

Um Sistema Tutor Inteligente para o Ensino de Fração

Anderson Fellipe Rocha das Neves¹, Maria Aparecida Amorim Sibaldo¹,
Flávio Mota Medeiros², Ig Ibert Bittencourt³, Evandro de Barros Costa¹

¹Instituto de Computação - Universidade Federal de Alagoas

²Centro de Informática - Universidade Federal de Pernambuco

³Universidade Federal de Campina Grande

GrOW - Grupo de Otimização da Web

{anderson.ufal, maasibaldo, flaviommedeiros}@gmail.com,

ibert@dsc.ufcg.edu.br, ebc@fapeal.br

Abstract. *This paper proposes an Intelligent Tutoring System for supporting students in the initial series of primary school to learn resolving operations with Fractions through a pedagogical learning approach based on problems resolution. Such a system is enabled to resolve problems that were proposed by the students, also giving a step-by-step explanation of its resolution, thus as to assess the solutions presented by the learner about the problems proposed by the system, besides offering help in eventuals obstacle during the process of elaborating the solution.*

Resumo. *Este trabalho propõe um Sistema Tutor Inteligente para ajudar estudantes, nas séries iniciais do ensino fundamental, a aprenderem operações de Fração mediante uma abordagem pedagógica de aprendizagem baseada em resolução de problemas. Tal sistema está habilitado a resolver problemas propostos pelos estudantes, inclusive explicando passo-a-passo a sua resolução, assim como avaliar as soluções apresentadas por estes, aos problemas propostos pelo sistema, além de oferecer ajuda nos eventuais impasses no processo de elaboração da solução.*

1. Introdução

O uso de Sistemas Tutores Inteligentes (STI) pode representar um recurso importante no processo de ensino-aprendizagem, especialmente quando usado como uma ferramenta de apoio às atividades escolares. Uma das características fundamentais de tais sistemas diz respeito a sua proposta de individualização na interação sistema-estudante, considerando a cada momento o estado cognitivo deste estudante. Nesse sentido vários ambientes computacionais de aprendizagem com tal propósito têm sido propostos.

O presente STI para o domínio de Fração objetiva ajudar alunos das séries iniciais do ensino fundamental na aprendizagem deste domínio. Esta aprendizagem baseia-se na resolução de problemas e verificação do desempenho do aluno. O presente sistema está habilitado a resolver problemas propostos pelo estudante, explicando cada passo utilizado na solução; assim como avaliar as soluções apresentadas pelo aluno para problemas propostos pelo sistema, oferecendo ajuda nos eventuais impasses no processo de elaboração da solução. A ajuda está fundamentada na elaboração de dicas específicas para o tópico

ao qual o aluno está com dificuldade, apresentando seu erro e posteriormente explicando como ele deveria resolver a questão em foco.

O restante deste artigo está organizado como segue. Na Seção 2 são apresentados os Trabalhos Relacionados ao ambiente aqui proposto. Na Seção 3 a Arquitetura do Sistema tutor aqui desenvolvido é apresentada. Os Recursos do Ambiente estão descritos na Seção 4, enquanto que o Modelo do Aprendiz na Seção 5. Já na Seção 6, é apresentado o Estudo de Caso voltado à Avaliação, onde há as Subseções: (6.1) Avaliação do Nível do Aluno em Relação aos Problemas, (6.2) Lista de Erros Comuns e (6.3) Dicas a Partir dos Erros Comuns. Por fim, na Seção 7 temos a Conclusão do trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

Trabalhos têm sido desenvolvidos com o intuito de construir sistemas tutores inteligentes para o ensino de fração de modo a disponibilizar recursos e personalizações com o objetivo de melhorar a aprendizagem. Nesta área, destacam-se os seguintes trabalhos.

Em [Lee and Bull 2007] é apresentado um tutor que auxilia os pais a ajudarem seus filhos no ensino de fração. Além de utilizar um Modelo do Aprendiz aberto, onde os pais podem acompanhar a aprendizagem e entender melhor as dificuldades e pontos fortes dos filhos, os mesmos podem utilizar o sistema para também aprender/revisar e, então, melhor ensiná-los. Porém, este tutor trabalha em cima de tópicos isolados, apenas abordando operação por operação, não verificando o aprendizado do aluno em situações como expressões fracionárias com várias operações em conjunto.

O trabalho de [He and Brna 2005] está completamente voltado para a interface visual, com uso extenso de *flash player*, vídeos etc. O sistema possui um *help center* com vídeos para cada tipo de questão abordada, o que pode facilitar no entendimento do aluno, já que o vídeo apresenta passo-a-passo a resolução do problema em questão. Apesar da valorização da visualização para melhor interação do estudante com o tutor, o sistema apresentado deixa a desejar com o uso apenas de questões múltipla escolha.

Em [Stefansson 2003], propõe-se um tutor baseado em *slide shows*, questões de múltipla escolha e exemplos. O tutor apresentado não acompanha o desenvolvimento do aluno e não se adapta de acordo com o aprendizado adquirido pelo aluno, pois apresenta o conteúdo de forma estática a medida que o professor insere novos recursos.

Em [Nwana 1993], foi proposto um Sistema Tutor Inteligente, chamado de FITS, que melhorasse muitas das deficiências dos STIs da época. Este ambiente consegue perceber qual foi o erro cometido pelo aprendiz e propõe dicas, funcionalidades estas que estão presentes neste trabalho. O FITS tem limitações, como as citadas no próprio trabalho: seus esclarecimentos não são adaptados para um estudante em particular, é modo texto e tende a dominar a interação com o estudante.

Levando em consideração as limitações citadas nos trabalhos acima, é proposto nesse artigo um sistema tutor para o ensino de fração. O sistema tutor proposto avalia as frações enviadas pelos alunos, respondendo-as passo-a-passo e explicando sua resolução, além de adaptar-se ao perfil do aluno de acordo com o seu ritmo de aprendizado, dificuldades e pontos fortes, ou seja, as características de desenvolvimento de seu aprendizado são relevantes em relação aos outros tutores.

3. Arquitetura do Sistema

A arquitetura do sistema tutor de fração, apresentada na Figura 1, segue a estrutura padrão de uma arquitetura básica de sistema tutores inteligentes, tendo sido adicionada apenas uma fachada para facilitar a interação com o módulo do tutor e uma camada de segurança. Essa fachada também faz a interação do módulo tutor com a interface do ambiente.

No Módulo de Tutoria encontram-se: i) um módulo para resolução de problemas, onde os alunos colocam expressões para o sistema resolver e dar explicações a respeito da resolução; ii) um módulo para avaliação das soluções dos alunos, onde o sistema interage com o aluno para saber exatamente onde está a dificuldade do aluno.

No Módulo do Domínio estão as informações a respeito do que será passado para os alunos. No trabalho aqui apresentado o domínio corresponde a assuntos relacionados a fração, como: para que servem, o que podemos representar, como resolver problemas e suas operações (soma, subtração, multiplicação, divisão, potenciação e radiciação). Este módulo também será responsável por permitir que o professor monte sua estratégia de ensino separando as questões por ele inseridas em tópicos (ver Subseção 6.1).

No Módulo do Aprendiz encontram-se informações sobre o aluno e a respeito do estado do aprendizado de cada aluno, onde podemos encontrar as questões resolvidas pelo aluno, os erros cometidos, os acertos, suas dificuldades em tópicos do domínio de fração, entre outras informações pessoais e estudantis.

Por fim, a camada de Interface representa as telas de comunicação entre o tutor de fração e seus aprendizes. Sendo esta uma interface *Web*, o aluno poderá acessar o sistema em qualquer computador que tenha acesso a internet.

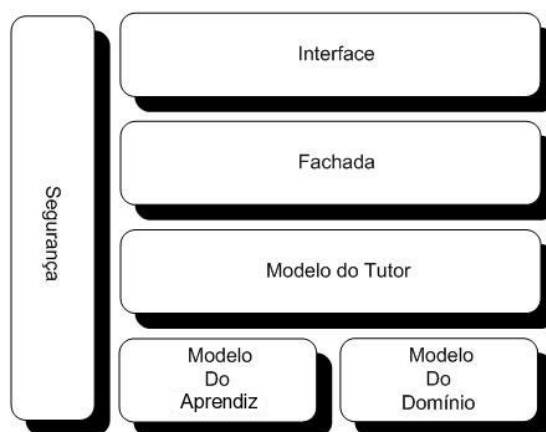


Figura 1. Arquitetura do Sistema Tutor de Fração

4. Recursos do Ambiente

Inicialmente, para que o usuário possa utilizar o sistema, ele terá que fazer seu cadastro, podendo este ler mais sobre frações antes de tentar responder alguns exercícios. Na área de Introdução sobre Frações o aluno encontrará a seguinte divisão: Idéia Inicial, Definição, Elementos e História. Em Operações com Fração terá o recurso Resolvedor de Problemas, onde o aluno insere um problema para que o ambiente resolva. Tal recurso

acrescenta um diferencial no nosso ambiente, apresentando ao aluno quais foram os passos utilizados para resolver o problema. Em Operações com Frações também está a opção de Testes onde o aluno poderá resolver os problemas ali propostos, que são problemas inseridos no sistema pelo usuário administrador.

Com o uso do ambiente, o mesmo começa a auxiliar no aprendizado do aluno e, quando o aluno erra constantemente uma operação, o ambiente interpreta isso como uma dificuldade do aluno e, em seguida, apresenta uma dica que lhe ajudará a resolver a operação em foco (Figura 2). Por exemplo, o aluno mostra dificuldades em questões que envolvam uma soma de fração com denominadores diferentes, o sistema detecta isso e mostra uma dica para o aluno de como se resolve este tipo de problema, que seria calculando o MMC (Mínimo Múltiplo Comum).

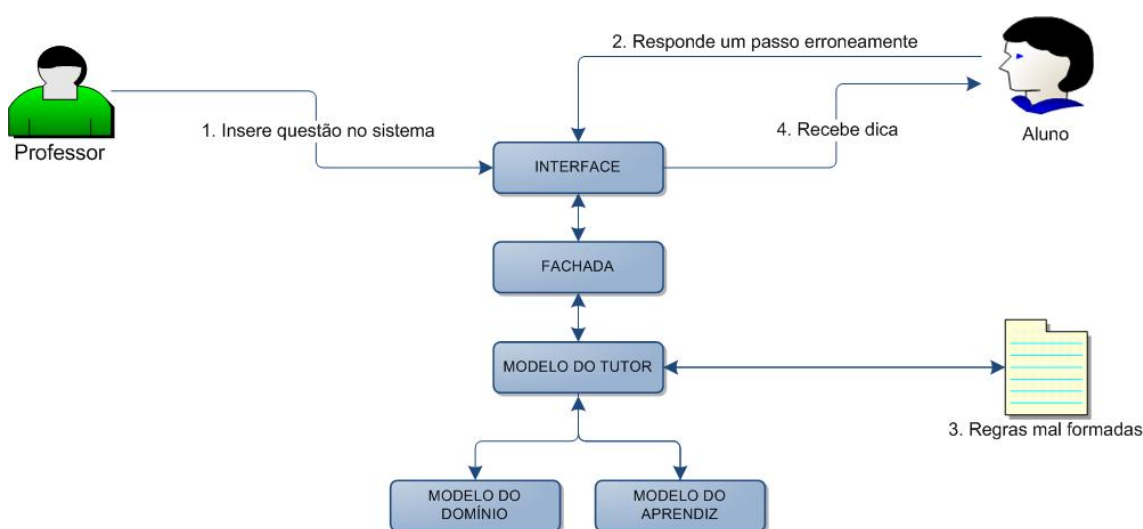


Figura 2. Sequência para o envio de uma dica ao aprendiz

Na área de Introdução sobre Frações temos o tema Idéia Inicial, que mostra o uso de frações no nosso dia a dia com exemplos e figuras que facilitam o entendimento do aluno, exemplo: “Lie comeu duas fatias de pizza, ou seja, comeu $\frac{2}{8}$, restou ainda 6 fatias de pizza: $\frac{6}{8}$ da pizza”. Em Definição encontramos alguns conceitos matemáticos de fração, mostrados de uma maneira mais amigável com texto e figuras voltados para crianças. Em Elementos temos esclarecimentos sobre as partes da fração: numerador e denominador. Em História encontramos um texto que conta um pouco a história das frações.

No Resolvedor de Problemas o aluno insere uma expressão para que o sistema possa resolvê-la, esta expressão terá que seguir uma sintaxe exposta na BNF (*Backus-Naur Form*) [Aho et al. 1995, Estier 1995] abaixo, que é a gramática que gera as expressões válidas. Na BNF apresentada, o caractere \$ representa o vazio.

```
<expressao> ::= <termo><op_complexa>
| <termo><mais_op_simples>
<termo> ::= <numero> | (expressao)
<numero> ::= <natural> | (-<natural>)
<natural> ::= <algarismo><mais_alg>
<mais_alg> ::= $ | <natural>
<algarismo> ::= 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9
<mais_op_simples> ::= $ | <op_complexa><mais_op_simples>
```

```
| <op_simples><termo><mais_op_simples>  
<op_simples> ::= + | - | / | *  
<op_complexa> ::= ^<numero> | :<natural>
```

Um exemplo de uma expressão válida é $(1+4:2)^2-3*4/5$, caso a expressão contenha erros ou ambiguidades na sua escrita, um erro será mostrado para o aluno. Se forem encontrados vários erros de sintaxe na mesma expressão todos serão apresentados. No ambiente o aluno poderá recorrer a ajuda que mostra a este as operações possíveis e sua sintaxe. Neste caso, temos as operações de adição (+), subtração (-), multiplicação (*), divisão (/), potenciação (^) e radiciação (:). Figuras serão usadas para mostrar uma expressão como ele aprendeu em sala de aula e a equivalente seguindo a sintaxe do ambiente, exemplo: $\frac{3+5}{7}$ na sintaxe do ambiente é representado por $(3/4+5)/7$. Na adição $2+3$ o sistema entenderá como sendo $2/1+3/1$; no caso de soma de frações o aluno poderá escrever assim: $1/2+4/3$. Quando o aluno pedir para o sistema resolver esta expressão, a seguinte saída será apresentada ao aluno:

Resultado: 11/6

Explicação:

Foi realizada a divisão: $(1) / (2)$ e obtivemos: $1/2$. A divisão foi deixada em forma de fração pois a divisão $1/2$ não é exata.

Foi realizada a divisão: $(4) / (3)$ e obtivemos: $4/3$. A divisão foi deixada em forma de fração pois a divisão $4/3$ não é exata.

Como os denominadores são diferentes, foi calculado o MMC de 2 e 3, obtendo o valor 6. Depois, dividido o MMC pelo denominador e multiplicado pelo numerador em cada fração, deixando a soma dos resultados $(3+8)$ como numerador e o MMC como denominador de uma nova fração.

Foi realizada a adição: $(3) + (8)$ e obtivemos: 11.

Foi realizada a divisão: $(11) / (6)$ e obtivemos: $11/6$. A divisão foi deixada em forma de fração pois a divisão $11/6$ não é exata.

Nos Testes, o aluno encontrará questões que lhe serão propostas, as quais ele responderá uma por vez, aumentando gradativamente o grau de dificuldade delas. É neste recurso que será usado o módulo de dicas a partir dos erros comuns, explicado na Sessão 6.3, que irá auxiliar o aluno a superar suas dificuldades. Como citado anteriormente, o usuário administrador fará a inserção das questões no ambiente, todas estas serão respondidas pelo aluno, não necessariamente na sequência inserida pelo professor. O ambiente será encarregado de ordená-las pelo grau de dificuldade e pelo domínio (adição, subtração etc), assim o ambiente poderá insistir mais em questões com operações em que o aluno tem mais dificuldades, ou propor menos questões com a operação que ele sabe mais.

5. Modelo do Aprendiz

O Modelo do Aprendiz possibilita ao sistema conter um perfil sobre o estudante que o usa, sendo este preenchido por informações estáticas, as que o próprio usuário adiciona (como nome e e-mail); e informações dinâmicas, que o sistema infere a partir das ações do aprendiz nele: em que tópico o aluno domina ou tem dificuldade [Kerly and Bull 2007].

Neste sistema, usamos o Modelo do Aprendiz para colher informações que o

próprio aluno informa, como seus dados pessoais e estudantis, e para ter informações sobre seu desenrolar no processo de aprendizagem de frações. No segundo caso, o sistema colhe informações a medida que o estudante for respondendo a questões, pois é armazenado quais questões ele errou e quais acertou dentro de um grupo de questões sobre um determinado tópico de fração. Assim, o sistema classifica o nível do aprendizado do aprendiz: se domina, se tem uma boa base, se seu conhecimento é razoável ou se não sabe o assunto em questão. A partir disso, o sistema pode aconselhar ao aluno o estudo do assunto que ele tem dificuldade, ou passar algumas questões sobre o tópico em foco para que o aprendiz possa solucionar, dessa forma espera-se que ele melhore seu conhecimento nos tópicos em que ele não está bem.

O Modelo do Aprendiz está sendo implementado com:

- IMS: que é um padrão usado para modelar o aprendiz [Consortium 2008]. A especificação IMS define vários tipos de informações que devem ser obtidas do aprendiz de forma a ter um melhor conhecimento das capacidades, ações e intenções deste [Sibaldo et al. 2007]. Neste trabalho, foram usadas as seguintes tipos de informação:
 - Identificação: dados pessoais do aprendiz;
 - Objetivos: objetivos da aprendizagem, aspirações. Neste caso, o aprendiz de fração;
 - Atividade: processos de qualificações e/ou aprendizagem que o usuário está ou esteve envolvido. Aqui, quais os tópicos do domínio que ele já aprendeu.
- Ontologia: que é um conjunto de entidades com suas relações, restrições, axiomas e vocabulário, o qual pode definir um domínio ou, mais formalmente, uma conceitualização acerca deste domínio [Gruber 1995]; além de representar um vocabulário comum entre usuários e sistema [Studer et al. 1998]. Na ontologia serão estruturados os itens citados mais acima sobre o padrão IMS, para que posteriormente possa ser respondido as perguntas do tipo:
 - Qual o nome do aprendiz?
 - O aprendiz é do sexo masculino ou feminino?
 - Qual a idade do aprendiz?
 - Qual o nível educacional do aprendiz?
 - Quais tópicos do domínio o aprendiz quer aprender?
 - Quais tópicos o aprendiz já estudou?
 - Qual tópico o aprendiz está estudando?
 - Qual nível o aprendiz está no tópico que ele está estudando?
 - O que o aprendiz ainda não estudou?
 - Qual o nível de dificuldade (fácil, médio, difícil) do problema em questão?
 - Quantas questões o usuário tem que responder em um determinado nível de um tópico?
 - Quantas questões o aprendiz acertou em um determinado nível de um tópico?
 - Quantas questões o aprendiz errou em um determinado nível de um tópico?

6. Avaliação do Aprendiz

Nesta seção apresenta-se a utilização de alguns recursos disponibilizados pelo sistema: como funciona a avaliação do aluno (Subseção 6.1); e como o ambiente consegue saber exatamente qual erro foi cometido pelo aluno, para perceber suas dificuldades e acrescentar esta informação na dica mostrada para o mesmo (Subseção 6.2). Para melhor esclarecimento, um cenário é montado na Subseção 6.3.

6.1. Avaliação do Nível do Aluno em Relação aos Problemas

Para que o ambiente possa seguir um caminho sobre como passar os assuntos do domínio de fração ao estudante, o professor da instituição deverá inserir no sistema quais tópicos do domínio serão usados para agrupar as questões usadas para avaliar o estudante. Além disso, o professor também deve informar, para cada tópico, quantas questões ele acha que é suficiente para que o aluno tenha uma boa prática na resolução de problemas do tópico em foco, dentre estas, também deve ser informado quantas questões o aluno deve ter respondido corretamente, mesmo que com esforço (após receber dica), para que este possa passar de nível. Em um determinado tópico do domínio, o aluno pode ter o nível de Iniciante, Intermediário ou Avançado.

O aluno só poderá passar do nível Iniciante para o nível Intermediário depois que responder corretamente a quantidade mínima de questões que devem ser respondidas corretamente requerido pelo professor e informado ao sistema por ele. Da mesma forma também ocorre para passar do nível Intermediário para o Avançado. Estando no nível Avançado, o aluno também terá que responder a uma série de questões avançadas para ser considerado em um nível Avançado neste tópico do domínio.

O interesse do módulo de avaliação é saber o nível do aluno em um determinado tópico do domínio e reconhecer suas dificuldades, para que, tendo conhecimento delas, ele possa informar ao aluno em que assunto ele não está bem, devendo estudar mais para melhorar.

A forma de avaliar o desempenho do aluno será feita a partir de quantas questões ele acertou dentre as que foram passadas para ele. No Modelo do Aprendiz será armazenado as questões que ele acertou, as questões que ele errou, e qual é o tópico dessas questões, e quais questões ele acertou após a dica ter sido dada a ele, o que caracterizamos como “acertou com dificuldade”, para que o modelo do aprendiz guarde também essas dificuldades dele em relação ao tópico em questão. Um exemplo é um grupo de questões de subtração de frações com denominadores diferentes: as questões que ele acertou com dificuldade ou errou serão guardadas para que o sistema possa inferir qual particularidade do tópico o aluno está com problemas e possa, então, recomendar que ele estude mais.

6.2. Lista de Erros Comuns

Através da lista de erros comuns o ambiente será capaz de detectar as dificuldades do usuário e adicionar estas informações ao Modelo do Aprendiz. Com o uso de regras, será possível saber exatamente qual erro o aluno cometeu e assim constatar sua dificuldade, para então apresentar-lhe uma dica sobre como resolver tal tipo de questão.

Com a regra de resolução correta, o ambiente verifica se a questão foi corretamente respondida. Caso esteja errada a resposta, o ambiente verificará na lista de erros comuns se o erro cometido pelo estudante é um erro comum no processo de aprendizagem do tópico. Um exemplo de erro comum seria: sendo o tópico estudado “soma de frações com denominadores diferentes”, o aluno somou o numerador de ambas as frações e também somou os denominadores de ambas as frações. Neste caso o ambiente resolveria a questão de acordo com a lista de erros comuns e verificaria qual foi o erro cometido e, então, poderia informar ao aluno onde ele está errando. Para cada caso (regra correta e regra mal formada) é usado um arquivo XML (*Extensible Markup Language*) [Consortium 2006] que é uma linguagem de marcação usada para necessidades específicas. A equipe do

projeto preferiu XML por achar mais fácil de construir uma Máquina de Inferência que manipula regras neste formato.

Uma vez que o aluno tem uma questão para resolver, frisando que estas questões foram inseridas pelo professor, ele irá informar ao ambiente qual passo da expressão ele pretende realizar, após a resolução os seguintes casos podem acontecer:

1. Caso ele acerte o passo, a solução dele será atualizada;
2. Caso ele erre o passo pela primeira vez, o ambiente afirmará que ele errou sugerindo uma nova tentativa;
3. Caso ele erre o mesmo passo pela segunda vez, sendo este um erro comum de acontecer, o ambiente será capaz de saber exatamente qual foi o erro cometido e assim irá apresentar ao aprendiz uma dica explicitando que a operação por ele realizada está errada, seguido de um texto explicando como solucionar este tipo de questão;
4. Caso ele erre o mesmo passo pela segunda vez e o ambiente não consiga decifrar qual foi a falha do aluno, irá apresentar ao aprendiz uma dica explicitando como solucionar este tipo de questão apenas;
5. Caso ele erre novamente o mesmo passo após a dica, esta questão dará lugar a outras de mesmo nível, podendo eventualmente a mesma voltar a ser proposta;
6. Caso ele erre outro passo pela primeira vez, se alguma dica já foi dada, a dica para este passo é logo apresentada.

6.3. Dicas a Partir dos Erros Comuns

Tendo como cenário a fração $1/3 + 1/4 - 2/5$, o aluno escolhe o passo $1/3 + 1/4$. Levando em consideração que a resposta do aluno foi errada, uma nova chance é concedida, pois este erro pode ter ocorrido apenas por falta de atenção do aluno. Tendo sido a resposta para este mesmo passo: $2/7$, o sistema reage da seguinte maneira:

1. O sistema tenta resolver a fração $1/3 + 1/4$ utilizando a regra correta para este tipo de questões e obtém o resultado $7/12$, inferindo que o aluno cometeu um erro;
2. Depois o sistema resolve a fração utilizando as regras mal formadas, inferindo que o aluno utilizou a regra $n1/d1 + n2/d2 = n1+n2/d1+d2$, erro comum na soma de frações;
3. O sistema faz uso desta informação para retornar ao aluno a explicação sobre como este tipo de questão é resolvido: "Você somou os numeradores e o denominadores das frações. Apesar deste ser um erro comum de acontecer quando se aprende soma de frações, não é a forma correta. Para somar fração com denominadores diferentes você tem que, inicialmente, calcular o MMC (Mínimo Múltiplo Comum) dos denominadores. Depois dividir o MMC pelo denominador e multiplicar pelo numerador em cada fração, deixando o MMC como denominador em cada uma. Exemplo: $1/2 + 1/3$ tem MMC igual a 6, então $1/2 + 1/3 = ((6/2)*1)/6 + ((6/3)*1)/6 = 3/6 + 2/6 = 5/6$ ".

Levando em consideração as regras mal formadas, nem sempre podemos encontrar uma regra que foi utilizada pelo aluno, quando ele não comete um erro comum. Por exemplo, se na fração $1/3 + 1/4$, o aluno respondesse $28/30$, o ambiente inferiria que o erro cometido pelo aluno não é um erro comum. Para este caso apenas um texto explicando como resolve tal tipo de fração é apresentado na dica, sem a parte que diz qual foi o erro cometido pelo mesmo.

7. Conclusão

Este artigo descreve um sistema tutor para Fração. O sistema foi desenvolvido utilizando a linguagem Java [Deitel and Deitel 2004], Padrões de Projeto [Gamma 1999] e XML [Consortium 2006], padrão na Web. Com o sistema proposto, contribui-se para a área de Informática na Educação, especificamente para o desenvolvimento de Sistemas Tutores Inteligentes (STI).

O sistema tutor de fração aqui apresentado realiza um papel importante no ensino, apesar de ainda precisar de novos experimentos feitos para avaliar a aprendizagem dos aprendizes. Estamos obtendo resultados favoráveis e trabalhando continuamente para o melhoramento deste sistema.

Além disso, está em foco um aprimoramento da interface gráfica para uma utilização mais rica na busca de uma melhor comunicação com o usuário, e na obtenção de resultados mais expressivos no que diz respeito ao suporte de ensino, avaliação do aluno e adição de novas funcionalidades, como por exemplo, números mistos.

Referências

- Aho, A. V., Sethi, R., and Ullman, J. D. (1995). *Compiladores: Princípios, Técnicas e Ferramentas*. Addison-Wesley.
- Consortium, I. G. L. (2008). IMS Learner Information Package Specification. Disponível em <http://www.imsglobal.org/profiles/index.html>. Acessado em 05, Mai. de 2008.
- Consortium, W. W. W. (2006). Extensible Markup Language (xml). Disponível em <http://www.w3.org/TR/REC-xml/>. Acessado em 05, Mai. de 2008.
- Deitel, H. M. and Deitel, P. J. (2004). *Java How To Program (6th Edition)*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA.
- Estier, T. (1995). What Is BNF Notation? Disponível em <http://cui.unige.ch/db-research/Enseignement/analyseinfo/AboutBNF.html>. Acessado em 05, Mai. de 2008.
- Gamma, E. (1999). *Padrões De Projeto*. Bookman Companhia Ed, 1 edition.
- Gruber, T. R. (1995). Toward Principles For The Design Of Ontologies Used For Knowledge Sharing. *International Journal of Human and Computer Studies*, 43:907–928.
- He, Q. and Brna, P. (2005). The Development Of A Fraction Testing And Tutoring System. *9th International Computer Assisted Assessment Conference, University of Loughborough*.
- Kerly, A. and Bull, S. (2007). Open Learner Models: Opinions Of School Education Professionals. *Artificial Intelligence in Education*.
- Lee, S. J. and Bull, S. (2007). An Open Learner Model To Help Parents Help Their Children. *Technology, Instruction, Cognition and Learning (TICL)*.
- Nwana, H. S. (1993). *Mathematical Intelligent Learning Environments*. Intellect Books, 1 edition.
- Sibaldo, M. A. A., Sales, T. B. M., Calado, I. A. A. R., Bittencourt, I. I., and de Barros Costa, E. (2007). Mobile GraW: Uma Aplicação Para Dispositivos Móveis Baseada Em Comunidades Virtuais De Aprendizagem Com Suporte A Recomendação. *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*.

- Stefansson, G. (2003). The Tutor-Web: An Educational System for Classroom Presentation, Evaluation and Self-Study. *Computer & Education*, page 29.
- Studer, R., Benjamins, V. R., and Fensel, D. (1998). Knowledge Engineering: Principles and Methods. *Data Knowledge Engineering*, 25(1-2):161–198.