

Dicas inteligentes no Sistema Tutor Inteligente PAT2Math

Henrique Seffrin¹, Geiseane Rubi¹, Cassio Ghilardi¹, Felipe Morais¹,
Patricia Jaques¹, Seiji Isotani², Ig Ibert Bittencourt³

¹ Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PIPCA)
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

² Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC)
Universidade de São Paulo (USP)

³ Núcleo de Excelência em Tecnologias Sociais - Instituto de Computação (NEES/IC)
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Abstract. *This paper presents a module to assist the learners when solving equations in the intelligent tutoring system PAT2Math. This module presents hints of how to solve equations or how to correct them, if a solving step is incorrect. It sorts the hints giving a level to each one: more specific hints comprise the low levels (4 and 5), otherwise less specific hints, which allow more reasoning, get the higher levels (1 and 2). As the student requests hints, the system increases the level of specificity, until it reaches the lowest level, containing the answer. The results of an experiment accomplished with 21 students showed that there is evidence that students using the system with the hints module had performance gain. Besides, the student's answers in a questionnaire showed that they think the hints module help them to correctly solve equations in the system.*

Resumo. *Este artigo apresenta um módulo de ajuda para auxiliar o aluno na resolução de equações, no sistema tutor inteligente PAT2Math, apresentando dicas de como resolver ou corrigir um passo. Este módulo organiza as ajudas em níveis: ajudas mais pontuais recebem níveis mais baixos (4 e 5), ajudas menos descritivas e que permitem um raciocínio maior recebem níveis mais altos (1 e 2). Conforme o aluno vai requisitando ajuda, o sistema vai aumentando o nível de pontualidade da mesma, até que atinja o nível mais baixo, este contendo a resposta. Foi realizada uma avaliação da versão do PAT2Math com o módulo de ajuda com 21 alunos através de um pre-teste e um pós-teste. Uma análise com teste t pareado dos resultados mostra que houve ganho significativo de aprendizagem. Além disso, foi aplicado um questionário em que os alunos, em sua maioria, afirmaram que as dicas os ajudaram a resolver equações corretamente no sistema.*

1. Introdução

Sistemas tutores inteligentes (STI) são ferramentas de ensino inteligentes, voltadas ao ensino/aprendizado em áreas específicas do conhecimento. STIs fornecem um ensino individualizado no conteúdo e na forma, de acordo com as informações modeladas sobre o desempenho, perfil e estados afetivos do aluno. Esta capacidade de adaptação do sistema é o que o torna inteligente.

O PAT2Math é um STI voltado para o ensino de álgebra elementar, com equações de 1º e 2º grau com uma incógnita. Seu principal componente, o PATEquation, é o módulo de resolução de equações que permite ao aluno resolver uma equação passo-a-passo. Por ser inteligente, o módulo provê ao aluno a correção e *feedback* de cada passo fornecido pelo aluno em tempo real.

Esse *feedback* online do sistema pode tornar a experiência com o tutor frustrante

com o passar do tempo, devido a sucessivas tentativas incorretas de resolução [Hume et al. 1996]. Dessa forma, como forma de auxiliar o aluno na resolução de equações foi implementado um sistema simples de dicas no tutor PAT2Math. Este, no entanto, não contribuía muito ao aprendizado, pois indicava diretamente qual operação deveria ser aplicada.

Trabalhos como os de Alevén e Koedinger (2000) e Vanlehn (2006) apresentam uma alternativa baseada em níveis de abstração. Uma abordagem similar é utilizada em STIs que fazem uso de técnicas de processamento de linguagem natural a fim de conduzir um diálogo com o aluno [Graesser et al. 2001; Hume et al. 1996; Zhou et al. 1999]. Tais abordagens permitem que o aluno raciocine sobre o problema em questão, uma vez que não recebem a solução pronta. No entanto, esta alternativa apresenta duas principais lacunas que se opõem ao objetivo original de levar o aluno à reflexão: o abuso de ajuda e a recusa de ajuda. Elas estão relacionadas ao modo como o aluno interage com o sistema tutor: requisitando ajudas em demasia ou recusando-as sob qualquer hipótese.

A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de ajuda ao aluno no tutor PAT2Math utilizando a abordagem baseada em níveis de abstração. O sistema tem como objetivo auxiliar o aluno na resolução das equações, seja antes da resolução de um passo ou após um erro. Mecanismos são implementados a fim de que seja possível evitar ao máximo os problemas supracitados desta abordagem.

Este artigo está organizado como segue: a seção 2 descreve o PAT2Math e os componentes que o compõem. A seção 3 apresenta o módulo de dicas proposto para o tutor PAT2Math. A seção 4 apresenta os trabalhos relacionados, que consistem de módulos de ajuda implementados em reconhecidos STIs na literatura. A seção 5 relata a avaliação realizada e a seção 6 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros almejados.

2. PAT2Math

O PAT2Math é um STI voltado ao ensino de álgebra elementar, mais especificamente à resolução de equações de 1º e 2º grau com uma incógnita. Este foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Java¹, visando a capacidade multiplataforma da linguagem.

O PAT2Math possui uma arquitetura cliente/servidor. No servidor encontram-se os módulos inteligentes do sistema, responsáveis pela correção e identificação dos erros do aluno, listados a seguir:

- **Módulo Resolvedor (PATSolver):** Módulo que detém o conhecimento de como resolver uma equação. Implementado através de uma *shell* de sistema especialista (SE), codifica a equação e as regras algébricas em fatos e regras na *shell*. Detalhes de sua implementação estão descritos em [Seffrin et al. 2009].
- **Módulo de Resolução (PATEquation):** Módulo que realiza a comunicação com o aluno. Composto pela interface para resolução de equações passo-a-passo, provendo a correção de cada passo solucionado, na forma de um sinal indicando se a operação está correta ou não. Esta correção é realizada pelo PATSolver, que desenvolve vários caminhos de resolução até encontrar aquele que o leve a resposta do aluno. Se o caminho for encontrado, o sistema considera o passo correto, caso contrário a resposta é considerada incorreta. Para detalhamento de sua implementação, consultar [Seffrin et al. 2010].
- **Módulo de Falsas Concepções:** Módulo responsável pela identificação dos erros mais comuns cometidos por alguns alunos, como, por exemplo, fornecer como resposta $12x=0$ para a equação $10+2x=0$. Seu funcionamento é similar ao PATSolver e foi igualmente implementado utilizando uma *shell* de SE. As regras implementadas reproduzem estes erros mais comuns e, se alguma produzir uma

¹ <http://www.oracle.com/br/technologies/java/index.html>

resposta igual a do aluno, o tipo de erro é identificado. Este módulo é invocado apenas se o módulo de resolução considerar a resposta do aluno incorreta.

No cliente, ocorre a interação do aluno com o sistema; é onde as equações são apresentadas e resolvidas pelo aluno. Para a correção de cada etapa do exercício (passos da equação), o cliente realiza uma consulta no servidor, que retorna o estado do exercício (correto ou incorreto). Uma requisição é realizada também quando o aluno pede auxílio ao tutor. A comunicação cliente/servidor é realizada através da tecnologia *Java Server Pages* (JSP). O cliente, o PATEquation (Figura 1), foi implementado como um *applet* Java, suportada pela maioria dos navegadores web modernos.

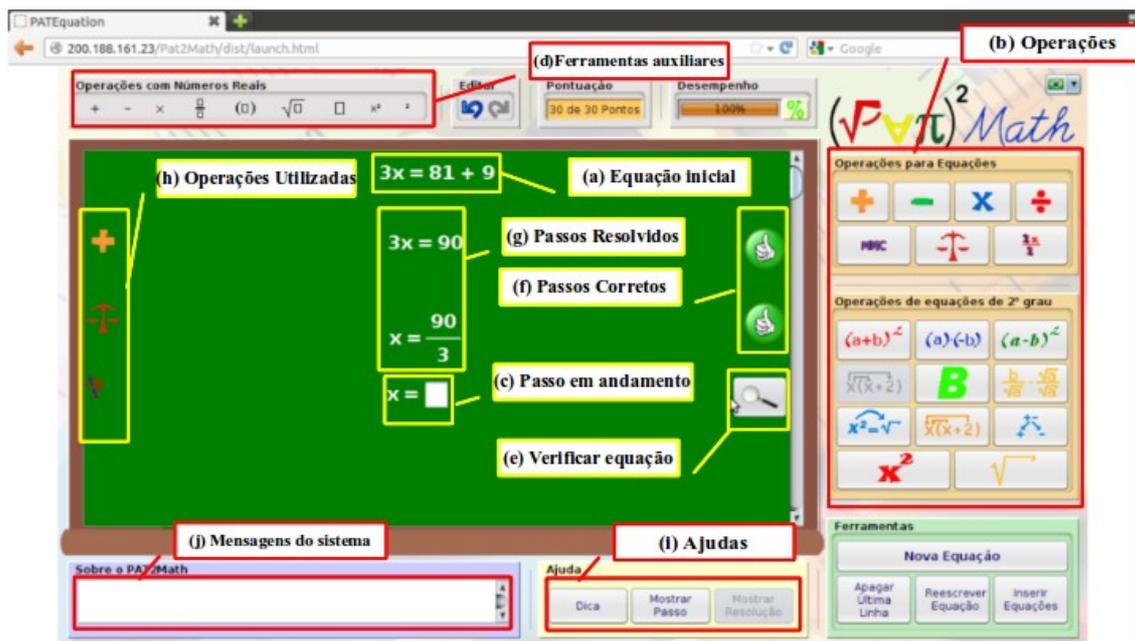


Figura 1: Interface do PATEquation

Na interação com o sistema, o aluno recebe a equação em (a). O aluno pode então selecionar os termos que deseja operar e a operação a ser aplicada (b) e então o sistema abre um campo para edição (c). Utilizando o teclado em conjunto com as ferramentas de edição (d), o aluno informa o próximo passo da equação. Ao pressionar o botão (e), o passo fornecido pelo aluno é enviado ao servidor para o PATSolver corrigi-lo. Se a nova equação fornecida como passo estiver correta, um símbolo apropriado é exibido (f). A equação, então, deixa de ser editável (g) e o processo se repete para o próximo passo. As operações aplicadas em cada passo são exibida em (h). Os botões em (i) permitem ao aluno solicitar ajuda. O texto das ajudas é exibido em (j).

As ajudas apresentadas até a implementação deste trabalho consistiam em informar quais eram as operações que poderiam ser aplicadas sobre o passo atual. No exemplo apresentado na Figura 1, seria exibido o texto “# Simplificação” como mensagem de dica para o passo atual. O modelo proposto neste artigo consiste em substituir estes textos por textos mais elaborados, que permitem com que o aluno raciocine sobre o problema em questão. O modelo igualmente inclui textos de ajuda caso o aluno erre algum passo, que até então não existiam no sistema, fazendo uso do módulo de falsas concepções para a identificação do erro.

3. Dicas Inteligentes

A interação com o PATEquation pode se tornar uma experiência frustrante, caso o aluno não consiga prosseguir na resolução da equação devido a um passo incorreto. Dessa forma, o sistema contava com um sistema de dicas simples de resolução. Uma vez invocado, o sistema informava ao aluno quais as possíveis operações que podem ser

aplicadas sobre o passo corrente da equação [Seffrin et al. 2010]. No entanto, este sistema não se mostrava eficiente pelo fato de fornecer ao aluno a solução, os passos de resolução, e não lhe permitir avaliar o passo corrente e chegar a uma conclusão por si mesmo sobre qual passo deve ser aplicado.

Trabalhos como os de Alevén (2000) e VanLehn (2006) apresentam uma abordagem baseada em níveis de abstração. Para cada unidade de conhecimento abordada, há um conjunto finito de ajudas organizadas em níveis, e, para cada nível, um grau de granularidade de informações diferente. Por exemplo, considerando o nível 1 como o mais alto e o nível 5 como o mais baixo, ajudas de nível 1 a 3 contextualizam o aluno em relação ao problema em questão. Ajudas de níveis 4 e 5 apresentarão dicas mais pontuais, havendo casos em que o nível 5 apresente exatamente a solução do problema. Quando o usuário requisita uma ajuda, a ajuda de nível mais alto lhe é exibida; caso ele decida requisitar outra ajuda, sobre o mesmo assunto, o nível seguinte é exibido, sucessivamente.

O trabalho proposto neste artigo consiste em aplicar esta abordagem ao PATEquation. Para cada operação algébrica (soma, subtração, multiplicação, divisão, simplificação, fórmula de Bhaskara, ...), um conjunto diferente de ajudas é aplicado. A Tabela 1 apresenta, como exemplo, os diferentes níveis de dicas para a operação de simplificação.

Tabela 1: Dicas para a operação de simplificação

Operação	Nível	Descrição
Simplificação	1	Há uma operação possível de ser aplicada sobre a fração $\frac{a}{b}$.
	2	Nesta situação há termos equivalentes. Qual operação aplicar para que esta fração se torne irredutível?
	3	Os termos $\frac{a}{b}$ e $\frac{c}{d}$ possuem um número múltiplo em comum.
	4	Esta fração pode ser simplificada.
	5	Simplifique $\frac{a}{b}$ e $\frac{c}{d}$, resultando em $\frac{PP}{Q}$.

O módulo inclui dicas de como resolver o passo corrente e dicas de como corrigir um erro cometido, ambas utilizando a abordagem de níveis. Para que o sistema seja capaz de identificar a operação (ou operações) que o passo corrente permite ou o erro cometido pelo aluno, os módulos PATSolver e o das Falsas Concepções serão utilizados respectivamente.

3.1. Desafios da abordagem e a solução proposta

Nesta abordagem há dois desafios recorrentes em STIs e que devem ser tratados; são eles o abuso de ajuda (*help abuse*) e a recusa de ajuda (*help refuse*) [Alevén and Koedinger 2000; Roll et al. 2010; Vanlehn 2006]. O primeiro (*help abuse*) consiste no aluno requisitar ajudas até que o nível mais baixo, o nível que, geralmente, contém a resposta do exercício seja exibido. Desta forma, o aluno consegue resolver, sem muita dificuldade, o exercício. Já o *help refuse* ocorre quando o aluno recusa qualquer tipo de ajuda. Neste caso, ele permanece no mesmo exercício, não havendo evolução no processo de aprendizado.

No PATEquation, a solução encontrada para o *help abuse* foi a implementação de bloqueios por operação, ou seja, para cada equação (passo), o aluno terá direito a uma ajuda para cada operação envolvida. Uma vez utilizada, a ajuda é bloqueada até que dois erros sejam cometidos envolvendo esta operação. Voltando ao caso da simplificação, o aluno somente poderá pedir ajuda sobre simplificação se o mesmo realizar dois erros envolvendo esta operação. Para o *help refuse*, o processo é inverso: uma ajuda de correção é exibida, obrigatoriamente, a cada dois erros cometidos pelo aluno.

3.2. Seleção inteligente de ajudas

De modo a oferecer um auxílio mais adequado às habilidades do aluno, o sistema é capaz de selecionar as ajudas, a serem apresentadas, de acordo com o nível de conhecimento do mesmo. O conhecimento consiste em uma porcentagem de quanto o aluno sabe sobre uma determinada operação (unidade de conhecimento).

Com bases nestes valores, diferentes níveis de ajudas são selecionados. Para operações com nível de conhecimento inferior a 50%, dicas mais específicas (níveis 3 a 5) são apresentadas. Para operações com nível de conhecimento superior a 50%, dicas mais abstratas (níveis 1 a 3) são mostradas. No segundo caso, se o nível 3 for atingido e uma ajuda adicional for requisitada, o nível 5 é mostrado, permitindo que ele prossiga na resolução.

Uma vez iniciada a resolução de uma nova equação, a seleção de nível apropriado é refeita levando em conta a possível atualização nos dados referentes ao conhecimento do aluno.

3.3. Templates e marcas

Os textos das ajudas são armazenados no sistema em forma textual, cada uma relacionada a sua operação e ao seu respectivo nível. Como é possível observar na Tabela 1, alguns textos fazem referências a termos específicos da equação. O sistema utiliza um sistema de marcas (*tags*) para esta referência.

A estrutura de uma marca emprega aspas angulares (“<” e “>”) para denotar o início e o fim da mesma e é composto por vários símbolos que referenciam determinados termos e operações da equação tratada. O termo “eq” denota a equação corrente. O caractere “t” acompanhando uma operação indica qual dos termos deve ser exibido: um “t” antes do indicador de operação indica o termo à esquerda da operação, um “t” após a operação indica o termo à direita da operação, e um “t” em cada lado da operação, indica a operação inteira (equivalente a não utilizar o “t”).

Para ilustrar este processo considere a equação $2x-7=5+2$. Para se referenciar os termos desta equação são utilizadas as seguintes marcas: <eq t+> exibe o número 5; <eq +t> exibe 2; e <eq t+t> ou <eq +> exibe 5+2. Como não é possível aplicar a operação de subtração do lado esquerdo da equação, as marcas <eq ->, <eq t->, <eq -t> e <eq t-t> não são processadas pelo sistema. Todos os símbolos empregados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Marcas utilizadas pelo sistema

Valor	Significado
a	Um valor inteiro + uma incógnita ao quadrado (Bhaskara)
b	Um valor inteiro + uma incógnita (Bhaskara)
c	Um valor inteiro (Bhaskara)
+ e -	Soma e Subtração
X ou *	Multiplicação
/ e ^	Divisão e Potência
R	Raiz
=	Igualdade
OI	Lista 2 termos em lados opostos da equação que podem ser operados após a realização da operação inversa (apenas para dicas)
Marcas que não utilizam o prefixo “eq”	
OP	Identifica a operação relacionada a dica
PP	Mostra a equação do próximo passo

É importante ressaltar que se uma operação não for possível de ser aplicada sobre determinada equação e existir uma marca correspondente, ela não será processada pelo sistema e, portanto, não será substituída.

4. Trabalhos Correlatos

Nesta seção serão apresentados trabalhos relacionados ao tema de auxílio ao aluno em sistemas tutores. Para cada um destes sistemas será descrito o seu funcionamento e a forma como auxiliam o aluno no desenvolvimento de atividades pertinentes à área de conhecimento. Finalmente, é realizada uma comparação desses com o trabalho proposto.

4.1. PACT – help abuse e help refuse

O PACT Geometry Tutor [Alevén and Koedinger 2000] é um STI voltado ao ensino de geometria. As atividades providas por este sistema incluem calcular quantidades, medir ângulos ou segmentos. O sistema oferece duas categorias de ajudas: as ajudas inteligentes, que são os *hints* (dicas de resolução) e os *error feedbacks* (dicas de correção de erros); e a ajuda não inteligente, compreendida pelo glossário de termos relacionados à geometria.

Os *hints* e *error feedbacks* implementam a abordagem de níveis. Como forma de incentivar o aluno a buscar a informação, algumas ajudas indicam consultar o glossário. Por exemplo, “Algumas regras que lidam com triângulos estão listadas no Glossário. Qual das razões é mais adequada? Você pode clicar em cada uma delas para saber mais.”.

A proposta da trabalho [Alevén and Koedinger 2000] é permitir que o sistema tenha a capacidade de decidir quando mostrar uma ajuda ao aluno. Desta forma, evita que o aluno requisite ajudas até que o nível mais pontual, geralmente o que contém a resposta, seja exibido de imediato, caracterizando o *help abuse*. Mensagens como, por exemplo, “Ao invés de pedir ajuda por que você não olha no Glossário para saber mais sobre este assunto.”, são apresentadas quando o sistema detecta um número grande de requisições de ajuda. Este controle por parte do sistema também permite a ele exibir ajudas quando ocorre *help refuse*.

De forma a permitir um melhor controle, foi proposto em [Alevén et al. 2004] um *plug-in* para STIs, o *help tutor*. Este *plug-in* analisa informações de uso do sistema, a fim de detectar comportamentos não desejáveis dos alunos, como *help abuse*, *help refusal* e “tentativa e erro”. Tais informações analisadas incluem: o tempo levado para responder a questão, o quanto o aluno sabe a respeito do assunto, se o aluno utilizou apropriadamente as ferramentas disponibilizadas pelo sistema, assim como a quantidade de tentativas.

O *help tutor* foi avaliado em [Roll et al. 2010], com alunos de escolas dos Estados Unidos (Pennsylvania). Foi avaliada a taxa de pedido de ajuda em 2 grupos: (i) os que utilizaram apenas o STI, (ii) e os que utilizaram o STI em conjunto com o *help tutor*. O grupo que utilizou o *help tutor* obteve um grau menor de uso de ajuda em relação ao grupo que não o utilizou. Os índices mais relevantes foram: a taxa de requisição de ajuda foi de 26% contra 36% e as requisições de ajuda, até o último nível, foram de 48% (grupo que usou o *help tutor*) contra 70% (grupo que não utilizou *help tutor*).

4.2. Auxílio baseado no diálogo

O CIRCSim é um STI baseado em diálogo, voltado ao ensino de medicina, na área de controle de pressão sanguínea. O aluno interage com o sistema desenvolvendo um pequeno diálogo: o sistema faz perguntas e o aluno as responde. Caso o aluno não saiba a resposta correta, porém informou uma resposta que possa conduzir à resposta correta, o tutor apresenta perguntas relacionadas a essa resposta. Estas permitem ao aluno chegar a conclusão da resposta correta [Zhou et al. 1999].

Em [Hume et al. 1996] foram definidas três categorias de dicas para o tutor:

- **Informação transmitida (CI – *Conveyed Information*):** Apresenta textos que fazem o aluno pensar e inferir a resposta correta.
- **Indicação (PT – *Pointing*):** Utiliza uma estratégia similar a CI, porém induz o aluno a buscar informações em conteúdos aprendidos.
- **Linha de raciocínio dirigido (DLR- *Directed Line of Reasoning*):** Guia o pensamento do aluno em direção à resposta correta.

Conforme o aluno vai interagindo com o tutor e respondendo às questões, este vai especificando cada vez mais as questões, ou seja, passando de dicas CI e PT para DLR. As dicas são armazenadas na base de dados do sistema em forma de *templates*, que são completados conforme o conteúdo abordado. Por exemplo [Zhou et al. 1999]: “Mas a minha pergunta é sobre <variável>”, sendo “<variável>” o conteúdo a ser substituído pelo assunto da questão.

Avaliações de efetividade do STI foram realizadas no *Rush Medical College*, resultando em 656 erros e 97 pedidos de ajuda (de 1700 questões), com a taxa de efetividade das dicas, variando entre 59% e 100%.

Bremgartner e Netto (2011) apresentam um sistema multiagente de auxílio ao aluno baseado em diálogo entre os próprios estudantes de uma turma. Implementado como uma camada extra adicionada a ambientes virtuais de aprendizagem (AVA) *on-line*, o sistema mapeia as habilidades dos alunos com base nas atividades já realizadas no ambiente. Com posse destas informações, o sistema é capaz de recomendar alunos, que possuam um certo grau de conhecimento em uma habilidade específica, para alunos que não adquiriram ainda tal conhecimento.

Para que um aluno possa ser selecionado, pelo sistema, ele deve satisfazer os requisitos mínimos de habilidades necessárias para realizar a atividade. Estes requisitos são informados pelo professor no momento do cadastro da mesma. Para uma mesma atividade, o sistema pode recomendar um aluno. Uma vez selecionados, os dois alunos passam a trocar mensagens, desta forma os dois alunos não necessitam estar ativos no sistema ao mesmo tempo. Outro critério utilizado pelo sistema para selecionar auxiliares é o tempo de acesso, alunos com mais de 20 dias sem acessar o AVA não são incluídos na seleção.

4.3. Comparação

A Tabela 3 apresenta uma comparação entre os diferentes sistemas de auxílio ao aluno, apresentando como as formas de ajudas são selecionadas nestes sistemas.

O módulo proposto diferencia-se por operar em conjunto com um módulo inteligente, o PATSolver. Isto possibilita ao módulo inferir que operações são possíveis de serem aplicadas no passo atual. Também permite a demonstração de um possível próximo passo de resolução, tornando o módulo independente da equação. Outro diferencial está no uso do nível de conhecimento do aluno como parâmetro na seleção das dicas. Assim dicas mais específicas são apresentadas para alunos que não possuem domínio na operação em questão. Por outro lado, dicas menos específicas atuam como uma forma de relembrar conceitos já esquecidos, para alunos que já dominam a operação.

Tabela 3: Comparação entre os trabalhos relacionados e o PATEquation

	PACT	CIRCSIM	Bremgartner e Netto	PATEquation
Domínio	Geometria	Medicina	Variado	Álgebra
Idioma	Inglês	Inglês	Português do Brasil	Português do Brasil
Tipos de ajuda	Dica e Parecer de erro	Dica e Parecer de erro	Ajudas oferecida por outros usuários	Dica e Parecer de erro
Critério de seleção de ajuda	Nível da Ajuda e o Help Tutor	Percentual de acerto da questão anterior	Nível de conhecimento do aluno	Nível de conhecimento do aluno e nível da ajuda
Invocação da ajuda	Através de um botão e após X erros	Textual	Através de um botão	Através de um botão e após X erros
Ordem de apresentação	Ordenado pelos níveis de abstração	Sempre ajudas que levam o aluno a resposta, vai depender da resposta anterior do aluno	---	Maior o conhecimento do aluno, níveis mais abstratos são selecionados. Menor o conhecimento, níveis mais específicos

5. Avaliações

O experimento de avaliação ocorreu em junho de 2012 em uma escola privada de Porto Alegre/RS. Neste experimento participaram 21 alunos de uma 7ª série do Ensino Fundamental. Considerando a faixa etária dos mesmos, 12 e 13 anos, foi solicitado que o termo de consentimento livre e esclarecido fosse assinado pelos pais.

Inicialmente, os sujeitos foram informados sobre os objetivos do experimento, bem como o caráter voluntário e sigiloso de sua participação. O experimento foi realizado em 4 horas/aula de 50 minutos cada, totalizando 3 horas e 20 minutos de interação. Na primeira aula, foi realizado um pré-teste objetivando identificar os conhecimentos prévios dos sujeitos de pesquisa. Durante as duas aulas seguintes, os alunos interagiram com o sistema e na última aula prevista resolveram o pós-teste e responderam ao questionário. O questionário, de caráter objetivo, era composto por quatro perguntas referentes aos hábitos de estudo de matemática, seis questões sobre a percepção da interação dos alunos com o sistema e, finalmente, sete questões abrangendo a análise dos alunos quanto ao sistema avaliado, em específico o auxílio prestado por meio de dicas.

As notas dos alunos e a média e o desvio-padrão dos pré-teste e pós-teste podem ser observados na Tabela 4. O teste era composto com 5 questões, que valiam no total 2,5 pontos.

A hipótese do experimento é que o sistema de dicas auxilia o aluno na aprendizagem de equações algébricas do 1º grau proporcionando um ganho significativo de aprendizagem aos alunos. As hipóteses nula e alternativa são:

$$H_0: \mu_{\text{pos}} \leq \mu_{\text{pre}} \text{ (hipótese nula)}$$

$$H_1: \mu_{\text{pos}} > \mu_{\text{pre}} \text{ (alegação)}$$

Tabela 4: Notas, Média e Desvio-Padrão dos Pré e Pós-testes.

Aluno	Pré-teste	Pós-teste
1	1,7	2,0
2	0,4	1,0
3	1,0	1,8
4	2,0	2,0
5	2,3	2,5
6	2,5	2,5
7	1,3	2,5
8	1,4	2,5
9	0,9	2,0
10	2,0	2,2
11	1,2	1,7
12	1,5	1,7
13	1,0	2,0
14	2,0	2,0
15	1,1	1,5
17	2,1	2,1
18	1,7	1,9
19	0,3	0,5
20	0,5	0,5
21	2,0	2,4
Média	1,445	1,865
Desvio Padrão	0,642	0,599

A hipótese nula (que se deseja negar) é que a média dos pós-teste é menor ou igual à média dos pré-testes. Por outro lado, a alegação visa saber se a média dos pós-testes foi significativamente maior que a média dos pré-testes, identificando um ganho na aprendizagem dos alunos utilizando o PATEquation com o sistema de dicas. Para tanto, foi utilizado um teste-t pareado, uma vez que a amostra tem tamanho menor que 30. Com um grau de confiança de 95% ($\alpha=0.05$), obtemos $p=0.0001017$ ($t = -4.5826$, $df = 19$). Assim, como $p < \alpha$, podemos negar a hipótese nula e concluir que há evidências para afirmar com 95% de confiança que o sistema de dicas auxiliou o sujeito em sua aprendizagem.

Quanto ao questionário que os alunos responderam ao final da interação com o sistema, 22% afirmaram ser muito interessante resolver equações no PATEquation, 56% afirmaram ser interessante e 22% ser bom. Além disso, 42% dos alunos afirmaram que os comentários e dicas são uteis para a aprendizagem. Por fim, 52% dos alunos afirmaram que resolver equações no PATEquation com o auxílio das dicas sempre que necessárias incentivou o desenvolvimento do conhecimento de equações algébricas.

6. Conclusões e Trabalhos futuros

Nesse artigo foi apresentado um módulo de dicas empregado no STI de álgebra PAT2Math. O sistema de dicas proposto apresenta como principal diferencial utilizar a informação do modelo de aluno (sobre unidades de conhecimento que o aluno domina ou não) na tomada de decisão de que dica apresentar.

Foi realizado um experimento de avaliação com 21 alunos de uma turma de 7ª série. O experimento foi realizado durante 4 seções de 50 minutos, onde os alunos realizaram pré-teste e pós-teste em papel e interagiram com o sistema. Após a sessão interativa, eles responderam a um questionário expressando percepções sobre o sistema, em especial, sobre as dicas. Os resultados de um teste de hipótese utilizando teste t pareado mostraram que há evidências significativas de que houve ganho de aprendizagem com um grau de confiança de 95%. Além disto, os alunos consideraram a interação positiva, tendo em vista o auxílio prestado por meio de dicas para a resolução de equações.

Como trabalhos futuros pretende-se incluir a marca de “OI” para dicas de correção de erro. Atualmente, esta encontra-se disponível apenas para dicas de resolução. Pretende-se também refinar o mecanismo de bloqueio das ajudas, visando um bloqueio mais eficiente, visto que algumas dicas são liberadas muito frequentemente, em contrapartida outras dicas, como a de simplificação, raramente são liberadas pelo sistema. Pretende-se igualmente disponibilizar uma interface para a adição de textos de ajuda, o que facilitará a inclusão de novas dicas.

Referências

- Aleven, V. and Koedinger, K. (2000). Limitations of Student Control: Do Students Know when They Need Help? In: Gauthier, G.; Frasson, C.; VanLehn, K. (Eds.). *Intelligent Tutoring Systems*. LNCS. Springer. v. 1839 p. 292–303.
- Aleven, V., McLaren, B. M., Roll, O. and Koedinger, K. (2004). Toward Tutoring Help Seeking; Applying Cognitive Modeling to Meta-Cognitive Skills. *Human-Computer Interaction Institute*, p. 156.
- Bremgartner, V. and Netto, J. F. M. (2011). Auxílio Personalizado a Estudantes em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Utilizando Agentes e Competências. *Anais do 22º Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*.
- Graesser, A., VanLehn, K., Rosé, C., Jordan, P. and Harter, D. (2001). Intelligent tutoring systems with conversational dialogue. *AI magazine*, v. 22, n. 4, p. 39-51.
- Hume, G., Michael, J., Rovick, A. and Evens, M. (1996). Hinting as a tactic in one-on-one tutoring. *Journal of the Learning Sciences*, v. 5, n. 1, p. 23–47.
- Roll, I., Aleven, V., McLaren, B. M. and Koedinger, K. R. (2010). Improving students' help-seeking skills using metacognitive feedback in an intelligent tutoring system. *Learning and Instruction*, v. 22, n. 2, p. 267-280.
- Seffrin, H., Rubi, G., Carlotto, T., Mello, G. and Jaques, P. (2009). Um resolvidor de equações algébricas como ferramenta de apoio à sala de aula no ensino de equações algébricas. *XV Workshop Sobre Informática na Escola*.
- Seffrin, H., Rubi, G., Cruz, B. and Jaques, P. (2010). Resolvendo equações algébricas no STI PAT2Math. *XXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*.
- Vanlehn, K. (2006). The behavior of tutoring systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, v. 16, n. 3, p. 227–265.
- Zhou, Y., Freedman, R., Glass, M., et al. (1999). Delivering hints in a dialogue-based intelligent tutoring system. *Proceedings of the 16th National Conference on Artificial Intelligence and the 11th Innovative applications of Artificial Intelligence Conference Innovative Applications of Artificial Intelligence*, p. 128–134.