

Remediação de erros baseada em Múltiplas Representações Externas e classificação de erros aplicada a Objetos de Aprendizagem Inteligentes

Maici Duarte Leite¹, Andrey Ricardo Pimentel¹, Mônica Hoeldtke Pietruchinski^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Informática – Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Curitiba – Paraná – Brasil

²Departamento Acadêmico de Informática – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Ponta Grossa – Paraná – Brasil

{maici, andrey, mhpietruchinski}@inf.ufpr.br

Abstract. The proposition of error remediation is a powerful feature present in ITS, but the use of Multiple External Representations in support for this is a fact that has been researched. This article discusses the contribution of the use of Multiple External Representations for remediation of errors in learning objects. To perform this study, we present an architectural model, the conceptual frameworks of classification of mathematical error and Multiple External Representations, using a cognitive theory for remediation of errors. Following is presented the application context of remediation of error based on Multiple External Representations in a Learning Object.

Resumo. A proposição da remediação de erros é uma característica muito presente em STI, mas o uso de Múltiplas Representações Externas como suporte para tal é um fato que vem sendo pesquisado. Este artigo discute a contribuição do uso de Múltiplas Representações Externas para remediação de erros em Objetos de Aprendizagem. Para compor o presente estudo, é apresentado um modelo arquitetural, os arcabouços conceituais da classificação de erro matemático e das Múltiplas Representações Externas, com o uso de uma teoria cognitiva para remediação de erros. Na sequência, é apresentada a aplicação contextualizada da remediação do erro baseada em Múltiplas Representações Externas em um Objeto de Aprendizagem.

1. Introdução

O erro matemático já foi considerado um aspecto negativo da aprendizagem matemática, atualmente é considerado uma etapa natural na construção do conhecimento (Fiori e Zuccheri, 2005; Peng e Luo, 2009). Presente na trajetória escolar, o erro, ocorre independente de idade e/ou de nível de desempenho.

A possibilidade de classificação de um erro pode ser um agente potencializador na aquisição de um conceito pelo aluno, que aplicado a Objetos de Aprendizagem (OAs) já vem sendo discutido em diversos estudos (Oliveira, 2010; Marczal e Direne, 2011; Direne, Marczal e Bazzo, 2011; Leite, Pimentel e Oliveira, 2011)

A discussão apresentada neste estudo diz respeito ao uso de uma classificação de

erros matemáticos a fim de remediar erros, através de Múltiplas Representações Externas (MRE) em OAs. A relevância para o diagnóstico cognitivo se deve ao fato de orientar o plano instrucional, onde todas as ações de ensino dependem de um resultado (Tchétagni, Nkambou e Kabanza, 2004).

A fim de explorar uma remediação com o uso de MREs para prover um acompanhamento individualizado durante a aprendizagem a partir do erro apresentado pelo aluno. A contribuição está em, partindo do erro apresentado pelo aluno, fornecer uma remediação do erro mais apropriada através de uma MRE, proporcionando um melhor aprendizado, uma vez que o estudo está focado exclusivamente nas necessidades individuais de cada aluno.

A remediação de erros, presente em Sistemas Tutores Inteligentes (STI), tem por objetivo prover ao aluno as respostas mais adequadas, podendo estar vinculado ao perfil do aluno ou ao caminho que se está percorrendo, inclusive interferindo antes que o aprendiz cometa um erro. Por outro lado, os OAs, em sua maioria fornecem ao aprendiz respostas padronizadas, sem levar em consideração o erro propriamente dito.

O estudo de Oliveira (2011) apresenta uma aplicação de remediação de erro em um OA com Representações Externas, com o objetivo de dar suporte ao aprendizado a partir de um erro capturado, durante a interação do aprendiz, permitindo ao aprendiz revisar fatos, regras, conceitos, estimulando a escolha da estratégia correta sem se inibir com o erro final.

Uma extensão desta nova abordagem vem sendo usado no processo de remediação de erros (Leite, Pimentel e Oliveira, 2011) com MRE aplicados a OA. Karmiloff-Smith (1992) considera que as Representações Externas contribuem no constante processo de "apropriação" de estados estáveis com fins de extração de informações. As evidências sobre as vantagens do uso de Representações Externas para apoio à aprendizagem estão presentes em diversos estudos (Ainsworth, 2006; Ainsworth, 2008; Cox e Brna, 2005; Cleeremans e Jimenez, 2002), envolvendo a discussão da contribuição na melhora do desempenho e na compreensão do aprendizado por parte do aluno.

Ainsworth (2006, 2008) destaca que a apresentação de uma mensagem/representação adequada e inteligível pode contribuir decisivamente na aquisição de conhecimentos, desde que seja clara e contextualizada à dificuldade do aluno. A Taxonomia sobre as funções exercidas pelas MRE em relação ao aprendizado, com suas propriedades podem contribuir no processo e serão apresentadas neste estudo. Em (Ainsworth, 2008), a autora discute como aplicar as funções das MRE no processo ensino/aprendizado, discutindo seus efeitos.

Neste artigo, tem-se como objetivo apresentar a aplicação da remediação de erros a partir da classificação do erro matemático e vínculo com funções de MRE em um OA, envolvendo conceitos matemáticos. O modelo arquitetural que sustenta o referido estudo será discutido, bem como, sua composição modular.

O presente artigo encontra-se organizado da seguinte forma: as seções 2 e 3 apresentam o referencial teórico deste artigo sobre categorização de erros matemáticos e, posteriormente, MRE e remediação de erros. A Seção 4 apresenta a arquitetura explorada para fornecer a remediação de erros em OAs, detalhando cada componente. A

seção 5 apresenta a aplicação da arquitetura ao AO Pitágoras, com a proposição da classificação do erro, remediação do erro com MREs, apresentando explicações e exercícios. A seção 6 finaliza este artigo apresentando algumas conclusões e trabalhos futuros do projeto.

2. Classificação de Erros Matemáticos

O estudo de uma classificação de erros com o objetivo de compor os aspectos conceituais da pesquisa vislumbra a proposição de uma remediação para o erro mais precisa. Sabe-se que na literatura existem diversos tipos de erros, mas a ideia principal é pesquisar uma classificação para dar suporte a remediação do erro, e depois conforme fosse o tipo de conceito abordado pelo OA, então expandir a classificação.

Para compor o estudo referente à classificação de erros presentes na literatura foram escolhidos autores (Radatz, 1979; Vergnaud, 1986; Movshovitz-hadar e Zaslavsky, 1987; Peng e Luo, 2009), que apresentavam em seu objeto de estudo o erro matemático. A partir dos autores citados foi criada uma categorização de erros, explorada neste trabalho, apresentada em Leite, Pimentel e Oliveira (2011).

A proposta de estudo sobre classificação de erros tinha como objetivo a complementaridade de uma classificação única e abrangente, gerando uma nova:

- Interpretação equivocada da linguagem: esse tipo de erro alertaria para a dificuldade do aluno em avançar na compreensão da estrutura do problema para então ser formulada uma estratégia.
- Diretamente Identificáveis: este tipo de erro pode ser sub-classificado em erro de deficiência no domínio ou uso inadequado de dados e erro de deficiência de regra, teorema ou definição, além do erro referente a operador lógico.
- Indiretamente identificáveis: esta classificação contempla o erro apresentado pela falta de lógica correta, neste caso, poderia ser uma classificação incorreta, uma resposta para uma estratégia incorreta, transformação sem avanço.
- Solução não-categorizável: o presente erro tem como objetivo contemplar a inexistência de classificação entre os demais. Neste caso, poderia estar algum nível de imaturidade para um conceito resultando em proposição aleatória.

O destaque especial para o estudo de uma classificação de erros matemáticos é o vínculo e a complexidade exigida ao se propor uma MRE como remediação. A classificação de erros proposta tende a viabilizar uma remediação através de MRE, com o objetivo de permitir a revisão de fatos, regras e conceitos esquecidos.

3. MRE e remediação erros

Na continuidade pesquisou-se sobre MRE a fim de vincular o erro apresentado pelo aluno, a fim de viabilizar uma remediação mais precisa, visto que se tem a possibilidade de mapear os erros.

A Teoria das MRE (Ainsworth, 2006) embasa o uso de técnicas para representar, organizar e apresentar o conhecimento. A autora apresentou uma função para cada

categoria, a fim de enriquecer ainda mais o estudo. A função de *papéis complementares* tem o objetivo de explorar a representação para apoiar ou complementar um processo cognitivo. A função *restrição de compreensão* tem como objetivo restringir possíveis representações, que não sejam relevantes para determinados conceitos. E *função de construção de conhecimento aprofundado* tem como objetivo explorar a possibilidade do uso de MRE para uma criação de uma compreensão aprofundada obtida pela generalização de regularidades a partir do conteúdo apresentado.

Segundo Rau et al (2012) o uso de MRE ajuda na interpretação de conceitos, os estudos (Rau et al., 2009) afirmam ter obtido significativos ganhos de aprendizagem para os alunos, que trabalharam com um sistema, que suporta a aprendizagem com MRE. Os autores destacam que a intercalação MRE podem ajudar os alunos a adquirir flexibilidade de representação, além da possibilidade de gerar um bom número de comparações conceituais gráficas, quando expostos a experiência. Em nenhum destes dois trabalhos, o uso de MRE é aplicado ao processo de remediação de erros.

O uso das funções da MREs para oferecer a remediação do erro permitiu organizar na Tabela 1 a proposição deste estudo.

Tabela 1 – Composição da classificação

Tipo de erro	Subclassificação	Função das MREs	Remediação
Interpretação equivocada	-	Papéis complementares	Propor outras formas de apresentar o problema possibilitando uma releitura através de simbolização matemática.
Diretamente Identificáveis	Deficiência do domínio ou uso inadequado de dados.	Restrição de interpretação	Mostrar que embora a estratégia possa estar correta, a deficiência se encontra no uso das informações.
	Deficiência de regra, teorema ou definição.	Compreensão mais aprofundada	Apresentar a regra ou teorema, com o objetivo de reorganizar conceito ou generalizar.
	Deficiência na escolha do operador correto.	Compreensão mais aprofundada	Demonstrar que o equívoco encontra-se na escolha do operador.
Indiretamente identificáveis	-	Restrição de interpretação	Demonstrar que a lógica adotada não resulta na solução do problema.
Solução não-categorizável	-	Compreensão mais aprofundada	Propor a revisão de conceitos elementares ou presente na base de domínio.

Para avançar na complexidade da pesquisa se tornou conveniente apresentar uma arquitetura, responsável por compor a parte estrutural do estudo, que será apresentada na próxima seção.

4. Arquitetura para remediação de erros em OAs

A aplicação da abordagem de remediação de erros em OAs com MRE requer que o OA

apresente uma arquitetura funcionalista adequada. No OA deve ser possível à identificação do erro cometido pelo aprendiz e classificá-lo de acordo com as categorias apresentadas neste trabalho, comparando a solução do aprendiz com a solução ideal, usando para isso as regras de produção. Além disso, o OA deve ser capaz de vincular a função da MRE adequada ao erro cometido, identificar a MRE mais adequada ao momento do aprendizado e apresentá-la ao aprendiz no momento adequado da sessão de aprendizagem.

Os OAs tendem a ser módulos e, portanto pequenos, podendo ser agrupados para apresentar um conteúdo maior. Por este fato, estes podem se beneficiar de uma arquitetura reconfigurável (Marczal e Direne, 2011) e de um controlador genérico, que permita aos OAs adquirirem características próprias de um STI, como acompanhamento do aprendiz, feedback inteligente entre outras.

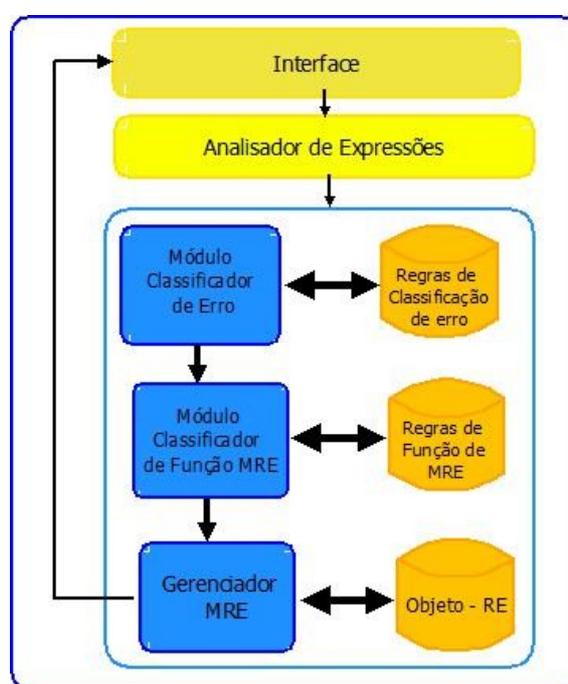


Figura 1. Modelo Arquitetural

A figura 1 tem por objetivo apresentar o modelo arquitetural da referida pesquisa, como composição possui: módulo classificador de erro, módulo classificador de função MRE, gerenciador de MRE e repositório de objetos de MRE. Ainda compõem a arquitetura a base de regras para classificação de erros e a base de regras para determinar a função da MRE.

A comunicação entre a interface do OA e o modelo arquitetural é realizada pela captura do erro, da ação e do número de tentativas do aluno. O **erro** capturado da interação com o aprendiz poderá ser referente ao início, meio ou fim do caminho de resolução. A **ação** se refere à etapa do processo de resolução em que o aprendiz se encontra que irá permitir uma instrução para o aprendiz (remediação) antes que o processo de resolução final seja apresentado, ou seja, a etapa da resolução para o tipo de MRE a ser apresentado depende desta informação. O número de **tentativas** tem como objetivo inicial validar se a MRE apresentada na remediação foi suficiente para o avanço do aprendiz. Assim considera-se relevante abordar na apresentação deste estudo

cada módulo do modelo arquitetural (Figura 1), a fim de dar maior clareza ao processo.

O módulo Identificador de Expressões tem como objetivo fazer a conexão entre o OA e o sistema, sendo responsável pela comunicação inicial, além de receber os dados para identificar como acerto ou erro. No caso de acerto pelo aprendiz os demais módulos não serão acionados, mas em caso de erro, o Módulo Classificador de Erro passa a ser acionado.

O módulo Classificador de Erro tem como objetivo classificar o tipo de erro apresentado pelo aprendiz a partir da identificação do dado ou expressão como erro, pelo Módulo Identificador de Expressões. O módulo receberá do módulo Identificador de Expressões o erro para classificá-lo através das regras presentes no Módulo de Regras sobre classificação de erro, que contém a classificação de erros apresentadas neste estudo (Interpretação Equivocada, Diretamente Identificáveis, Indiretamente Identificáveis e Solução não-categorizável).

A Base de Regras da Classificação de Erro tem como objetivo classificar o erro capturado. A ação e o número de tentativas armazenadas terão como propósito individualizar a remediação junto ao aprendiz, uma vez que se pretende acompanhar o aprendiz durante o processo de resolução. A ação irá mapear em que subetapa num conjuntos de etapas de resolução que o aprendiz se encontra. O número de tentativas será responsável por identificar o sucesso ou fracasso da MRE oferecida.

O módulo Classificador de Função de MRE tem como objetivo identificar qual função das MRE (Papéis complementares, Restrição de interpretação ou Compreensão mais aprofundada) se correlaciona com a classificação de erros. Esse módulo é considerado o mais importante da arquitetura referente às MRE, uma vez que começa a desencadear o processo de remediação de erros.

Esta etapa consiste em receber a entrada (erro, ação, número de tentativas e tipo de erro) e então validar o tipo de erro na base de regras (Base de Regras sobre Função da MREs). A base de regras deste módulo tem como objetivo principal determinar a função da MRE.

O Gerenciador de MRE parece ser um dos pontos mais relevantes no que se refere ao contexto do aprendiz, uma vez que é neste módulo que se definirá qual o tipo de remediação o aprendiz necessita para avançar em sua estratégia de resolução do problema. Como entrada o módulo recebe: erro, ação, número de tentativas e função MRE. Note que neste módulo não é necessário continuar armazenando o tipo de erro, uma vez que já foi usado para a classificação de MRE.

A função do Gerenciador é a escolha da apresentação da MRE no momento da remediação do erro já classificado, bem como, deverá armazenar a última representação apresentada para avançar na eficácia junto ao aprendiz. O Módulo Gerenciador de MRE possui um submódulo (objeto-RE) responsável por pesquisar na base, usando como parâmetros, critérios como: persistência no erro, sucesso com a MRE em situações anteriores, e maior ou menor complexidade da situação apresentada ao aprendiz.

As bases de regras do modelo arquitetural baseiam-se na análise dos dados capturados e informações do sistema retorne, para então gerar uma conclusão ou decisão. Basicamente, a base de regras presente na arquitetura apresenta dois tipos de informações: fatos e regras. Segundo Seffrin, Rubi e Jaques (2011), os fatos são as informações concretas e certas do sistema, enquanto, que as regras representam o

conhecimento utilizado para analisar fatos já presentes e retornar uma conclusão.

A composição modular da arquitetura permite uma maior independência oportunizando outras formas de aplicação em outras propostas de OAs. Uma possibilidade seria contribuir com outros produtos de software que já apresentam captura de erro, com ou sem remediação, e que poderiam atrela-los às MREs.

5. OA Pitágoras

O OA Pitágoras tem como objetivo ensinar e revisar conceitos que envolvem o Teorema de Pitágoras. O modelo arquitetural será explorado plenamente com a remediação de erros a partir da classificação do erro apresentado e vinculação às funções de MRE.

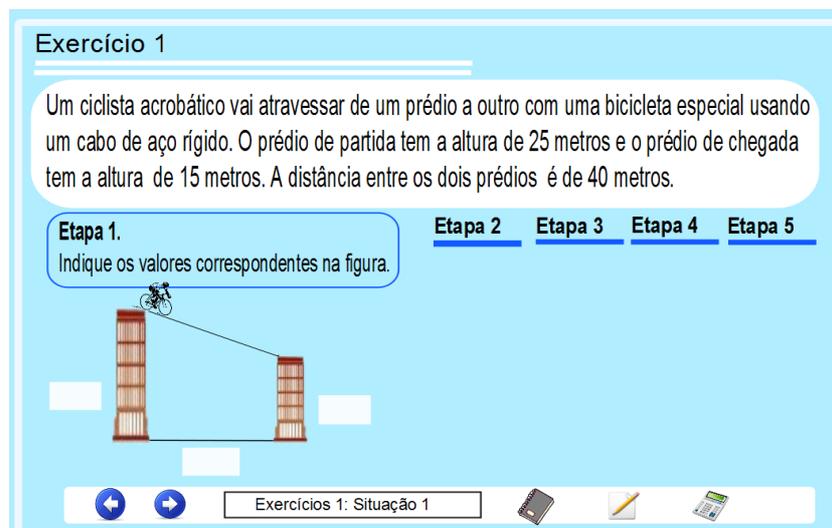


Figure 2. Interface do OA Pitágoras

A ideia principal para oportunizar a remediação do erro é acompanhar e analisar a trajetória do aluno, durante o uso do OA. Assim para um o enunciado explorado (Figura 2) o aluno precisaria primeiro identificar as medidas na figura dos prédios e da distância entre os mesmos. Um aspecto que vale destacar é que as questões pertinentes ao enunciado encontram-se subdivididas em etapas, na qual é necessário que o aluno avance uma a uma, permitindo a remediação contextualizada a classificação do erro e o vínculo à função de MRE por etapa de resolução.

O erro apresentado pelo aluno seria equívoco entre as medidas distribuídas na figura do problema (Figura 2) e a transposição para um triângulo retângulo para aplicação do Teorema de Pitágoras. Neste caso o aluno equivocou-se com as medidas, muito provavelmente confundido os dados presentes no problema, com os dados necessários para a resolução do problema, como apresentado na Figura 3.

Para este tipo de erro, tem-se a passagem do **erro**, a ser classificado pela base de regras para Classificação de Erro, recebendo como retorno a classificação: **Diretamente Identificável**, e como subtipo: deficiência do domínio ou uso inadequado de dados.

Dando continuidade, a entrada **erro**, que continuaria sendo armazenada; a ação, o número de tentativas; o tipo de erro já identificado e classificado (Diretamente Identificável - deficiência do domínio ou uso inadequado de dados). Este último precisa ser validado na base de regras sobre Função de MRE. No caso, teríamos como

classificação para MRE, função de **Restrição de interpretação**.

Exercício 1

Um ciclista acrobático vai atravessar de um prédio a outro com uma bicicleta especial usando um cabo de aço rígido. O prédio de partida tem a altura de 25 metros e o prédio de chegada tem a altura de 15 metros. A distância entre os dois prédios é de 40 metros.

Etapa 1 **Etapa 2.** **Etapa 3** **Etapa 4** **Etapa 5**

Indique as medidas dos catetos.

Exercícios 1: Situação 2

Figure 3. OA Pitágoras – tela da etapa 2

O módulo seguinte seria Gerenciador de MRE, que após consultar os critérios para apresentação de uma MRE retornaria com a remediação, que é possível visualizar a partir da Figura 4.

Exercício 1

Um ciclista acrobático vai atravessar de um prédio a outro com uma bicicleta especial usando um cabo de aço rígido. O prédio de partida tem a altura de 25 metros e o prédio de chegada tem a altura de 15 metros. A distância entre os dois prédios é de 40 metros.

Etapa 1 **Etapa 2.** **Etapa 3** **Etapa 4** **Etapa 5**

Indique as medidas dos catetos.

Exercícios 1: Situação 2

Figure 4. OA Pitágoras – Remediação do erro

As MRE oferecidas em OAs, através das remediações têm como propósito apresentar ao aprendiz uma percepção mais aprofundada do caminho ao qual está percorrendo, a partir do diagnóstico do erro. O sistema deverá fornecer apoio ao aluno através de uma MRE, que pode ser uma sentença de linguagem natural, tabelas, listas, figuras, simulações, diagramas, mapas.

6. Conclusões e trabalhos futuros

Existem muitas vantagens no uso de um diagnóstico seguido de uma intervenção, pode-se citar a detecção e remediação de erros de um mesmo contexto e ainda a possibilidade presente em STI em analisar soluções parciais do aprendiz.

O uso de remediação em STI viabiliza a intervenção junto ao aprendiz antes da progressão em um determinado erro, evitando, assim, uma solução completa, mas equivocada (Anderson, 1983). Como consequência há uma redução no número de erros que pode ocorrer, esse aspecto foi considerado relevante na proposta da arquitetura.

Embora o uso de MRE tenha como característica mais notável a redução da carga cognitiva, neste estudo o objetivo é apresentar uma arquitetura que viabilize a remediação do erro cometido pelo aprendiz, por intermédio de uma categorização mais específica, que se pretende subdividir em mais categorias, oportunizando uma gama de variedades que permita ao aprendiz adquirir conhecimentos matemáticos.

A principal contribuição deste estudo é a partir de uma perspectiva conceitual e de uma arquitetura funcionalista validar a viabilidade da classificação de erros para posterior remediação baseado em MRE. O uso de MRE para remediação de erros pode ser aplicado aos produtos de softwares, assim como, em outros OAs, deste que se consiga agregar os módulos que correspondem a tal objetivo.

Como validação complementar pretende-se aplicar um teste de avaliação com os alunos de uma escola pública. Embora algumas avaliações já tenham sido realizadas com especialistas em Educação Matemática e professores da rede pública de ensino no tipo somativas, buscando aprimorar o sistema. A avaliação formativa será feita em breve com alunos em ambiente escolar.

7. Agradecimentos

O presente trabalho foi apoiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) – Brazil e pelo DAINF – UTFPR/PG.

Referências Bibliográficas

- Ainsworth, S. (2006) “DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations”, *Learning and Instruction*, v. 16, n. 3, p. 83-198.
- Ainsworth, S. (2008) “The educational value of multiple representations when learning complex scientific concepts”, *Theory and Practice in Science Education*, pp. 191-208.
- Anderson, J. R. (1983) “Acquisition of cognitive skill”, *Psychological Review*, 89(89), p. 369-403.
- Bazzo, G., Direne, A., Marczal, D. (2011) “Classificação automática de erros de aprendizes humanos do processo de indução analítica” In XXII SBIE - Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE-2011), p. 130-139, Aracaju, Sergipe, Brasil. SBC
- Cleeremans, A.; Jimenez L. (2002) “Implicit Learning and Consciousness: An Empirical”, Psychology Press.
- Cox, R.; Brna, P. (1995) “Supporting the use of external representations in problem solving: The need for flexible learning environments”, *Journal of Artificial Intelligence in Education*, v. 6, pp. 239-302.
- Fiori, C.; Zuccheri, L. (2005), “An Experimental research on error patterns in written subtraction”, *Journal Educational Studies in Mathematics*, v. 60, n. 3, p. 323-331.
- Karmiloff-Smith, A. (1992) “Beyond modularity: A developmental perspective on

- cognitive science”, Cambridge: MIT Press.
- Leite, M. D.; Pimentel, A. R. Oliveira, F. D. Um estudo sobre classificação de erros: uma proposta aplicada a Objetos de Aprendizagem. In: 22o. Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, 2011, Aracaju - SE. Anais do XXII SBIE - XVII WIE, 2011. p. 264-273.
- Marczal, D.; Direne, A. I. (2011) “Um arcabouço que enfatiza a retroação a contextos de erro na solução de problemas”, *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 19, n. 63, pp. 19-27, 2011.
- Movshovitz-hadar, N.; Zaslavsky, O. (1987) “An empirical classification model for errors in high school mathematics”, *Journal for Research in Mathematics Education*, v.18, n.1, p. 3-14, Março.
- Oliveira, F. D. (2011) “Suporte ao aprendizado apoiado por múltiplas representações externas através da análise e remediação de erros”, Dissertação de Mestrado em Informática – Departamento de Informática, UFPR.
- Peng, A.; Luo, Z. (2009) “A framework for examining mathematics teacher knowledge as used in error analysis”, *For the Learning of Mathematics*, v. 29, n. 3, p. 22-25, Novembro.
- Radatz, H. (1979) “Error Analyses in Mathematics Education”, *Journal for Research in Mathematics Education*, v.10, n.2, p. 163-172, Maio.
- Seffrin, H., Rubi, G., Jaques, P. (2011) “O Modelo Cognitivo do Sistema Tutor Inteligente PAT2Math” In XXII SBIE - Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE-2011), p. 10-19, Aracaju, Sergipe, Brasil. SBC.
- Tchétagni, J.; Nkambou, R.; Kabanza, F. (2004) “Epistemological Remediation in Intelligent Tutoring Systems”, *IEA/AIE'2004 - Proceedings of the 17th international conference on Innovations in applied artificial intelligence*, p. 955-966.
- Vergnaud, G. (1986) “Psicologia do desenvolvimento cognitivo e didáctica das matemáticas. Un exemplo: as estruturas aditivas”, *Análise Psicológica*, v. 1, n. 5, p. 76-90.
- Rau, M. A., Alevén, V., & Rummel, N. (2009). Intelligent Tutoring Systems with Multiple Representations and Self-Explanation Prompts Support Learning of Fractions. In V. Dimitrova, R. Mizoguchi, & B. du Boulay (Eds.), *Proceedings of the 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 441-448). Amsterdam, the Netherlands: IOS Press.
- Rau, M., Rummel, N., Alevén, V., Pacilio, L., & Tunc-Pekkan, Z. (2012). How to schedule multiple graphical representations? A classroom experiment with an intelligent tutoring system for fractions. In J. van Aalst, K. Thompson, M. J. Jacobson & P. Reimann (Eds.), *The future of learning: Proceedings of the 10th international conference of the learning sciences (ICLS 2012) - Volume 1, Full Papers* (pp. 64-71). Sydney, Australia: ISLS.