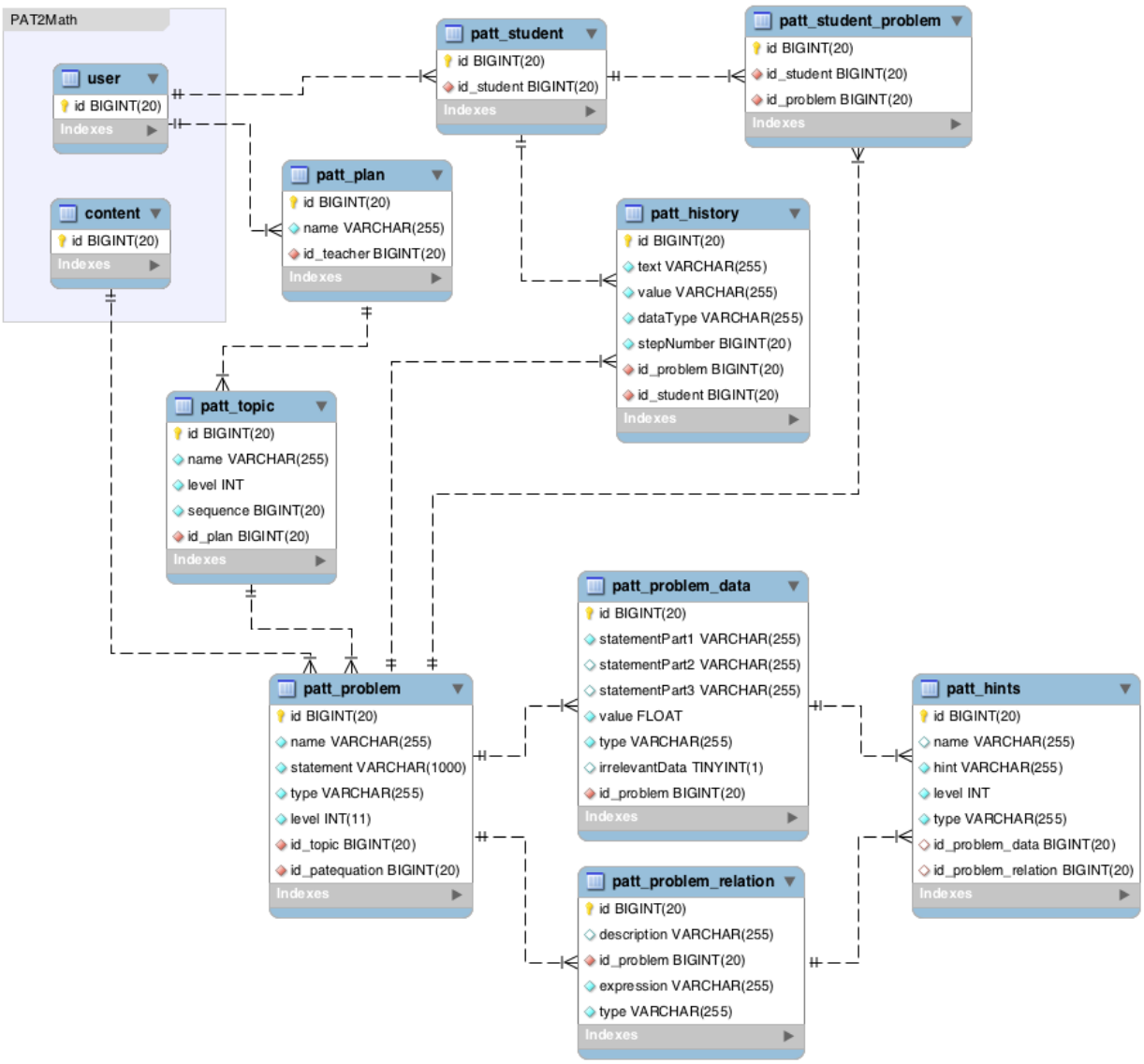

Figure 8: Modelagem de Dados no PATtranslator2 (Fonte: Elaborado pelo autor).

E Módulo do Professor

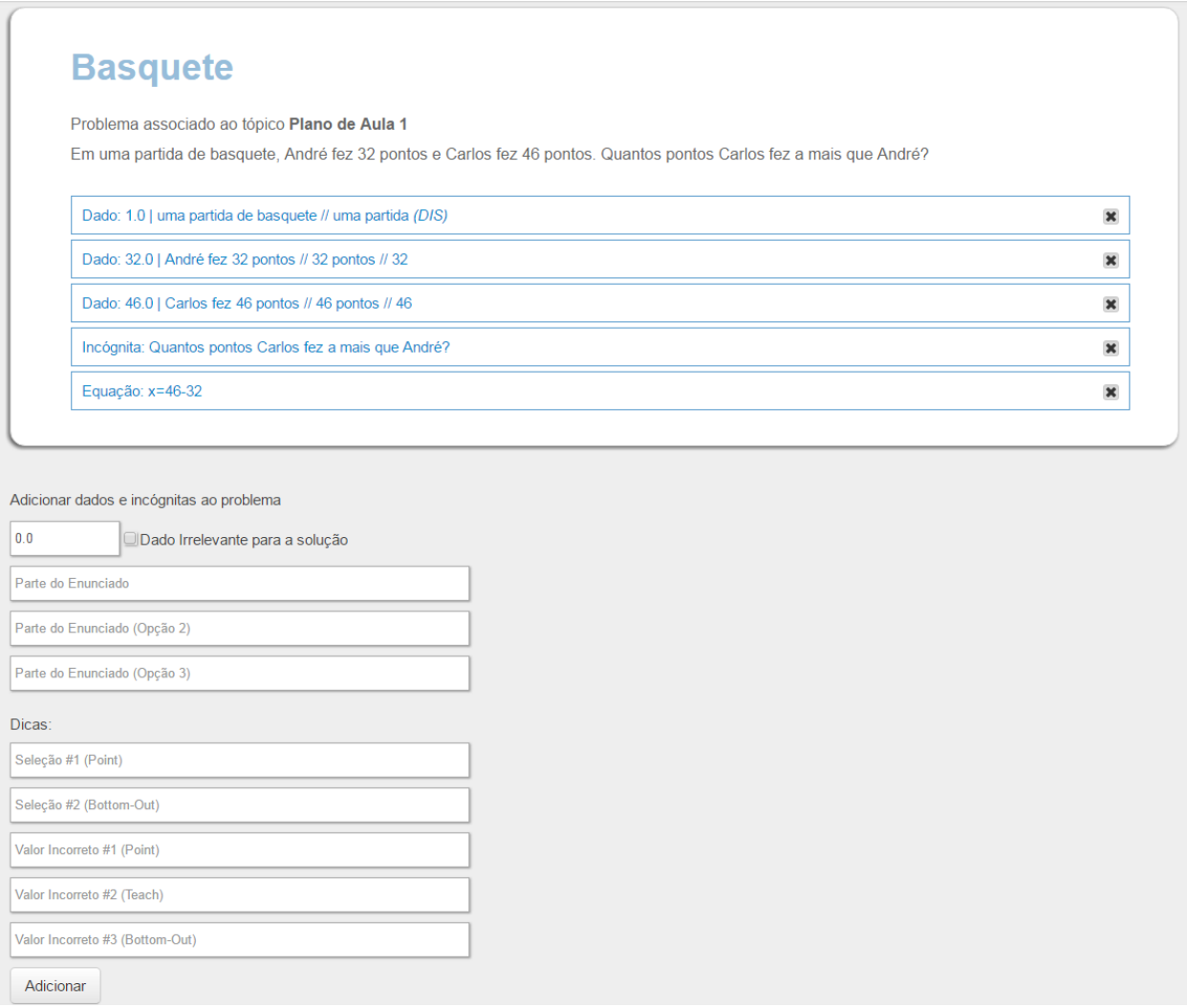

Figure 9: Módulo do Professor no PATtranslator2. (Fonte: Elaborado pelo autor).

F As 29 Diretrizes da Teoria da Carga Cognitiva

1. "Use diagramas para otimizar o desempenho em tarefas que requeiram manipulações espaciais";
2. "Use diagramas para promover a aprendizagem de regras envolvendo relações espaciais";
3. "Use diagramas para ajudar o aluno a construir uma compreensão mais profunda";
4. "Explique diagramas através de fala ou áudio";
5. "Use pistas e sinais para focar a atenção do aluno em conteúdos importantes";
6. "Integre o texto explicativo aos elementos visuais correspondentes nas páginas e telas";
7. "Integre em um só modo de apresentação as palavras e sinais utilizados para ensinar aplicações de computador";
8. "Reduza o conteúdo ao essencial";
9. "Elimine visuais, texto e áudio estranhos ao conteúdo a ser aprendido";
10. "Elimine a redundância nos modos de apresentação do conteúdo";
11. "Forneça auxílios para o desempenho sob a forma de memória externar suplementar";
12. "Elabore auxílios para o desempenho aplicando as técnicas de gerenciamento da Carga Cognitiva";
13. "Ensine os componentes do sistema antes de ensinar o processo completo";
14. "Ensine o conhecimento de apoio separado dos passos do procedimento";
15. "Considere os riscos de sobrecarga cognitiva antes de elaborar um ambiente de trabalho";
16. "Dê ao aluno o controle sobre o ritmo e gerencie a Carga Cognitiva apenas quando o ritmo tiver de ser controlado pelo sistema instrucional";
17. "Substitua alguns dos problemas a resolver por exemplos resolvidos";
18. "Use exemplos parcialmente resolvidos para promover o processo de aprendizagem";
19. "Faça a transição de exemplos resolvidos a exercícios a resolver gradualmente";
20. "Apresente exemplos resolvidos e exemplos parcialmente resolvidos em formatos que minimizem a Carga Cognitiva";
21. "Use exemplos resolvidos variados";
22. "Ajude o aluno a explorar exemplos por meio de auto-explanações";
23. "Ajude o aluno a automatizar novos conhecimentos e habilidades";

24. “Promova uma prática mental do conteúdo após os modelos mentais estarem formados”;
25. “Escreva textos com alta coerência para leitores com pouco conhecimento”;
26. “Evite interromper a leitura de leitores com pouca habilidade”;
27. “Elimine conteúdos redundantes para os aprendizes mais experientes”;
28. “Faça a transição de exemplos resolvidos para exercícios a resolver à medida que o aluno ganha experiência”;
29. “Para alunos novatos, elabore aulas com ensino dirigido em vez de aulas por redescoberta guiada”.