

SISTEMA LÓGICO FUZZY NA AVALIAÇÃO DO CONFORTO AMBIENTAL DE ESPAÇOS EDUCACIONAIS

OSCAR LUIZ T. DE REZENDE

Doutor em Engenharia Agrícola

oscar@ifes.edu.br

LUCIANO LESSA LORENZONI

Doutor em Engenharia Elétrica

llorenzoni@ifes.edu.br

FRANCISCO CARLOS SUANO JUNIOR

Graduando em Engenharia Elétrica

francisco.0101@hotmail.com

MARIA ALICE VEIGA FERREIRA DE SOUZA

Doutora em Educação

mariaalice@ifes.edu.br

RESUMO

O conforto ambiental é uma parceria entre ambiente físico, características do local e da arquitetura da edificação, podendo ser particularizado a cada ser humano. Nesse contexto, o objetivo deste artigo é construir um Sistema Lógico *Fuzzy* para avaliar o conforto ambiental de espaços educacionais. O sistema foi arquitetado com quatro variáveis de entrada, sendo três quantitativas, obtidas por sensores, e uma qualitativa, obtida por meio de um questionário para captar a percepção que cada indivíduo tem do ambiente. A variável de saída foi o índice de conforto ambiental. O Sistema Lógico *Fuzzy* foi testado em uma Escola de Ensino Médio e o resultado comparado com aqueles estabelecidos pela ABNT, tendo como resposta dentro das estabelecidas pelas normas, e com um aspecto relevante que foi a percepção que o indivíduo tem do ambiente.

Palavra-chave: Conforto ambiental. Lógica *Fuzzy*. Ensino. Inteligência artificial.

FUZZY LOGIC SYSTEM IN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF COMFORT IN EDUCATIONAL SPACES

ABSTRACT

The environmental comfort is a partnership between the physical environment, local characteristics and architecture of the building and can be individualized to each human being. In this context the aim of this article was to build a Fuzzy Logic System for evaluate the environmental comfort of educational spaces. The system is architected with four input variables, three quantitative, obtained by sensors, and a qualitative obtained by using a questionnaire to capture the perception each person has of the environment. The output variable was the environmental comfort index. The Fuzzy Logic system was tested in a High School and the results compared with those established by ABNT, with the response within established by the rules, and with a relevant aspect that was the perception that the individual has the environment.

Keyword: Environmental comfort. Logical Fuzzy. Education. Artificial Intelligence.

INTRODUÇÃO

O conforto ambiental nas escolas públicas deve ser uma das preocupações dos gestores, pois um ambiente inadequado pode comprometer o

ensino-aprendizagem e a saúde física e psicológica dos estudantes e professores que habitam esse espaço. No entanto, parece que essa não tem sido uma preocupação dos responsáveis por esses espaços educacionais. Nogueira et

al. (2005) afirma que além de não atender as condições mínimas de conforto, estas escolas comprometem o ensino-aprendizagem, a saúde física e psicológica dos alunos e professores e, também, provocam um aumento excessivo do consumo de energia elétrica para condicionar os ambientes devido a problemas de condensação e ventilação insuficientes.

A função da edificação de uma sala de aula é propiciar aos alunos e professores as condições ambientais necessárias ao desenvolvimento de suas atividades. Mendell e Heath (2005) afirmam que a preocupação com a qualidade ambiental nos edifícios escolares deve ser uma prática, pois o aluno passa mais tempo na escola do que na edificação residencial, o que torna importante a avaliação desses ambientes.

Geralmente as normas para avaliar as condições ambientais de edificações estabelecem intervalos numéricos para que as variáveis analisadas se adequem a uma determinada atividade. Esses intervalos são construídos com limites rígidos, não considerando situações em que os seus valores se encontrem nas vizinhanças desses limites. Assim, ao se acrescentar um pequeno diferencial aos valores dessas variáveis, eles podem mudar de intervalo, sem que represente, na prática, uma mudança no estado de conforto.

Essas normas também são construídas de forma a generalizar os limites do intervalo conforto, como um intervalo de temperatura adequada a um determinado ambiente, sem observar a

percepção individualizada que se tem da temperatura. A sensação que um indivíduo tem de “calor” pode não ser a mesma que a de outro.

Nesse contexto, o nosso objetivo foi construir um Sistema Lógico *Fuzzy*, uma técnica da inteligência artificial, para avaliar o conforto ambiental das salas de aula de espaços educacionais.

2. O SISTEMA LÓGICO FUZZY

Constitui uma técnica da inteligência artificial que incorpora a forma humana de pensar, conhecida como sistemas especialistas inteligentes. É utilizado para resolver problemas em diversas áreas do conhecimento, empregando os conceitos da Lógica *Fuzzy* para modelar processos mediante os conhecimentos subjetivos de especialistas, que são traduzidos por meio de uma base de conhecimento constituída de regras lógicas condicionais.

Weber e Klein (2003) afirmam que muitos sistemas são complexos de se modelar com precisão, até mesmo com equações matemáticas sofisticadas, mas os termos linguísticos da Lógica *Fuzzy* oferecem uma metodologia útil para definir características operacionais desses sistemas.

O Sistema Lógico *Fuzzy* (SLF) está estruturado em quatro componentes básicos: fuzzificador, regras, máquina de inferência e defuzzificador, como mostra o esquema na Figura 1.

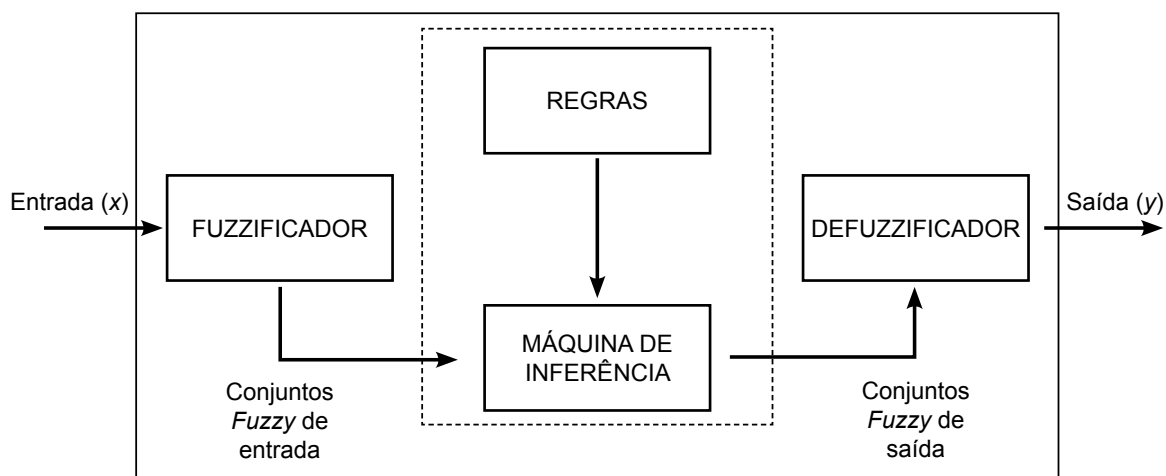


Figura 1 - Esquema do sistema lógico Fuzzy.

Pode ser interpretado como um mapeamento de entrada e saída representado pelo modelo matemático $y = f(x)$, em que o valor de y é obtido pela transformação de x , que é operado pela função $f(x)$, ao percorrer as linhas cheias, como mostra a Figura 1.

A letra x representa as variáveis linguísticas de entrada, $f(x)$ é uma função constituída das operações executadas nos componentes básicos – fuzzificador, regras, máquina de inferência e defuzzificador – e y são as variáveis numéricas de saída, que executam as ações demandadas pelo sistema.

Importante se faz explicar, resumidamente, cada um dos componentes do SLF:

- **Fuzzificador:** as variáveis linguísticas de entrada são associadas aos conjuntos *fuzzy* pertinentes com os respectivos domínios.
- **Regras:** são consideradas o “núcleo” do SLF. Fornecidas por especialistas ou extraídas de dados numéricos são expressas como uma coleção de sentenças lógicas do tipo *Se... Então...* Por exemplo, se a temperatura é alta, então aumente a velocidade do ventilador.
- **Máquina de inferência:** é o componente em que ocorrem as operações com os conjuntos *fuzzy*, as relações e composições *fuzzy*. Há combinação dos antecedentes com os consequentes das regras para gerar o conjunto *fuzzy* de saída.
- **Defuzzificador:** interpreta as informações geradas no conjunto *fuzzy* de saída, dando origem às ações demandadas pelo sistema, e permite representar um conjunto *fuzzy* por um valor numérico.

Dentre os trabalhos pesquisados, que se aproximam do que propomos, destacamos aqueles em ambiência animal. Entendemos que essa aproximação se justifica, pois, todos os organismos vivos se sentem confortáveis ou desconfortáveis em determinados ambientes. A ambientação animal, um tema sobre o qual vários autores pesquisam no Brasil, é uma área de estudo que utiliza a lógica *fuzzy* como ferramenta de auxílio à tomada de decisão. Nesse caso, os SLF são desenvolvidos para avaliar as condições de conforto nos ambientes de produção animal.

Pereira et al. (2008) construíram um suporte à tomada de decisão com base na teoria dos

conjuntos *fuzzy* para estimar o bem-estar de matrizes pesadas em razão da frequência e da duração dos comportamentos expressos pelas aves. Oliveira, Amendola & Nääs (2005) desenvolveram uma ferramenta matemática promissora na análise de sistemas e/ou processos na área de produção animal. Essa ferramenta permitiu a análise da composição das variáveis climáticas independentes, tais como temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar que influenciaram a variável dependente conforto térmico a fim de prever a situação de conforto das aves.

Schiassi et al. (2008), pesquisando sobre o mesmo tema, propuseram um modelo *fuzzy* com o objetivo de prever o aumento da temperatura corporal (ATC) em frangos de corte (2,8±0,1 kg) aos 90 minutos de exposição térmica, sob diferentes condições de estresse térmico agudo. Perissinoto et al. (2009) construíram um algoritmo baseado na lógica *fuzzy* para modelar e avaliar a sensação de conforto térmico de animais confinados considerando as variáveis fisiológicas temperatura retal (TR) e frequência respiratória (FR) e determinando os intervalos críticos dessas variáveis.

Pandorfi et al. (2007) constataram que não se deve mais considerar sistema de produção animal ou cadeia produtiva sem o conceito de bem-estar na produção. Os autores desenvolveram um modelo *fuzzy* que consistiu na avaliação do ambiente de alojamento, estimando as condições favoráveis ao melhor desempenho de matrizes gestantes de suínos. O uso da teoria dos conjuntos *fuzzy* permitiu que se relacionassem os dados resultantes do trabalho experimental com os estabelecidos pela literatura por intermédio de base de regras, para determinar o conforto ambiental das matrizes na fase de gestação.

O SLF para avaliar o conforto ambiental que propomos não se restringe às análises das condições térmicas e de ruídos nas salas de aula, mas também a percepção de conforto dos alunos e professores do ambiente em que estão inseridos. Segundo Ochoa, Araújo e Sattler (2012), a análise do conforto ambiental por meio apenas da percepção do usuário apresenta limitações por ser uma avaliação basicamente qualitativa. Entretanto, ela é de fundamental importância para validar as análises quantitativas obtidas de medições técnicas.

3. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA LÓGICO FUZZY

Para construir o SLF (Figura 2) foram utilizadas três variáveis quantitativas (obtidas por meio de sensores) e uma qualitativa (obtidas por meio de questionário). O SLF foi implementado utilizando o *software InFuzzy*¹.

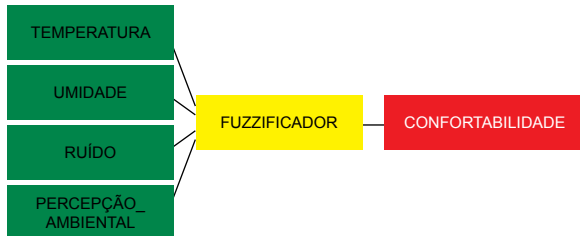


Figura 2: Sistema Lógico Fuzzy.

As variáveis de entrada foram fuzzificadas como a seguir:

3.1 TEMPERATURA

O domínio da variável temperatura foi definido no intervalo de 10°C à 50°C e particionada em três conjuntos *fuzzy*: Baixo, Bom e Alto, conforme Figura 3.

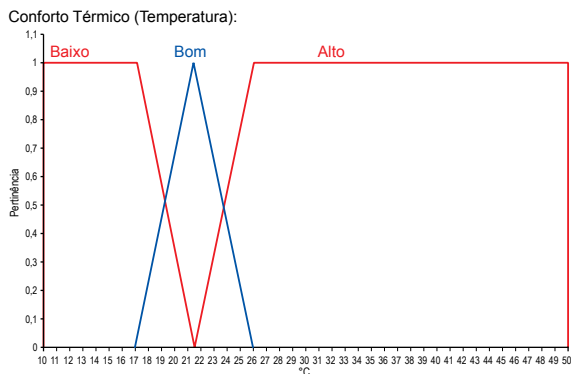


Figura 3. Variável de entrada-Temperatura.

3.2 UMIDADE

O domínio da variável foi definido no intervalo de 0% à 100% e particionada nos conjuntos *fuzzy* Baixa, Boa e Alta, de acordo com a Figura 4.

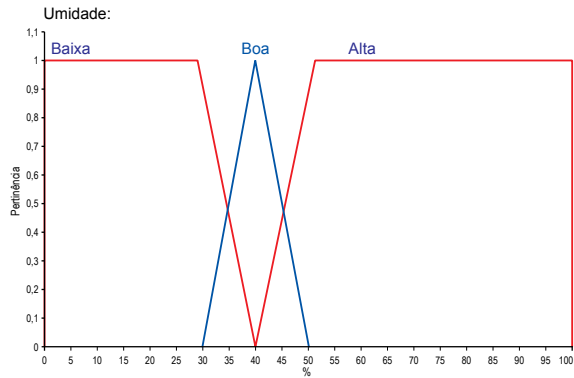


Figura 4. Variável de entrada-Umidade.

Para determinar os intervalos (domínio) dos conjuntos *fuzzy* *Boa* das variáveis temperatura e umidade foram utilizados os parâmetros da Norma Regulamentadora 17 (NR-17), que afirma ser a faixa de temperatura e umidade relativa ideais para salas de aula, sem ar condicionado, de 20°C - 23°C, e 40%. Os outros domínios (Baixo e Alto) forma determinados a partir da definição dos conjuntos *Boa* das respectivas variáveis.

3.3 RUÍDO

O domínio da variável foi definido no intervalo de 0 decibéis a 150 decibéis e particionada nos conjuntos *fuzzy* Baixo, Bom e Alto (Figura 5).

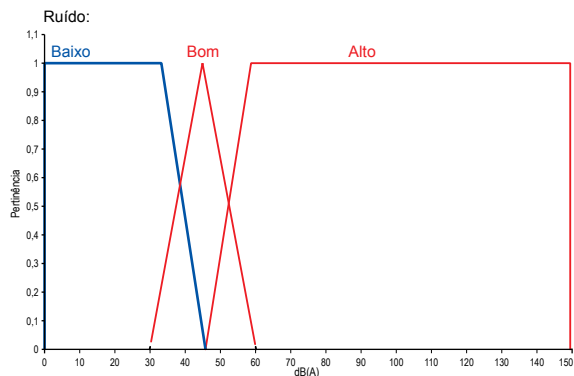


Figura 5 - Variável de entrada-Ruído.

O domínio do conjunto *fuzzy* ruído Bom foi determinado segundo as normas da ABNT NBR 10152, em que a faixa de ruído ideal para uma sala vazia é de 40dB-50dB. Os outros domínios (Baixo e Alto) forma determinados a partir da definição do conjunto Bom da respectiva variável.

3.4 PERCEPÇÃO AMBIENTAL

A variável percepção ambiental, por ser uma variável qualitativa, teve seu domínio construído a partir de um questionário com dez questões. A Figura 6 apresenta o questionário aplicado aos alunos.

¹ *Software* livre desenvolvido por Ederson Luis Posselt no Programa de Pós-Graduação em Processos e Sistema Industriais-Mestrado, da UNISC de Santa Cruz do Sul- RS. Disponível em <http://www.unisc.br/portal/pt/cursos/mestrado/mestrado-em-sistemas-e-processos-industriais/software-para-download/infuzzy.html>.

QUESTIONÁRIO SOBRE CONFORTO AMBIENTAL NAS SALAS DE AULA

Caro aluno esse questionário faz parte de uma pesquisa para avaliar o conforto das salas de aula da sua escola. Pedimos que você responda com a máxima sinceridade.

- Como você avalia o conforto Térmico (a temperatura) na sua sala?
 Muito ruim
 Ruim
 Mais ou menos
 Bom
 Muito bom
- Como é a circulação do ar na sala de aula?
 Muito ruim
 Ruim
 Mais ou menos
 Bom
 Muito bom
- Em relação ao conforto das carteiras da sala de aula você acha que são:
 Muito ruim
 Ruim
 Mais ou menos
 Bom
 Muito bom
- Como você avalia as condições de higiene de sua sala de aula?
 Muito ruim
 Ruim
 Mais ou menos
 Bom
 Muito bom
- Como você avalia quantidade de alunos na sua sala de aula?
 Muito ruim
 Ruim
 Mais ou menos
 Bom
 Muito bom
- Como você avalia o quadro da sua sala de aula?
 Muito ruim
 Ruim
 Mais ou menos
 Bom
 Muito bom
- Quando você está assistindo aula o barulho externo (lado de fora) da sua sala é:
 Muito Alto
 Alto
 Mais ou menos
 Baixo
 Muito Baixo
- Quando você está assistindo aula, o barulho interno (dentro) da sua sala é:
 Muito Alto
 Alto
 Mais ou menos
 Baixo
 Muito Baixo
- Quanto à iluminação natural (luz do sol) de sua sala de aula, você a avalia como:
 Muito ruim
 Ruim
 Mais ou menos
 Bom
 Muito bom
- Quanto à iluminação artificial (com a luz acesa) de sua sala de aula, você a avalia como:
 Muito ruim
 Ruim
 Mais ou menos
 Bom
 Muito bom

Figura 6 - Questionário para avaliar a percepção ambiental.

Cada questão foi construída com cinco alternativas, e abordavam aspectos ergométricos, ruído e sensação térmica. As alternativas foram: Muito Ruim, Ruim, Mais ou menos, Bom e Muito Bom. Pontuadas respectivamente com 1, 2, 3, 4 e 5 pontos. Sendo assim, um aluno que percebesse o ambiente respondendo Muito Ruim em todas as 10 questões totalizaria uma pontuação 10, e respondendo Muito Bom em todas alternativas totalizaria uma pontuação 50, definindo o domínio da variável no intervalo.

A variável foi particionada em três conjuntos *fuzzy* Ruim, Regular e Ótimo conforme a Figura 7.

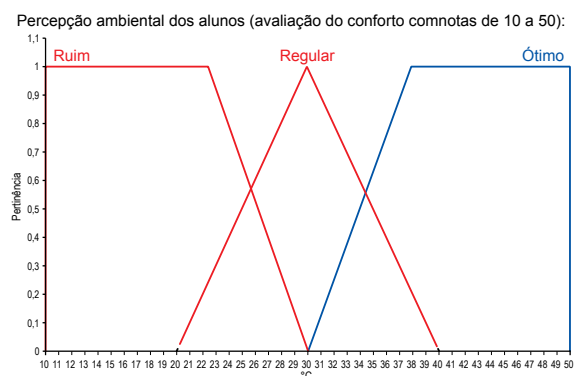


Figura 7- Variável de entrada-Percepção ambiental

Os domínios dos conjuntos *fuzzy* Ruim, Regular e Ótimo, tiveram seus limites inferior e superior calculados dividindo o domínio da variável em quartis.

3.5 CONFORTABILIDADE

A variável confortabilidade, que representa o índice de conforto térmico, teve o seu domínio definido no intervalo e particionada em três conjuntos *fuzzy*: Bom, Regular e Ótimo, de acordo com a Figura 8.

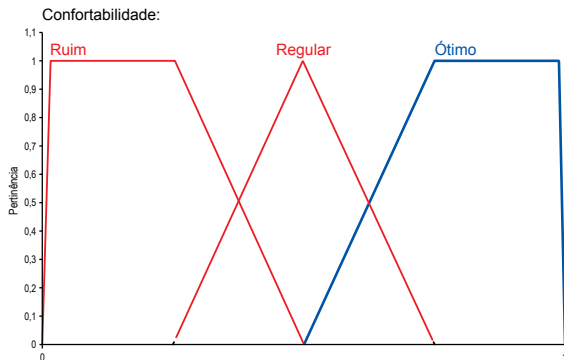


Figura 8 - Variável de saída-Confortabilidade.

Os domínios dos conjuntos *fuzzy* Ruim, Regular e Ótimo, tiveram seus limites inferior e superior calculados dividindo o domínio da variável em quartis.

3.6 CONJUNTO DE REGRAS

O conjunto de regras foi construído combinando os conjuntos *fuzzy* das variáveis de entrada totalizando 124 regras. Na construção do conjunto de regras todas as variáveis de entrada tiveram o mesmo peso, ou seja, nenhum dos conjuntos *fuzzy* teve predominância sobre os outros na inferência do conforto, por exemplo: Se temperatura é Baixa e umidade é Baixa e Ruído é Alto e Percepção ambiental é Ruim então o Conforto é Ruim (Figura 9).

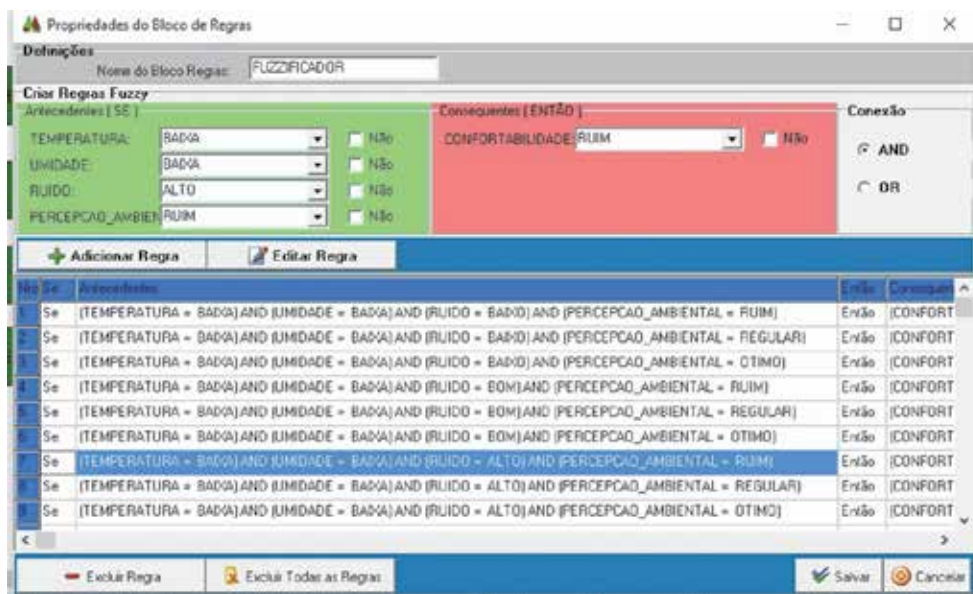


Figura 9 - Conjunto de regras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para testar o SLF os dados foram coletados numa Escola Estadual de Ensino Médio em Vitória, no Espírito Santo. Ressalta-se que é uma construção antiga e que não pode sofrer modificações arquitetônicas.

Para as medições de temperatura e umidade relativa foi utilizado um termo higrômetro e para medir o ruído foi utilizado um decibelímetro (Figura 10).



Figura 10 - Equipamentos utilizados na medição da temperatura, umidade relativa e ruído.

Os dados de temperatura, umidade e ruído foram coletados em três salas, em um tempo normal de aula. Foram feitas três medidas em pontos distintos da sala e considerou-se o valor médio.

Os resultados obtidos foram os seguintes: temperatura entre 27,18°C - 27,96°C, umidade 63% e ruído 65,25dB. Se comparadas com as regras NR17, a temperatura e a umidade são consideradas altas, pois o ideal seria uma temperatura entre 20°C - 23°C e umidade de 40%.

A norma NBR 10152 estabelece que o ruído ideal deve ficar 50dB-60dB. O valor médio do ruído

foi de 65,25dB, que pode ser considerado alto se comparado ao intervalo padrão. Nessas condições, o ambiente pode ser considerado como inadequado segundo as normas da ABNT.

Para testar o SLF foram considerados como valores das variáveis temperatura, umidade e ruído aqueles obtidos na medição. Para determinar o valor da variável percepção ambiental foi aplicado o questionário (Figura 6) a 62 alunos e calculado a pontuação média que foi de 31,19.

Esses valores foram inseridos no SLF, obtendo um índice de conforto de 0,26, como observado na Figura 11.

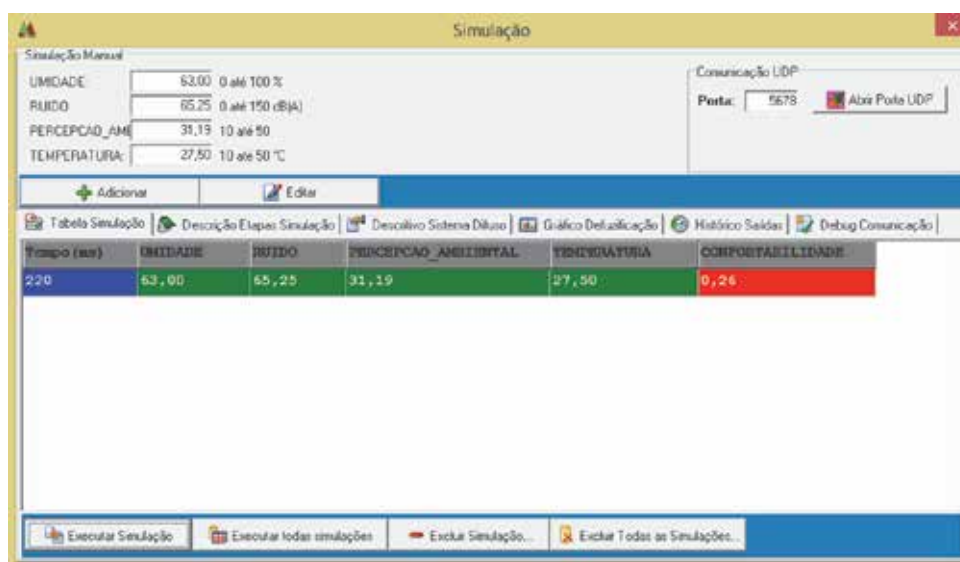


Figura 11 - Cálculo do índice de conforto ambiental no InFuzzy.

Esse valor numérico indica um índice baixo de conforto, numa escala de 0 a 1, mostrando um resultado semelhante àqueles estabelecidos pelas normas da ABNT.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conforto ambiental é uma parceria entre ambiente físico, características do local e da arquitetura da edificação. Como ressaltamos as condições de conforto podem ser particularizadas a cada ser humano, pois cada um pode perceber, reagir e responder diferentemente a um mesmo estímulo externo, tais como: sensações de calor ou frio, silêncio ou barulho, ar puro ou poluído e claridade ou escuridão.

Sabe-se ainda que o conforto ambiental afeta diretamente a sensação de satisfação, a qualidade

de vida, a produtividade do trabalhador e o desempenho e rendimento do aluno. Especificamente, o ambiente escolar deve proporcionar condições tais como iluminação e temperatura adequadas, boa acústica, cores agradáveis e segurança, que permitam uma boa interação entre professores e alunos e garantam o desenvolvimento de um processo de aprendizagem eficiente e de qualidade.

O SLF desenvolvido mostra ser uma ferramenta promissora na análise do conforto ambiental de espaços educacionais, pois utiliza na sua inferência, além de critérios objetivos como temperatura, ruído e umidade, uma variável qualitativa (subjetiva) que capta a percepção de conforto que cada indivíduo tem do ambiente em que está inserido. Além disso, o sistema permite facilmente uma adaptação a outros espaços, a partir da alteração dos domínios das variáveis e do conjunto de regras conforme as exigências desses ambientes.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas- Níveis de ruído para conforto acústico NBR 10152 Disponível em <<http://prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/esportes/norma%20abnt%2010152.pdf>>. Acesso 02 fev. 2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 17- ERGONOMIA**. Disponível em <http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEFBAD7064803/nr_17.pdf>. Acesso 02 fev. 2016.

MENDELL, M. J.; HEATH, G. A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? a critical review of the literature. **Indoor Air**, v. 15, p. 27-52, 2005.

NOGUEIRA, Marta Cristina De Jesus Albuquerque et al. Conforto térmico na Escola Pública em Cuiabá-MT: estudo de caso. **Revista Eletrônica do Mestrado em Engenharia Ambiental**, Rio Grande-RS, v. 14, n. , p.37-49, 01 jan. 2005. Disponível em: <<http://www.remea.furg.br/edicoes/vol14/art04.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2012.

OCHOA, Juliana Herlemann; ARAÚJO, Daniel Lima; SATTLE, Miguel Aloysio. Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p.91-114, 01 jan. 2012.

OLIVEIRA, H.L.; AMENDOLA, M.; NÄÄS, I.A. Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 300-307, 2005.

PANDORFI, H. et al. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestante. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 83-92, 2007.

PEREIRA, D. F. et al. Sistema de controle fuzzy para a estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Engenharia na Agricultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 624-634, 2008.

PERISSINOTTO, M. et al. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1492-1498, 2009.

SCHIASSI, L. et al. Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 180-191, 2008.

WEBER, L.; KLEIN, P.A.T. **Aplicação da lógica fuzzy em software e hardware**. Canoas: ULBRA, 2003.