

## Uso de Lógica Fuzzy no Auxílio ao Acompanhamento Automático de Alunos utilizando um Ambiente de Aprendizagem

Marcelo de Paiva Guimarães<sup>1</sup>, Valéria Farinazzo Martins<sup>2</sup>, Diego Colombo Dias<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Aberta do Brasil (Unifesp)/Programa de mestrado da Faculdade Campo Limpo Paulista, Brasil

<sup>2</sup>Faculdade de Computação e Informática – Universidade Presbiteriana Mackenzie.  
Rua da Consolação, 930 Cep 01302-907 - Consolação - São Paulo - SP – Brasil

<sup>3</sup>Departamento de Ciência da Computação. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, Brasil

marcelodepaiva@gmail.com, valeria.farinazzo@mackenzie.br,  
diegocolombo.dias@gmail.com

**Abstract.** *Teachers face many challenges to achieve effective teaching, including perception of individual student difficulties in order to carry out appropriate actions. This paper describes a computational tool based on Fuzzy Logic for monitoring students individually. The system monitors the student's behavior in relation to Learning Unit (an exercise) and performs actions according with the current state, such as, playing a video help or calling the teacher. The system was tested by students and validate by teachers showing that it works as expected.*

**Resumo.** *Os professores enfrentam diversos desafios a fim de alcançar um ensino efetivo, dentre eles, a percepção das dificuldades individuais dos alunos para que ações apropriadas sejam realizadas. Este artigo mostra uma ferramenta computacional baseada em Lógica Fuzzy para o acompanhamento individual de alunos. O sistema monitora o comportamento do aluno em relação a Unidades de Aprendizagem (um exercício) e realiza ações conforme o estado atual, como, por exemplo, oferecendo um vídeo de ajuda ou acionando o professor. São apresentados os testes realizados com alunos e validados pelo professor de modo a concluir que o sistema teve um funcionamento conforme o esperado.*

### 1. Introdução

A aprendizagem é uma atividade complexa para os seres humanos. A sua realização, de forma efetiva, exige que muitas barreiras sejam ultrapassadas, como o entendimento de conceitos abstratos, que são de difícil assimilação e de explicação. Além disso, cada indivíduo tem a sua maneira própria de aprender e isso requer momentos diferentes para a aprendizagem, o que faz crescer a dificuldade do processo (Freire 1996; Zabala 1998). Sendo assim, o ideal seria que cada aluno fosse acompanhado individualmente para que as dificuldades específicas fossem notadas e as ações apropriadas pudessem ser

realizadas pelo professor. Porém, prover atenção e ações específicas para cada aluno é uma atividade desafiadora, pois, na maioria das vezes, a quantidade de alunos na sala de aula é grande e cada um está em uma fase do processo de aprendizagem (tempo de aprendizagem).

Tradicionalmente, os professores percebem as dúvidas de cada aluno quando verificam individualmente as soluções criadas pelo aluno. Porém, com o aumento de alunos em sala, esta tarefa cotidiana é de difícil execução, requerendo um tempo extra-classe bastante grande. Geralmente, o professor se limita a uma amostragem de alunos. Assim, torna-se estimulante a busca por ferramentas computacionais que apoiem o processo de acompanhamento e de ações dos professores, uma vez que podem: facilitar a execução das tarefas; fornecer meios para difusão de informações coletivas e individuais; disponibilizar ambientes para produção coletiva e individual; e, além disso, podem se adaptar a cada aluno, conforme o estágio de aprendizagem do indivíduo. Tal ferramenta precisam ser composta por mecanismos que auxiliem o professor na tomada de decisão ou que seja capaz de extrair a *expertise* do professor em como agir dependendo do perfil do aluno e, automaticamente, possa intervir na tomada de decisão sobre o processo de aprendizado do aluno.

A construção de uma ferramenta como essa depende de um modelo matemático para ajudar a tomar decisões. A fim de melhorar os modelos e, em seguida, o nível de segurança na tomada de decisões, é comum a utilização de ferramentas com potencial de modelagem que incluem incertezas envolvidas no processo modelado, como a teoria dos conjuntos difusos – também chamado de Conjuntos Fuzzy (Zadeh, 1965).

A lógica Fuzzy permite expressar os conceitos subjetivos de um especialista e operar matematicamente com estes conceitos, ou seja, traduzir conhecimento humano para operações de máquina. Ela tem uma aplicação bastante indicada para certas classes de objetos que não admitem tratamento convencional (Zadeh, 1996; Sugeno e Yasukawa, 1993), como, por exemplo, sistemas modelados empiricamente, sistemas definidos de maneira vaga ou imprecisa e sistemas de difícil modelagem por métodos convencionais. Desta forma, pode-se modelar o comportamento dos alunos e implementá-lo no sistema, visando-se a adaptação do ensino, respeitando a individualidade (por exemplo, nível de conhecimento e velocidade de aprendizagem).

Alguns trabalhos, neste contexto, têm sido encontrados na literatura. Fabri e Fabri (2002), Rissoli, Giraffa e Martins (2006), Costa, et al. (2006), Malvezzi, Mourão e Bressan (2010), Richard et al. (2012) e Iqbal (2012) mostram sistemas baseados em Lógica Fuzzy que são capazes de monitorar as atividades executadas pelos alunos a fim de que, posteriormente, o professor analise o estado de aprendizagem e possa realizar ações apropriadas. Fabri e Fabri (2002) utilizam Fuzzy para o acompanhamento do desempenho de alunos num curso a distância, com o objetivo de verificar se o aluno está apto ou não a avançar um módulo no curso em questão. Isso dá ao autor do curso mais mecanismos para se saber se o curso está atingindo os objetivos propostos. Em Rissoli, Giraffa e Martins (2006) é criado um módulo Fuzzy para um sistema tutor inteligente de um curso de Programação Computacional, que subsidia o docente com informações de acompanhamento individual dos alunos e agrega indicações e orientações deste docente sobre a situação cognitiva de cada aluno, além de aspectos relevantes em cada tópico. O sistema de Costa et al. (2006) é voltado para o ensino a distância e tem como entrada os

resultados referentes a uma atividade, como tempo dedicado, percentual de acerto e complexidade. Já Malvezzi, Mourão e Bressan (2010) propõem um sistema de acompanhamento de alunos num modelo de educação presencial mediado por tecnologia, e utiliza Fuzzy para auxiliar os docentes a avaliar o desempenho individual do aluno na disciplina, assim como promover subsídios para se avaliar o processo de aprendizagem como um todo. O sistema apresentado por Richard et al. (2012) é voltado para cursos presenciais no qual o professor não tem contato direto com os alunos e analisa como entrada as interações realizadas via *chat*, no fórum e em resultados de testes aplicados. O trabalho de Iqbal (2012) é voltado para o ensino a distância e tem como entrada dados vindos via *software*, como, interações com o fórum, e via *hardware*, como a posição do olhar do estudante. Nestes trabalhos, percebe-se que o módulo Fuzzy trabalha de maneira assíncrona em relação ao aprendizado do aluno, vinculada à disponibilidade do professor em interagir com cada aluno identificado com problemas no processo de aprendizado.

Estes trabalhos têm em comum a percepção que as interações que os alunos realizam durante a execução das tarefas podem ser utilizadas para que o curso seja aprimorado, para isto, todos aplicam técnicas para analisar o histórico das interações com as atividades para prover um *feedback* para os professores. O trabalho apresentado neste artigo diferencia-se pelo fato de que visa utilizar o estado momentâneo de aprendizagem como *feedback* instantâneo para o professor, ou seja, possibilita que o professor intervenha no processo de ensino/aprendizagem durante a sua execução, em tempo real.

Este artigo tem como objetivo apresentar o sistema de monitoramento desenvolvido, que foi criado utilizando Lógica Fuzzy. As entradas para o sistema baseiam-se em dados qualitativos sobre os alunos, tais como se o tempo sem o aluno interagir com a ferramenta é alto e assim tomar uma ação sobre o processo de aprendizado.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 traz a metodologia empregada neste trabalho; a seção 3 descreve o sistema, incluindo a modelagem Fuzzy e as principais questões de implementação; a seção 4 analisa o comportamento do sistema de monitoramento, trazendo e discutindo os resultados; e, por fim, a seção 5 apresenta as conclusões.

## **2. Metodologia do Trabalho**

A ferramenta do Ambiente de Aprendizagem baseado em Unidades de Aprendizado já estava finalizada, o intuito deste trabalho, então, era o de desenvolver o módulo que faria o controle individualizado dos alunos, utilizando Lógica Fuzzy.

Para o desenvolvimento deste módulo do sistema foi utilizado o método ágil Extreme Programming (Beck, 1999; Beck, 2004). Neste tipo de abordagem, o cliente e o desenvolvedor precisam estar constantemente em contato. Para este trabalho, a equipe de desenvolvimento foi composta pelos autores, sendo que todos são desenvolvedores e um é especialista na modelagem de sistemas Fuzzy. Todos também são professores, o que facilitou na identificação e validação das variáveis Fuzzy, assim como o comportamento do sistema e também agilizou os testes do sistema de acompanhamento de alunos.

Utilizando o método ágil Extreme Programming método, várias versões são geradas rapidamente e testadas. A linguagem de programação adotada foi Java. O desenvolvimento deste módulo durou 15 dias e foi composto, principalmente, pela modelagem Fuzzy – definição das variáveis de entrada e saída, valores utilizados e regras Fuzzy. A validação deste modelo contou com 10 professores convidados. Depois dos testes realizados com os clientes (professores), foi realizado um teste com alunos utilizando o sistema; os resultados são apresentados neste trabalho.

### 3. Descrição do Sistema

A Figura 1 mostra a interface da ferramenta de aprendizagem composta pelas Unidades de Aprendizagem. O foco desta ferramenta é o oferecimento de soluções que permitam o acompanhamento individual dos alunos, a fim de estimular situações de aprendizagem capazes de proporcionar uma melhor assistência educacional aos alunos, independentemente da distância física. Ela é fundamentada nas Unidades de Aprendizagem, que são unidades de trabalho digitais (por exemplo, um exercício), que possuem propriedades que facilitam o seu monitoramento, permitindo então que os professores auxiliem os alunos conforme o estado da Unidade de Aprendizagem de cada aluno. Cada Unidade de Aprendizagem é composta por atributos, como nome, *link* para o próximo (exercício com maior grau de dificuldade), *link* para o anterior (exercício com menor grau de dificuldade) e para objetos multimídia (áudio, vídeo e texto); e de ações, como os alertas enviados para o professor quando não ocorre interação com a Unidade de Aprendizagem e os tipos de ajudas a serem oferecidas aos alunos.

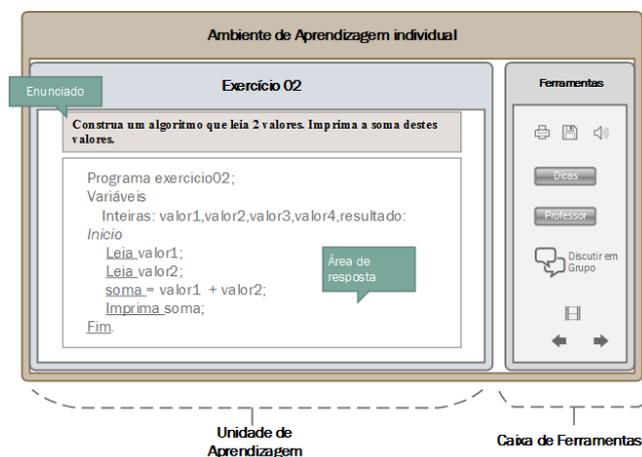


Figura 1 – Interface Principal - Aluno

Nessa ferramenta, o professor cria as Unidades de Aprendizagem e as distribui entre os alunos. Então, o ambiente monitora as ações realizadas nas Unidades individuais, o que permite relatar ao professor o estado atual, além disso, disponibiliza ações individuais a cada aluno conforme o estado de sua Unidade, como, por exemplo, sugere um texto explicativo. A seguir alguns exemplos de situações que geram ações no ambiente:

- Gera um alerta ao professor, caso o aluno fique por um determinado período de tempo sem interagir com a Unidade de Aprendizagem;

- Oferece algum tipo de ajuda ao aluno (por exemplo, um vídeo ou texto explicativo) quando o aluno fica um período de tempo sem interagir com o ambiente;
- Gera um alerta ao professor caso o aluno esteja solicitando ajuda e já acessou todos os outros tipos de ajuda (texto, vídeo, áudio).

Um dos desafios desta ferramenta é receber como entrada o estado da Unidade de Aprendizagem e acionar a ação apropriada. Os parâmetros de comportamento de cada Unidade são configurados pelo próprio professor, por exemplo, “se o aluno ficar mais de 3 minutos sem interagir com o objeto, o sistema deve sugerir um determinado vídeo”. Estas entradas devem passar pelo módulo Fuzzy para que seja tomada a ação automaticamente.

### 3.1. Modelagem Fuzzy

O módulo de tomada de decisão sobre as ações a serem tomadas pelo sistema, automaticamente, utiliza Lógica Fuzzy como meio de avaliação do desempenho do estudante e assim determinar se uma intervenção ao aprendizado é necessária. Ela possui três variáveis linguísticas de entrada e duas de saída, que representam o resultado final da avaliação de desempenho do aluno (e a intervenção ou não no processo de aprendizado). Estas variáveis e suas regras de inferência são apresentadas nas tabelas 1, 2 e 3.

As variáveis de entrada e de saída, assim como os valores obtidos como graus de pertinência – ou seja, o intervalo válido das variáveis – e também as regras Fuzzy foram obtidos com base na experiência coletada de 10 professores que ensinam programação para alunos dos primeiros semestres, realizada através de uma entrevista informal.

As variáveis Fuzzy escolhidas e seu significado são apresentados a seguir:

- Variáveis de entrada
  1. Tempo sem interagir: significa quanto tempo o aluno ficou sem interagir com uma instância da Unidade de Aprendizagem, seja ele o exercício propriamente dito ou instrumentos complementares de aprendizagem, tais como um vídeo ou um texto. Este tempo pode ser caracterizado como pequeno, médio ou alto.
  2. Quantidade de caracteres inseridos: porcentagem de caracteres que o usuário digitou em função de um número médio de caracteres por exercício, definido pelo professor. Esta quantidade pode ser baixa, média ou alta.
  3. Pedidos de ajuda: significa a quantidade de pedidos já realizada pelo aluno, que pode ser baixo, médio ou alto.
  4. Dificuldade do exercício proposto: nível do exercício que o professor propõe, que pode ser rotulado como fácil, intermediário e difícil.
- Variáveis de saída
  1. Nível de ajuda: o nível de ajuda significa qual dos instrumentos de aprendizagem será utilizado, podendo ser: Nível 0 – nenhuma ajuda; Nível 1 – áudio, vídeo apresentado ao aluno como material de apoio

sobre o tema; Nível 2 – rever exercício – rever um exercício comentado sobre um tema que tenha sido apresentado pelo professor; Nível 3 – ajuda monitor, ou seja, o monitor da disciplina é designado para ir ao computador aonde está o aluno; Nível 4 – ajuda professor, ou seja, é requisitada a ajuda presencial do professor.

A função de pertinência utilizada pelas variáveis do projeto foi o Trapezoidal (Equação 1). Ela resulta os graus de pertinência apresentados nas tabelas 1 e 2 – onde a, b, c e d são as arestas do trapézio. O grau de pertinência é um valor real compreendido no intervalo [0,1], que significa o quanto é possível que o valor da variável pertença ao conjunto Fuzzy. Essa função de pertinência é fundamental e complexa para que seja possível utilizar Lógica Fuzzy [Zadeh 1965].

$$trapmf(x; a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right)$$

**Equação 1 - Função de Pertinência utilizada**

**Tabela 1. Variáveis Fuzzy de Entrada**

Variáveis de Entrada		
Nome da Variável	Termos Linguísticos	Grau de Pertinência (intervalo)
Tempo sem interagir	Pequeno	[0, 60]
	Médio	[58, 180]
	Alto	[170, 300]
Quantidade de caracteres inseridos	Baixa	[0, 10% da quantidade média de caracteres para o exercício]
	Média	[9% da quantidade média de caracteres para o exercício, 30% da quantidade média de caracteres para o exercício]
	Alta	[28% da quantidade média de caracteres para o exercício, 100% da quantidade média de caracteres para o exercício]
Pedidos de Ajuda	Baixo	[0,1]
	Médio	[1,3]
	Alto	[2,5]
Dificuldade do exercício proposto	Fácil	[0, 5]
	Médio	[5, 7.5]
	Difícil	[7, 10]

**Tabela 2. Variáveis Fuzzy de Saída**

Variáveis de Entrada		
Nome da Variável	Termos Linguísticos	Grau de Pertinência (intervalo)
Nível de Ajuda	Nível 0 – nenhuma ajuda	[0,1]
	Nível 1 – áudio, vídeo	[1,2]
	Nível 2 – rever exercício	[2,3]
	Nível 3 – ajuda monitor	[3,4]
	Nível 4 – ajuda professor	[4,5]

**Tabela 3. Regras Fuzzy para o Sistema**

<b>Regras Fuzzy</b>
Se Dificuldade de exercício proposto é difícil e Tempo sem interagir é Alto então Nível de Ajuda é Nível 4.
Se Tempo sem interagir é Alto e Quantidade de caracteres inseridos é Baixa então Nível de Ajuda é Nível 4.
Se Dificuldade do exercício proposto é Difícil e Quantidade de caracteres inseridos é Baixa e Pedidos de Ajuda é Médio então Nível de Ajuda é Nível 3.
Se Dificuldade do exercício proposto é Fácil e Pedidos de Ajuda é Baixo então Nível de Ajuda é Nível 1.
Se Dificuldade do exercício proposto é Fácil e Tempo sem interagir é Médio então Nível de Ajuda é Nível 1.
Se Tempo sem interagir é Pequeno e Dificuldade do exercício proposto é Fácil então Nível de Ajuda é Nível 0.
Se Tempo sem interagir é Pequeno e Pedidos de Ajuda é Baixo então Nível de Ajuda é Nível 0.
Se Dificuldade do exercício proposto é Médio e Tempo sem interagir é Médio e Pedidos de Ajuda é Baixo então Nível de Ajuda é Nível 1.
Se Dificuldade do exercício proposto é Fácil e Tempo sem interagir é Alto e Quantidade de caracteres inseridos é Baixa então Nível de Ajuda é Nível 1

### 3.2. Principais Questões de Implementação

Esta subseção apresenta os detalhes de implementação relacionados à modelagem e implementação do sistema. Tanto o ambiente de aprendizagem, quanto o sistema Fuzzy, foram desenvolvidos utilizando a linguagem Java, e utilizando bibliotecas licenciadas (*software* livre).

A biblioteca utilizada na implementação do sistema Fuzzy foi a jFuzzyLogic. A jFuzzyLogic é uma biblioteca lógica de código aberto e desenvolvida em Java, a qual permite a codificação em linguagem FCL (Fuzzy Control Language). As variáveis de entrada e saída, apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente, foram codificadas em FCL, assim como as regras Fuzzy descritas na Tabela 3.

O sistema desenvolvido permite que diferentes combinações de entrada sejam providas pelo ambiente de aprendizagem. As entradas são providas dinamicamente, em tempo de execução.

### 4. Resultados

Após um plano de testes funcionais realizado pela equipe de desenvolvimento, foi percebido que a aplicação estava funcionando como o esperado. Então, foram realizados os testes de comportamento, apoiado nas regras Fuzzy.

As Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados sobre os perfis de 10 alunos para o primeiro e segundo exercício proposto, escolhidos aleatoriamente dentre 52 alunos, e os respectivos valores para a variável linguística de saída esperados como resposta. Na tabela 4 constam os valores obtidos em um determinado instante, neste caso depois de decorridos 20 minutos da proposta do exercício. Já a Tabela 5 apresenta os resultados referentes ao segundo exercício, com nível de dificuldade maior, depois de 15 minutos de iniciado o exercício.

**Tabela 4 – Primeiro Exercício**

Simulação	Tempo sem interagir	Quantidade de caracteres inseridos	Pedidos de ajuda	Dificuldade do exercício proposto	Nível de ajuda
Aluno 1	30	47	0	6	0,39 (nível 0)
Aluno 2	73	10	1	6	1,5 (nível 1)
Aluno 3	198	75	0	6	1,5 (nível 1)
Aluno 4	10	54	0	6	0,34 (nível 0)
Aluno 5	22	67	0	6	0,36 (nível 0)
Aluno 6	15	64	0	6	0,35 (nível 0)
Aluno 7	243	27	2	6	3,5 (nível 3)
Aluno 8	23	56	0	6	0,37 (nível 0)
Aluno 9	180	10	0	6	2,5 (nível 2)
Aluno 10	39	62	1	6	2,5 (nível 2)

**Tabela 5 – Segundo Exercício**

Simulação	Tempo sem interagir	Quantidade de caracteres inseridos	Pedidos de ajuda	Dificuldade do Exercício proposto	Nível de Ajuda
Aluno 1	76	24	0	8	1,5 (nível 1)
Aluno 2	150	76	1	8	2,5 (nível 2)
Aluno 3	247	30	2	8	4,33 (nível 4)
Aluno 4	125	86	0	8	1,5 (nível 1)
Aluno 5	53	77	0	8	0,47 (nível 0)
Aluno 6	141	19	0	8	1,5 (nível 1)
Aluno 7	214	7	1	8	4,13 (nível 4)
Aluno 8	12	43	0	8	0,34 (nível 0)
Aluno 9	23	74	0	8	0,37 (nível 0)
Aluno 10	28	79	0	8	0,38 (nível 0)

A Tabela 4 mostra os perfis de alunos e os respectivos valores para as duas variáveis linguísticas de saída esperados como resposta. O sistema se adaptou conforme o aluno. Por exemplo, o Aluno 3 precisou de ajuda nível 1 (vídeo) para resolver o exercício 1. Contudo, no segundo exercício, o qual possuía um nível de dificuldade maior, ele precisou de ajuda (nível 4 - professor), pois o tempo sem interagir era muito alto, o número de caracteres inseridos muito baixo e número de pedidos de ajuda já era grande.

Já o Aluno 7, encontrou muitas dificuldades logo no primeiro exercício. Assim, precisou de uma ajuda de nível elevado (nível 3). O mesmo aluno, no exercício 2, precisou de ajuda nível 4 (professor).

Observando-se os valores, pode-se se subentender que o nível de dificuldade encontrado em cada exercício é diferente para cada um dos alunos, visto que poucos alunos encontraram maiores dificuldades.

A tarefa em descobrir as dificuldades dos alunos não é trivial. Na maioria das vezes, o educador não consegue mensurar o nível de dificuldade que cada aluno possa ter. Assim, o sistema proposto pode vir a auxiliar esta tarefa.

## **5. Conclusões**

Este trabalho apresentou o uso de Lógica Fuzzy para desenvolver o módulo de um sistema de monitoramento de alunos, numa aula presencial. Através de variáveis de entrada como tempo sem interagir, quantidade de caracteres inseridos e número de vezes que o aluno necessitou de ajuda, é possível que o sistema aponte qual o nível de ajuda seria melhor para lidar com este aluno, como se fosse um atendimento personalizado. Em alguns casos, o sistema pode até solicitar que o professor dê uma atenção especial ao aluno. Esta ajuda em níveis é importante para que o aluno se sinta integrado ao sistema de ensino-aprendizagem e possa ter ajuda em pontos críticos no seu estudo.

Visto as considerações citadas na seção de testes (seção 4), o resultado foi satisfatório e a utilização de Lógica Fuzzy foi abrangente o suficiente para detectar com precisão os pontos de atenção de determinado aluno ao professor, o que poderia passar despercebido sem o sistema, se a turma tivesse um número grande de alunos. Através das variáveis utilizadas pelas funções de pertinência e com base nos fatos históricos manipulados pelos alunos envolvidos, é possível que o sistema interaja para que o mesmo consiga ter uma continuidade ideal dos estudos, bem como um reforço maior em uma matéria – através de um vídeo, por exemplo, a ajuda de um monitor ou mesmo do professor.

O conhecimento do estado de estudo dos alunos e as tomadas de decisões são de muita importância para o processo de ensino-aprendizagem, pois o objetivo do sistema é de proporcionar um aprendizado efetivo. A Lógica Fuzzy proporcionou eficiência em avaliar dentro do sistema as ações do aluno, fazendo tomada de decisões de forma transparente e correta.

Estudos e pesquisas ainda podem ser realizados com o intuito de avaliar qual técnica de adaptação é mais eficiente utilizar: Lógica Fuzzy, Redes Neurais ou Sistemas Tutores Inteligentes, levando em conta o desempenho, confiabilidade e o grau de dificuldade de implementação de cada uma.

Uma linha interessante a ser seguida, talvez não seja em verificar qual técnica é mais eficiente, e sim pesquisar a possibilidade de serem aplicadas em conjunto, a fim de abstrair o máximo de qualidade de cada uma, a fim de trabalharem de forma complementar.

## Referências

- Arias, R. A., Panhan, A. M., Breda, G. D., Zarpelão, B. B., Mendes, L.S. (2012). "Avaliação Multidimensional Baseada em Lógica Difusa para Ambientes de Ensino Mediado por Computador. Revista Brasileira de Informática na Educação", Volume 20, Número 3, pp.74-84.
- Beck, K. (1999), "Embracing change with extreme programming". Computer, v. 32, n. 10, pp. 70-77.
- Beck, K., Andres, C. (2004). "Extreme programming explained: embrace change". Addison-Wesley Professional.
- Costa, K. C. F., Harb, M. P. A. A., Brito, S. R., Favero, E. L. (2006). "Acompanhamento do estudante em ambientes de aprendizagem utilizando Lógica Fuzzy". Anais do XXVI Congresso da SBC.WIE I XII Workshop de Informática na Escola. Campo Grande, MS, 2006.
- Fabri, J. A. and Fabri, M. G. (2002). "Ferramenta Fuzzy para Acompanhamento do Desempenho dos alunos nos Cursos a Distância". In XXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. Workshop de Informática na Escola. Campinas.
- Freire, P. (1996) "Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa" São Paulo: Paz e Terra.
- Iqbal, R. (2012). "An Intelligent Framework for Monitoring Student Performance Using Fuzzy Rule-Based Linguistic Summarisation". 2012 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). WCCI 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence June, 10-15, 2012 - Brisbane, Australia. pp.1-8.
- Malvezzi, W. R., Mourão, A. B., Bressan, G. (2010) "Uma Ferramenta Baseada em Teoria Fuzzy para o Acompanhamento de Alunos Aplicado ao Modelo de Educação Presencial Mediado por Tecnologia". Anais do SBIE 2010. XXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, João Pessoa. 10 pages.
- Rissoli, V. R. V., Giraffa, L. M. M., & Martins, J. D. P. (2008). "Sistema tutor inteligente baseado na teoria da aprendizagem significativa com acompanhamento fuzzy". Informática na educação: teoria & prática, 9(2).
- Sugeno, M. e Yasukawa, T. "Uma Abordagem Fuzzy-Logic-Based para Modelagem Qualitativa", IEEE Transactions on sistema fuzzy, v.1, pp. 7-31.
- Zabala, A. (1998) "A Prática Educativa: como ensinar", Porto Alegre: Artmed.
- Zadeh, L.A. (1965). "Fuzzy Sets, Information and Control", Vol. 8, pp.338-353.
- Zadeh, L.A. (1996). "Fuzzy logic, neural networks, and soft computing", World Scientific Series In Advances In Fuzzy Systems, pp. 775 - 782.