

---

# II Congresso Brasileiro de Sistemas “Fuzzy”

## *Livro de Resumos*

---

***Editores:***

Benjamín Bedregal  
João Marcos  
Laécio C. de Barros

José A. F. Roveda  
Regivan H. N. Santiago  
Wladimir Seixas

Natal-RN, Novembro de 2012

---



Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.

## Prefácio

Este livro contém alguns dos recentes avanços na área de Sistemas Difusos. “Sistemas ‘Fuzzy’ ” é uma terminologia cunhada nesta obra com o objetivo de designar Sistemas Computacionais ou Sistemas Teóricos baseados na Teoria dos Conjuntos Difusos de Zadeh.

Desde o seu surgimento nos anos 60 o crescimento desta área tem sido considerável. Ela alargou sua influência desde a área de Sistemas de Controle até campos que inicialmente não se imaginava; como é o caso de áreas da matemática, sistemas de apoio a decisão, inteligência artificial e outros.

Essa obra visa apresentar parte desta influência. Ela é um texto bilingue, algumas contribuições encontram-se em português e outras em língua inglesa. Todas essas contribuições passaram pela análise de um comitê que atestou a relevância das mesmas. Além disso, elas foram apresentadas e debatidas durante o Segundo Congresso Brasileiro de Sistemas Fuzzy (II CBSF) realizado em Novembro, na cidade do Natal (Rio Grande do Norte - Brasil).

Novembro 2012

Regivan Hugo N. Santiago  
Coordenador do II CBSF



Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.

# Organização

As contribuições aqui constantes foram apresentadas e debatidas no II CBSF. Ele foi organizado pelo Grupo de Pesquisa: Lógica, Linguagem, Informação, Teoria e Aplicações (LoLITA) e foi realizado graças às seguintes instituições e pessoas:

## Instituições Apoiadoras

North American Fuzzy Information Processing Society  
European Society for Fuzzy Logic and Technology  
International Fuzzy Systems Association  
Sociedade Brasileira de Automática  
Sociedade Brasileira de Computação  
Sociedade Brasileira de Inteligência Computacional  
Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional

## Comitê Executivo

|                                 |                  |
|---------------------------------|------------------|
| Regivan H. N. Santiago (UFRN)   | Coordenador      |
| Benjamín Bedregal (UFRN)        | Vice-coordenador |
| Fernando A. C. Gomide (UNICAMP) |                  |
| Laecio C. de Barros (UNICAMP)   |                  |

## Comitê de Avaliação

|                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| Coordenadores: | Wladimir Seixas (UFSCar)    |
|                | José Arnaldo Roveda (Unesp) |

## Avaliadores

|                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Adilson Brandão — UFSCar    | Fernando Gomide — Unicamp            |
| Adrião D. D. Neto — UFRN    | Francisco De A. Carvalho — UFPE      |
| Ahmed Esmin — UFLA          | Francisco J. Fernandes — UPNA        |
| André P. Lemos — UFMG       | Graçaliz Dimuro — FURG               |
| Anne M. Canuto — UFRN       | Guilherme Barreto — UFC              |
| Aurora Pozo — UFPR          | Heloisa Camargo — UFSCar             |
| Benjamín Bedregal — UFRN    | Heriberto R.-Flores — U. de Tarapacá |
| David C. Martins Jr — UFABC |                                      |



Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.

Humberto Bustince — UPNA  
Joao Marcos — UFRN  
João F. L. Alcântara — UFC  
José A. R. — Unesp  
Júlio Pereira — USP  
Laecio Barros — Unicamp  
Magda S. Peixoto — UFSCar  
Marcelo E. Coniglio — Unicamp  
Marcos E. Valle — UEL  
Maria J. Castanho — UNICENTRO  
Marilton Aguiar — UFPel  
Marina Mizukoshi — UFG  
Mario Benevides — UFRJ  
Márjory Abreu — UFRN  
Marley Vellasco — PUC-Rio  
Michal Baczynski — Univ. of Silesia  
Myriam Delgado — CEFET-PR  
Neli R. Ortega — USP  
Paulo E. Almeida — CEFET-MG

Pedro Tonelli — USP  
Peter Sussner — Unicamp  
Regivan Santiago — UFRN  
Renata Reiser — UFPel  
Ricardo Tanscheit — PUC-Rio  
Ricardo Coelho Silva — UNIFESP  
Rodney C. Bassanezi — UFABC  
Ronei Moraes — UFPB  
Rosana Jafelice — UFU  
Roseli Romero — USP  
Sandra Sandri — INPE  
Sandra Masalskiene — Unesp  
Simone André Costa — UFPel  
Tsang Ing Ren — UFPE  
Vilem Novak — University of Ostrava  
Viviane D. Mattos — UFRRJ  
Weldon Lodwick — Univ. of Colorado  
Wladimir Seixas — UFSCar  
Yurilev C.-Cano — U. de Tarapacá

### **Avaliadores Ad-hoc**

Alexandre S. Simões — UNESP  
Andre G. Pereira — UFRN  
Antônio C. Martins — UNESP  
Carlos S. dos Santos — UFABC  
Flaulles Bergamaschi — UESB  
Henrique Lazari — UNESP  
Jean Piton — UFSCar  
Juan G. Lazo — PUC-Rio  
Luciana Foss — UFPel  
Marcus E. Cintra — USP

Martin Figallo — U. Nacional del Sur  
Maurício Figueredo — UFSCar  
Renata Z. de Oliveira — UNESP  
Ricardo M. Araújo — UFPel  
Rogério Vargas — UESC  
Ronildo Moura — UFRN  
Silvia M. Nassar — UFSC  
Tiago B. de Carvalho — UFPE  
Viviane L. de Mattos — FURG



Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.

## **Instituições Financiadoras**

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES  
Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte — FAPERN  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte — UFRN  
Cooperativa Cultural Universitária  
Governo do Estado do Rio Grande do Norte

## **Organização Local**

Adrião Duarte Dória Neto (UFRN)  
Benjamín Bedregal (UFRN)  
João Marcos (UFRN)  
Regivan H. N. Santiago - (UFRN)



Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.



---

# II Congresso Brasileiro de Sistemas “Fuzzy”

## *Book of Abstracts*

---

***Editors:***

Benjamín Bedregal  
João Marcos  
Laécio C. de Barros

José A. F. Roveda  
Regivan H. N. Santiago  
Wladimir Seixas

Natal-RN, November 2012

---

*SBMAC*

Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.

## Foreword

This book contains some recent trends in the Fuzzy Systems field. Fuzzy Systems is terminology coined in this book to designate both Computational and Theoretic Systems inspired on Zadeh's Fuzzy Set Theory.

Since its creation in the 60's the field of fuzzy systems enjoyed a considerably growth. It expanded its influence from the field of Control Systems to unimaginable other fields, like: mathematics, artificial intelligence, etc.

This book aims to present such influence. It is a bilingual text. Some contributions are in Portuguese and some in English. All of them were submitted to an evaluation committee. After such evaluation, they were presented and discussed during the Second Congress of Fuzzy Systems (II CBSF), which was held in Natal-RN-Brazil in 06th-09th November 2012.

November 2012

Regivan Hugo N. Santiago  
Chair of II CBSF



Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.

# Organization

The contributions were submitted to the II CBSF, which was organized by the Group for Logic, Language, Information, Theory and Applications (LoLITA) and was realized thanks to the following people and institutions:

## Support

North American Fuzzy Information Processing Society  
European Society for Fuzzy Logic and Technology  
International Fuzzy Systems Association  
Sociedade Brasileira de Automática  
Sociedade Brasileira de Computação  
Sociedade Brasileira de Inteligência Computacional  
Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional

## Steering Committee

|                                 |                  |
|---------------------------------|------------------|
| Regivan H. N. Santiago (UFRN)   | Coordenador      |
| Benjamín Bedregal (UFRN)        | Vice-coordenador |
| Fernando A. C. Gomide (UNICAMP) |                  |
| Laecio C. de Barros (UNICAMP)   |                  |

## Program Committee

|         |                             |
|---------|-----------------------------|
| Chairs: | Wladimir Seixas (UFSCar)    |
|         | José Arnaldo Roveda (Unesp) |

## Referees

|                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Adilson Brandão — UFSCar    | Fernando Gomide — Unicamp            |
| Adrião D. D. Neto — UFRN    | Francisco De A. Carvalho — UFPE      |
| Ahmed Esmín — UFLA          | Francisco J. Fernandes — UPNA        |
| André P. Lemos — UFMG       | Graçaliz Dimuro — FURG               |
| Anne M. Canuto — UFRN       | Guilherme Barreto — UFC              |
| Aurora Pozo — UFPR          | Heloisa Camargo — UFSCar             |
| Benjamín Bedregal — UFRN    | Heriberto R.-Flores — U. de Tarapacá |
| David C. Martins Jr — UFABC |                                      |



Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.

Humberto Bustince — UPNA  
Joao Marcos — UFRN  
João F. L. Alcântara — UFC  
José A. R. — Unesp  
Júlio Pereira — USP  
Laecio Barros — Unicamp  
Magda S. Peixoto — UFSCar  
Marcelo E. Coniglio — Unicamp  
Marcos E. Valle — UEL  
Maria J. Castanho — UNICENTRO  
Marilton Aguiar — UFPel  
Marina Mizukoshi — UFG  
Mario Benevides — UFRJ  
Márjory Abreu — UFRN  
Marley Vellasco — PUC-Rio  
Michal Baczynski — Univ. of Silesia  
Myriam Delgado — CEFET-PR  
Neli R. Ortega — USP  
Paulo E. Almeida — CEFET-MG

Pedro Tonelli — USP  
Peter Sussner — Unicamp  
Regivan Santiago — UFRN  
Renata Reiser — UFPel  
Ricardo Tanscheit — PUC-Rio  
Ricardo Coelho Silva — UNIFESP  
Rodney C. Bassanezi — UFABC  
Ronei Moraes — UFPB  
Rosana Jafelice — UFU  
Roseli Romero — USP  
Sandra Sandri — INPE  
Sandra Masalskiene — Unesp  
Simone André Costa — UFPel  
Tsang Ing Ren — UFPE  
Vilem Novak — University of Ostrava  
Viviane D. Mattos — UFRRJ  
Weldon Lodwick — Univ. of Colorado  
Wladimir Seixas — UFSCar  
Yurilev C.-Cano — U. de Tarapacá

### Ad-hoc Referees

Alexandre S. Simões — UNESP  
Andre G. Pereira — UFRN  
Antônio C. Martins — UNESP  
Carlos S. dos Santos — UFABC  
Flaulles Bergamaschi — UESB  
Henrique Lazari — UNESP  
Jean Piton — UFSCar  
Juan G. Lazo — PUC-Rio  
Luciana Foss — UFPel  
Marcus E. Cintra — USP

Martin Figallo — U. Nacional del Sur  
Maurício Figueredo — UFSCar  
Renata Z. de Oliveira — UNESP  
Ricardo M. Araújo — UFPel  
Rogério Vargas — UESC  
Ronildo Moura — UFRN  
Silvia M. Nassar — UFSC  
Tiago B. de Carvalho — UFPE  
Viviane L. de Mattos — FURG



Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.

## **Financial Support**

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES  
Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte — FAPERN  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte — UFRN  
Cooperativa Cultural Universitária  
Governo do Estado do Rio Grande do Norte

## **Local Organization**

Adrião Duarte Dória Neto (UFRN)  
Benjamín Bedregal (UFRN)  
João Marcos (UFRN)  
Regivan H. N. Santiago - (UFRN)



Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.

## Table of Contents

|  |    |
|--|----|
| Controle de Velocidade em Veículo Elétrico Utilizado Lógica Fuzzy . . . . .  | 1  |
| <i>Allan Araújo, Eridenes Queiroz, Ítalo Assis, Renan Silva and Marcelo Fernandes</i>  |    |
| Lógica Fuzzy para Sistemas de Controle . . . . .   | 4  |
| <i>Elton B. Costa Brasil and Elmar U. K. Melcher Uwe</i>   |    |
| Um estudo sobre a dinâmica de peixes da bacia amazônica: Modelos clássicos e alternativos . . . . .                                  | 8  |
| <i>Elisiane Brasil Custódio and Rodney Carlos Bassanezi</i>  |    |
| Planejamento de Rotas de Robôs Móveis em Ambientes Dinâmicos: Uma Abordagem Utilizando Algoritmos Genéticos e Lógica Fuzzy . . . . . | 10 |
| <i>Tauã Cabreira, Graçaliz Dimuro and Marilton Sanchotene de Aguiar</i>  |    |
| PROPOSTA DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA AUXÍLIO AO DIAGNÓSTICO DA TOXOCARIÁSE VISCERAL: RESULTADOS PRELIMINARES . . . . .           | 12 |
| <i>Alex Cassenote and Neli Ortega</i>  |    |
| JFuzZ: Uma Ferramenta para Desenvolvimento de Aplicações Fuzzy Industriais . . . . .   | 16 |
| <i>Bruno Costa, Clauber Bezerra and Luiz Affonso Guedes</i>  |    |
| Comparação de Métodos de Avaliação de Treinamento baseados em Naive Bayes e Fuzzy Naive Bayes . . . . .                              | 18 |
| <i>Jose Taunai Dantas Segundo and Ronei Marcos de Moraes</i>   |    |
| Reestruturação do Índice Fuzzy de Qualidade Ambiental . . . . .  | 20 |
| <i>Ana Carolina Do Amaral Burghi, José Arnaldo Roveda and Sandra Roveda</i>  |    |
| Controle Ótimo com Incerteza Intervalar . . . . .  | 23 |
| <i>Ulcilea Leal, Geraldo Silva and Weldon Lodwick</i>  |    |
| Estratégia de controle Fuzzy aplicada a um protótipo didático de pêndulo simples . . . . .   | 31 |
| <i>Fabio Lima, Regina Nunes and Raphael Sousa</i>  |    |
| IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLE DE NÍVEL COM LÓGICA FUZZY APLICADA AO ARDUÍNO . . . . .  | 33 |
| <i>Fabio Lima, Jaime Pereira and José Oliveira</i>   |    |
| Uma abordagem fuzzy para tomada de decisão do mercado financeiro . . . . .   | 35 |
| <i>Daniel Medeiros Da Silva and Magda Da Silva Peixoto</i>   |    |
| Evaluating risk and cooperation in the Prisoner's Dilemma . . . . .  | 46 |
| <i>Sanderson Molick</i>  |    |

|   |    |
|---|----|
| SISTEMAS AMBIENTAIS POR UMA ABORDAGEM NEURO-FUZZY .....   | 48 |
| <i>Sandra Regina Monteiro Masalskiene Roveda, José Arnaldo Frutuoso Roveda and Pietro Luis Verdile</i>  |    |
| Arranjos de coordenação em cadeias produtivas agroindustriais: contribuições analíticas com base na lógica fuzzy .....                                | 50 |
| <i>Sibele Vasconcelos De Oliveira and Paulo Dabdab Waquil</i>   |    |
| Fuzzy Cognitive Maps applied in Urinary Incontinence Diagnosis .....  | 52 |
| <i>Neli R S Ortega, Maria Helena Bm Lopes, Paulo S P Silveira, Rosângela Higa, Heimar F Marin and Eduardo Massad</i>                                  |    |
| Análise do risco de dengue em um modelo do tipo Takagi-Sugeno .....   | 55 |
| <i>Graciele Paraguaia Silveira and Laécio Carvalho de Barros</i>  |    |
| Logística de distribuição física de leite A: um estudo de caso utilizando lógica Fuzzy .....  | 57 |
| <i>Magda Peixoto, Matheus Freitas and José Vidal</i>  |    |
| Autômato Celular na Propagação do HIV em uma População de Homossexuais com Parâmetro Fuzzy .....  | 75 |
| <i>Bruno Luiz Pereira and Rosana Motta Jafelice</i>   |    |
| Controle ótimo de sistemas p-fuzzy com crescimento inibido .....  | 77 |
| <i>Chryslaine M. Pereira and Rodney Bassanezi</i>   |    |
| Índice de Qualidade do Ar utilizando Lógica Fuzzy .....   | 79 |
| <i>Amanda Ribeiro, José Arnaldo Roveda and Sandra Roveda</i>  |    |
| Logica Fuzzy Aplicada ao Processo de Decisão Sobre Áreas de Pesquisa em Trabalhos de Conclusão de Curso .....   | 82 |
| <i>Jessica Da Silva Santos and Alcides Xaviver Benicasa</i>   |    |
| IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA APOIO AO DIAGNÓSTICO DE TOXOCARIÁSE VISCERAL UTILIZANDO LÓGICA FUZZY EM LINGUAGEM PHP ..... | 88 |
| <i>Maureen Santos, Alex Cassenote and Cristina Oliveira</i>   |    |
| Modelagem Matemática do Crescimento Populacional da Cidade de Rio Branco - AC: Fuzzy x Determinístico .....   | 91 |
| <i>Isaac Silva, Antonio Pontes Júnior, Marcelo Silva and Laécio Barros</i>  |    |
| SISTEMA ESPECIALISTA BASEADO EM REGRAS FUZZY PARA DEFINIÇÃO DE TROPISMO DO VÍRUS HIV .....  | 94 |
| <i>Harki Tanaka, Alex Cassenote and Neli Ortega</i>   |    |

|   |    |
|---|----|
| A Continuidade de Sistemas Fuzzy SE-ENTÃO no Sentido de Perfilieva<br>- Lehmké no Contexto de Reticulados Completos. .... | 96 |
| <i>Eduardo Tavares and Marcos Valle</i>   |    |

# Controle de Velocidade em Veículo Elétrico Utilizado Lógica Fuzzy

Ítalo Assis, Renan Silva, Allan Araújo, and Eridenes Queiroz e Marcelo  
Fernandes

Departamento de Engenharia de Computação e Automação - DCA  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
59078-970, Natal, RN, Brasil  
italo@italoaugusto.com, renanos\_71@hotmail.com, deyvson7@gmail.com  
eridenes@hotmail.com, mfernandes@dca.ufrn.br

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar um sistema de controle de velocidade para Veículos Elétricos Autônomos (*Autonomous Electric Vehicle* - AEV) com base em lógica fuzzy. O sistema de controle projetado utiliza três conjuntos de regras que atuam de forma paralela para três estados de cinética do veículo descritas como partida, movimento e parada. Com esta divisão, pode-se obter um maior grau de precisão associada ao controle de velocidade do AEV e com isto obter respostas mais suaves na partida e na parada. Cada conjunto de regras é selecionada por um sistema de gerenciamento, chamado SG, a partir de três parâmetros de referência, são eles, o  $tp_{ref}$  que determina o tempo no estado de partida, o  $w_{ref}(t)$  que determina a velocidade do AEV no estado funcionamento e finalmente o  $d_{ref}(t)$  que fixa a distância, até o destino final, para iniciar o processo de parada. A Figura 1 ilustra, em detalhes, o diagrama de blocos do sistema de controle que atua na tensão,  $v(t)$ , de um motor DC que por sua vez traciona o carro através de um torque,  $\tau(t)$ . A partir das variáveis  $e_w(t)$  (obtida através da velocidade atual,  $w(t)$  e  $w_{ref}(t)$ ),  $e_d(t)$  (obtida através da distância percorrida atual,  $d(t)$ , e  $d_{ref}(t)$ ) o SG decide qual conjunto de regras deve ser utilizado. Com objetivo de validar a proposta foram feitas simulações utilizando modelo de um veículo longitudinal, detalhado em [1], acoplado a um motor DC detalhado em [2]. Os parâmetros utilizados no modelo do AEV foram: massa de 1500Kg, densidade do ar de 1,18, coeficiente de atrito aerodinâmico de 0,51, área da seção frontal do AEV de 2,4 m<sup>2</sup> e rodas com raio de 0,26 metros. As Figuras 2(a), 2(b) e 2(c) apresentam resultados da simulação nos estados de partida, movimento e parada respectivamente, para um  $tp_{ref}$  de 5 segundos, um  $w_{ref}(t)$  de 50 km/h e um  $d_{ref}(t)$  de 5 metros. Para o estado movimento, ilustrado na Figura 2(b), a simulação utilizou com percurso longitudinal com vários ângulos subida e decida. Os resultados mostram que o sistema de controle proposto atende aos parâmetros de referência configurados, sendo bastante promissor para aplicações em AEV. As Figuras 3(a) a 3(h) apresentam as funções de pertinência das variáveis de entrada e saída dos conjuntos de regras associados aos estados de partida, movimento e parada, respectivamente. As relações entre

entradas e saída resultante da base de regra de cada estado estão apresentadas nas Figuras 3(i), 3(j) e 3(k).

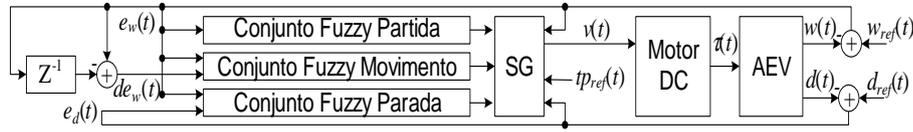


Figura 1. Estrutura do sistema de controle.

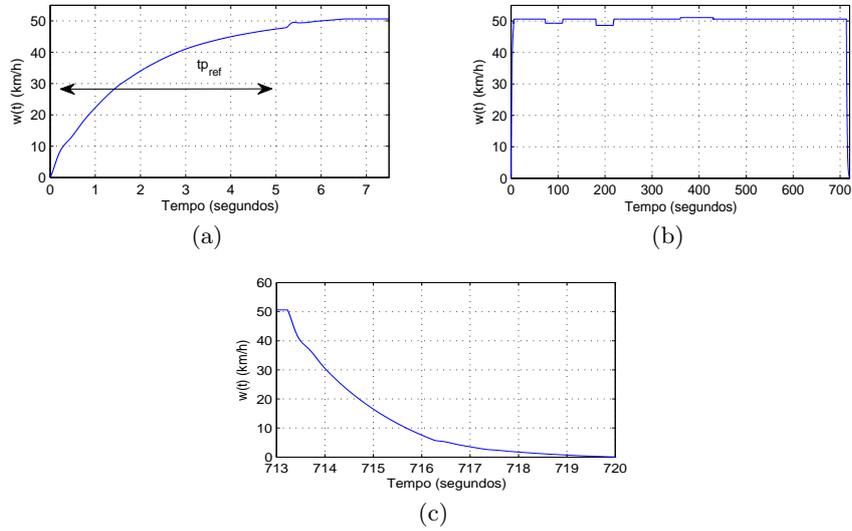
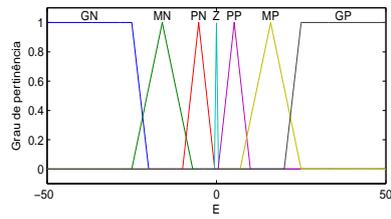


Figura 2. 2(a) Resultado obtido por simulação para a estado de partida. 2(b) Resultado obtido por simulação para o estado de movimento. 2(c) Resultado obtido por simulação para o estado de parada

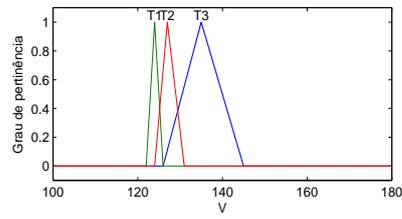
**Palavras-chave:** Veículo Elétrico, Lógica Fuzzy, Veículo Elétrico Autônomo.

## Referências

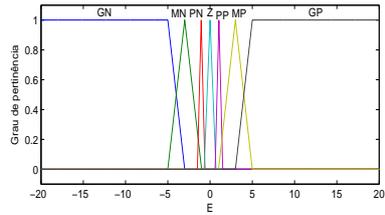
1. Pacejka, H. B., Tire and Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers and Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.
2. Ogata, K., Modern Control Engineering, Prentice Hall PTR, 4th, 2001.



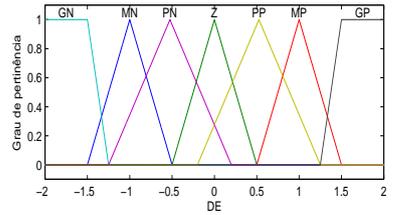
(a) Variável de entrada



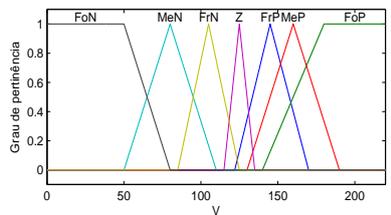
(b) Variável de saída



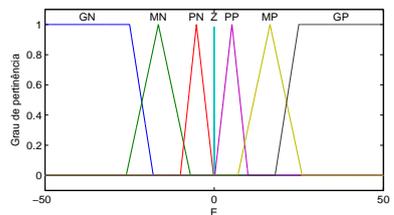
(c) Variável de entrada



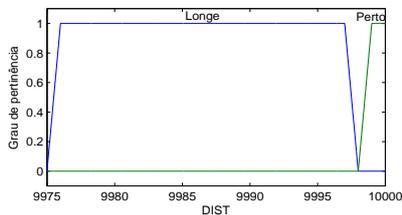
(d) Variável de entrada



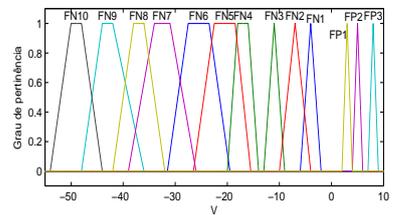
(e) Variável de saída.



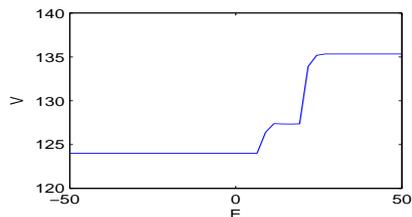
(f) Variável de entrada.



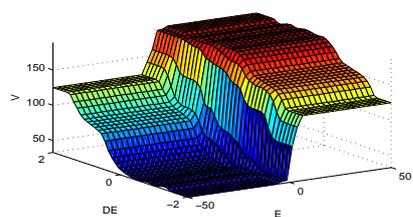
(g) Variável de entrada.



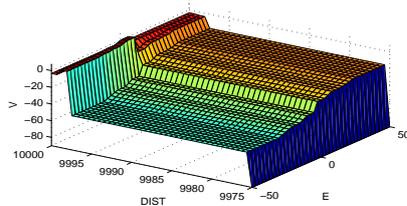
(h) Variável de saída.



(i) Estado partida.



(j) Estado funcionamento.



(k) Estado parada.

**Figura 3.** 3(a) e 3(b) representam as variáveis do estado de partida. 3(c), 3(d) e 3(e) representam as variáveis do estado de movimento. 3(f), 3(g) e 3(h) representam as variáveis do estado de parada. 3(i), 3(j) e 3(k) apresentam as relações entre entradas e saída resultante da base de regras para cada etapa de funcionamento do veículo.

# Lógica Fuzzy para Sistemas de Controle

Elton Brasil da Costa <sup>1,2</sup>, Dr. Elmar Uwe Kurt Melcher <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, <sup>2</sup> Laboratório de Arquiteturas Dedicadas – LAD  
Rua Aprígio Veloso, 882, Campina Grande-PB, 58429-900  
{elton, elmar}@lad.dsc.ufcg.edu.br

**Abstract.** Fuzzy Logic or Fuzzy Logic introduced by Zadeh is the logic based on the theory of fuzzy sets. It differs from traditional software systems, in its concepts and details. Following this logic, the exact reasoning corresponds to a specific case of the approximate system, being interpreted as an approximate process. In this perspective, the purpose of this paper seeks to contribute to the modeling of control systems of modern engineering, such as control self-guided vehicles (VGA).

**Keywords:** Logic Fuzzy, Controller Fuzzy, Control System

## 1 Introdução Teórica e Fundamentos

A Lógica Fuzzy ou Lógica Difusa introduzida por Zadeh [6][7][8] é a lógica baseada na teoria dos conjuntos Fuzzy. Ela difere dos sistemas lógicos tradicionais, em seus conceitos e detalhes. Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso específico do sistema aproximado, sendo interpretado como um processo aproximado. Na Lógica Fuzzy, o valor verdadeiro pode ser caracterizado como um subconjunto Fuzzy de qualquer conjunto parcialmente ordenado, conceito que se difere do sistema lógico binário, visto que, uma variável só pode assumir especificamente dois valores: verdadeiro (1) ou falso (0). O modelo Fuzzy é estruturado por um valor  $\mu(p)$  associado a uma variável  $p$ . Para síntese de grau de veracidade, associa-se a uma função arbitrária  $\mu(x)$  ao conjunto imagem entre os valores de 0 e 1. Desta maneira, as variáveis  $p$  e  $\mu(x)$  podem assumir uma gama infinita de valores entre 0 e 1. Com essa definição, a lógica Fuzzy tornou-se uma ferramenta essencial para casos que não possuem um modelo matemático capaz de descrever precisamente o processo em estudo e, essa técnica, fornece uma estrutura poderosa para manipular informações aproximadas.

Desenvolveram-se diversas aplicações utilizando Fuzzy, tais como: sistemas de controle, modelagem de processos, redes neurais para descrição de função, hardware e controle Fuzzy. Diante do exposto, a proposta deste trabalho busca contribuir na modelagem de sistemas de controle da engenharia moderna, como por exemplo, controle de veículos auto-guiados (VGA).

A modelagem e o controlador fuzzy são técnicas para se manusear informações qualitativas de uma maneira rigorosa [2]. Tais técnicas consideram o modo como a falta de exatidão e a incerteza são descritas e, fazendo isso, tornam-se suficientemente poderosas para manipular de maneira conveniente o conhecimento. A sua utilização em sistemas de controle de processos em tempo real, em computadores é das mais convenientes, dado que, geralmente, não envolvem nenhum problema computacional. A teoria de modelagem e controlador fuzzy trata do relacionamento entre entradas e saídas, agregando vários parâmetros de processo e de controle. Isso permite a consideração de processos complexos, de modo que os sistemas de controle resultantes proporcionam um resultado mais acurado, além de um desempenho estável e robusto. A grande simplicidade de implementação de sistemas de controle fuzzy pode reduzir a complexidade de um projeto a um ponto em que problemas anteriormente intratáveis passam agora a ser solúveis.

## 2 Metodologia de Desenvolvimento

Como forma de viabilizar uma metodologia direcionada para o objetivo dessa pesquisa, em primeiro momento, promoveu-se uma análise do conceito básico do controlador Fuzzy, tal que, consiste em modelar as ações a partir de conhecimento especialista, ao invés de, necessariamente, modelar o processo

em si. A motivação para esta nova abordagem veio de casos onde o conhecimento especialista de controle era disponível, seja por meio de operadores ou de projetistas, e os modelos matemáticos envolvidos eram muito custosos, ou muito complicados para serem desenvolvidos. A estrutura de um controlador fuzzy é apresentada na Figura 1, expondo seus componentes básicos.

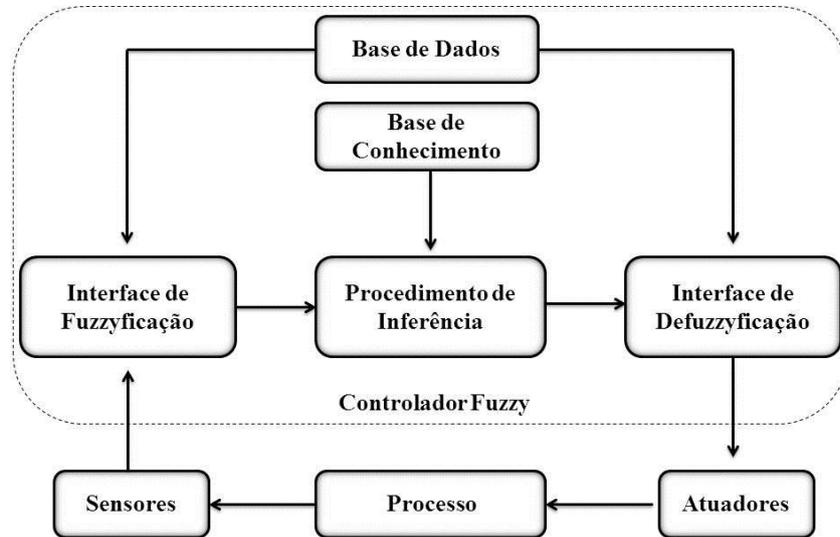


Fig. 1. Controlador Fuzzy

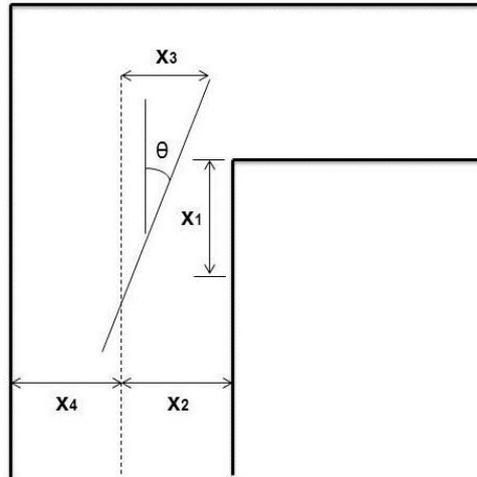
Num segundo momento, foram especificados os parâmetros, sintonização e monitoração de controladores Fuzzy. A descrição dos parâmetros é obtida a partir de experiências realizadas e, com isso, classifica-se em parâmetros estruturais e parâmetros de sintonização, sendo que se difere em condições de operação. O processo de sintonização é uma das etapas que consome mais tempo no desenvolvimento de um controlador Fuzzy, pois a grande flexibilidade que decorre da existência de muitos parâmetros exige um grande esforço do projetista de modo a obter o melhor desempenho do controlador. A seguir, descrevem-se as principais características dos parâmetros [3]:

- Parâmetros Estruturais
  - Número de variáveis de saída;
  - Número de variáveis de entrada;
  - Recursos de operação sobre os dados de entrada (somadas e multiplicações);
  - Variáveis linguísticas;
  - Funções de pertinência parametrizadas;
  - Intervalos de discretização e normalização;
  - Estrutura da base de regras;
  - Conjunto básico de regras.
- Parâmetros de Sintonização
  - Universo de discurso das variáveis;
  - Parâmetros das funções de pertinência, tais como: altura, largura ou conjunto suporte;
  - Ganhos e *offset* das entradas e saídas.

Por fim, desenvolveu-se uma ferramenta de monitoração que possa processar alguns índices de desempenho. Seu objetivo é garantir se as ações de controle são aceitáveis, tendo em vista as especificações definidas.

### 3 Exemplo de Aplicação – Controle de Direção de Veículos Auto-Guiados

Fazendo-se uso do controlador fuzzy, deseja-se, nesta aplicação, controlar o movimento de um veículo auto-guiado (AGV) para que o mesmo percorra uma trajetória em um ambiente, a partir do sensoriamento de sua localização (figura 2).



**Fig. 2.** Variáveis de Entrada e Saída

As variáveis de entrada do controlador são as posições  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_4$  e o ângulo do veículo em relação à direção das laterais. A saída do controlador é o ângulo do eixo frontal do veículo em relação à posição de repouso (alinhada com a direção do veículo). As regras de controle são da forma:

$$R_i : \text{Se } (x_1 \in A_1^i) \text{ e...e } (x_4 \in A_4^i)$$

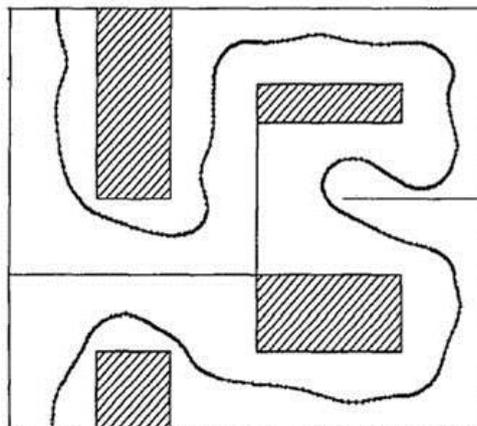
$$\text{Então } \theta_i = p_0^i + p_1^i x_1 + p_2^i x_2 + p_3^i x_3 + p_4^i x_4$$

$$i = 1, \dots, m$$

A ação de controle é determinada por:

$$\Theta = \frac{\sum_{i=1}^m W_i \theta_i}{\sum_{i=1}^m W_i}$$

onde  $W_i$  é o resultado da combinação dos antecedentes da  $i$ -ésima regra, dados os valores das variáveis de entrada. Nesta perspectiva, a figura 3 mostra o resultado proporcionado pelo controlador para o veículo colocado em um ambiente complexo.



**Fig. 3.** Trajetória do Veículo

## 4 Resultados e Conclusões

Diante do que foi apresentado, a lógica fuzzy demonstrou ser útil na elaboração de um modelo de sistema de controle de direção de veículos auto-guiados. Não somente pelo fato de que se considerou desde o início do trabalho a dificuldade de se obter um modelo matemático compatível com a realidade capaz de ser relevante e preciso ao mesmo tempo, mas também porque os resultados obtidos pelo controlador fuzzy em simulações apresentam coerência, especialmente em relação às técnicas supervisionadas.

## Referências

1. Doyle, J.C. Multivariable feedback design: concept for a classical/modern synthesis. IEEE. Trans. On Automatic Control, v. AC-26, pp. 4-16, 1981
2. Figueiredo, M. F. Gomide. A Fuzzy Neural Network: Structure and Learning - 5th IFSA. World Congress, Seul, Coréia. pp. 1171-1174, 1993
3. Hotsman, J.M. Nonlinear System Theory – Prentice Hall, N.J. 1970
4. Pedrycz, W. Fuzzy Control and Fuzzy Systems – John Wiley and Sons, New York, 1989
5. Sage, A. Optimum Systems Control Prentice Hall, NJ, 1977
6. Zadeh, L. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics, v. SMC3, pp. 28-44, 1973
7. Zadeh, L. Fuzzy Logic - IEEE Computer, April, pp. 83-92, 1988
8. Zadeh, L. Fuzzy Sets. Information and Control, v. 8, pp. 338-353, 1965

## Um estudo sobre a dinâmica de peixes da bacia amazônica: Modelos clássicos e alternativos

**Elisiane B. Custódio\***

Bairro Bangu Avenida dos Estados, 5001  
09210-580, Santo André, SP  
E-mail: elisiane.custodio@ufabc.edu.br

**Rodney C. Bassanezi**

Bairro Bangu Avenida dos Estados, 5001  
09210-580, Santo André, SP  
E-mail: rodney.bassanezi@ufabc.edu.br

### RESUMO

As tentativas de representação matemática de fenômenos biológicos ganharam alguma credibilidade com os modelos didáticos de interação entre espécies devidos a Lotka-Volterra e Kostitzin e com os modelos de epidemiologia de Kermack-McKendrick, nos meados deste século. Tais modelos utilizavam a teoria das equações diferenciais, ordinárias ou parciais, invariavelmente baseadas nas leis físicas de conservação. A dificuldade maior em aplicar matemática às situações biológicas está no fato de que tais fenômenos têm um comportamento bem mais complexo que os da Física - suas variáveis têm um comportamento fortemente aleatório e muitas vezes sensíveis às pequenas perturbações. Nas últimas décadas a Biomatemática vem tendo um desenvolvimento fortemente encorajado pelo aparecimento de novas teorias matemáticas (Teoria do Caos e as bifurcações, Teoria dos Conjuntos Fuzzy, Espaços de Aspectos, etc.) e técnicas derivadas de recursos computacionais. Recentemente, o surgimento de novos paradigmas, cada vez mais desvinculados dos tradicionais, pressupostos pelo reducionismo, propiciam modelos mesoscópicos mais realistas, capazes de simular, prever e influir nos fenômenos biológicos tais como: dinâmica de redes filamentosas, difusão de insetos e poluentes, redes neuronais, agregação celular, padrões de formação em geral, controle de pragas etc. Neste projeto analisamos o desenvolvimento e manejo de recursos renováveis, em especial de alguns peixes da bacia amazônica, considerando, principalmente, as espécies primitivas de maior valor comercial e que são as chamadas espécies de piracema, que dependem da injeção de hormônios naturais e sintéticos para a reprodução. Os modelos populacionais ou de alometrias de peixes são quase sempre formulados por meio de sistemas variacionais determinísticos que consideram seus parâmetros, como valores médios ou ajustados com dados imprecisos, obtidos ou da contagem de anéis de escamas ou da calcificação de ferões, no caso dos bagres. São “modelos exatos” que invariavelmente não condizem com a realidade. Ter modelos mais confiáveis passou a ser a preocupação dos pesquisadores, principalmente para se ter controle de estoques e evitar sobrepesca.

A ferramenta matemática que usamos em nossos modelos são os sistemas variacionais fuzzy que podem comportar vários tipos de subjetividades (fuzziness), dependendo da escolha da variável de estado e dos parâmetros. No caso de se estudar a dinâmica de uma população, muitas vezes as informações que temos sobre os parâmetros e variáveis são parciais ou não temos certeza, nem mesmo, das condições iniciais.

Em nosso projeto não devemos privilegiar a imprecisão em detrimento da exatidão fornecida pela matemática clássica, simplesmente queremos utilizar ferramentas alternativas para modelar o crescimento de peixes, quando os dados amostrais são parciais ou imprecisos. Em nosso caso específico, é muito difícil ter informações de dados alométricos como comprimento e peso relacionados com a idade dos peixes. Usaremos equações determinísticas do tipo de von Bertalanffy, onde se contempla o metabolismo e anabolismo para a análise do

---

\*Bolsista UFABC

crescimento em peso dos peixes, como equações determinísticas associadas aos sistemas fuzzy com parâmetros e condições iniciais incertas. Uma estimativa fuzzy de alguns parâmetros será obtida, considerando-se conjecturas de especialistas do tipo: "*O crescimento máximo (ponto de inflexão da curva) se dá em torno do instante em que o animal tem suas gônadas amadurecidas*".

Os dados coletados serão fornecidos por pesquisadores da Universidade Federal do Amazonas, que estão muito interessados nos possíveis modelos, originados de dados parciais ou mesmo subjetivos, que utiliza conceitos novos provenientes da lógica fuzzy.

**Palavras-chave:** Dinâmica Populacional, Modelo de von Bertalanffy, Modelos Fuzzy.

## Referências

- [1] Barros, L. C.. **Sobre sistemas dinâmicos fuzzy - teoria e aplicações.** Tese de Doutorado, IMECC - UNICAMP, Campinas,1997.
- [2] Barros, L. C. e Bassanezi, R. C. **Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática.** Coleção IMECC. Textos didáticos, v.5. Campinas, Sp,2006.
- [3] Bassanezi, R. C. **Ensino-Aprendizagem com modelagem matemática:Uma nova estratégia.** Ed Contexto, São Paulo,2002.
- [4] Bassanezi, R. C. e Ferreira Jr., W. C. **Equações Diferenciais com Aplicações.**ed. Harbra, São Paulo,1988.
- [5] Ceconello, M.S.**Modelagem Alternativa para Dinâmica Populacional:Sistemas Dinâmicos Fuzzy.** Dissertação de Mestrado, IMECC – UNICAMP, Campinas,2006.
- [6] Mizukoshi, M. T. **Estabilidade de sistemas dinâmicos fuzzy.** PhD thesis,IMECC – UNICAMP,2004
- [7] Tsoularis, A. Wallace, J.**Analysis of logistic growth models,** Mathematical Biosciences, v. 179, 2002,p. 21-55.
- [8] Zadeh, L. A. **Fuzzy Sets. Information and Control,** Berkeley, Califórnia, v.8,1965, p. 338-353.

# Planejamento de Rotas de Robôs Móveis em Ambientes Dinâmicos: Uma Abordagem Utilizando Algoritmos Genéticos e Lógica *Fuzzy*

Tauã M. Cabreira<sup>1</sup>, Graçaliz P. Dimuro<sup>1</sup>, and Marilton S. de Aguiar<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós Graduação em Modelagem Computacional  
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)  
96.201-900 – Rio Grande – RS – Brasil  
{tsiad.taua,gracaliz}@gmail.com,

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Computação  
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)  
96.010-610 - Pelotas - RS - Brasil  
marilton@inf.ufpel.edu.br

## Resumo

O problema de planejamento de rotas de robôs móveis consiste em determinar uma rota para um robô, em um ambiente estático e/ou dinâmico, capaz de levá-lo de um estado inicial a um estado objetivo através do melhor caminho, ou seja, o caminho mais curto, evitando possíveis colisões com obstáculos.

Os robôs móveis são um importante aspecto a ser considerado em ambientes automatizados [4,2], em cidades inteligentes particulares, oferecendo uma ampla variedade de aplicações, tais como: robôs de serviço para pessoas idosas, veículos guiados automatizados para o transporte de mercadorias e/ou utensílios em uma fábrica ou em casa, robôs não-tripulados para o desarmamento de bombas, robôs de limpeza doméstica e de piscinas, robôs de exploração de planetas, robôs subaquáticos, sistemas de robôs remotos para a detecção de presença física, robôs de combate testados, robôs pessoais e robôs programáveis, que podem ser personalizados pelo usuário. Por exemplo, veja Carebot<sup>3</sup>, iRobot<sup>4</sup> e os diversos robôs dos projetos de Willow Garage<sup>5</sup>. Nestas aplicações, os robôs móveis usualmente executam suas tarefas de navegação usando blocos de construção [5,4].

Existem diversas abordagens clássicas para o problema de planejamento de rotas, conforme discutido por Raja e Pugazhenthii [4] e Latombe [1]. Embora estas abordagens sejam efetivas, o tempo computacional aqui é crucial para o sucesso de qualquer algoritmo, visto que resultados ótimos dificilmente podem ser alcançados em um tempo computacional muito breve, devido à falta de informação sobre o ambiente. Por isso, abordagens evolucionárias como os Algoritmos Genéticos (AG), a Otimização por Nuvem de Partículas, a Otimização por Colônias de Formigas e a Têmpera Simulada têm sido empregadas para

<sup>3</sup> <http://www.geckosystems.com/>

<sup>4</sup> <http://www.irobot.com/us/>

<sup>5</sup> <http://www.willowgarage.com/>

solucionar o problema de planejamento de rotas, combinadas com abordagens clássicas [3,4,6,2].

Com o uso da abordagem de AG's, pretende-se encontrar uma rota para um robô que o leve de um ponto inicial até um ponto final sem colidir com os obstáculos. Em ambientes dinâmicos, o cenário modifica-se a cada instante devido à movimentação dos obstáculos. Desta forma, além da rota inicial planejada, é necessário realizar uma verificação constante para certificar-se que o robô não irá colidir com os obstáculos durante a execução de sua trajetória. Ao detectar a presença de obstáculos e a iminente colisão, o recálculo da rota deve ser executado, modificando a trajetória inicial do robô.

Através da Lógica *Fuzzy* serão empregados dois atributos linguísticos, a distância e a evidência, para modelar a detecção da presença de obstáculos no ambiente e a análise de uma possível colisão com os mesmos. Com um grau de pertinência variando de 0 a 1, o atributo “distância” será medido através de termos linguísticos, tais como: muito perto, perto, mediano, longe e muito longe. Cada uma destas medidas estará enquadrada em um intervalo de valores numéricos, ainda a serem definidos, que representam a distância real entre o robô e os obstáculos.

O segundo atributo é o da “evidência”, empregado pelo robô para tentar distinguir se uma determinada imagem captada pelo sensor é ou não um obstáculo. Este atributo também será medido através de termos linguísticos, tais como: muito fraco, fraco, médio, forte e muito forte. Estas medidas também estarão enquadradas em intervalos numéricos, onde cada intervalo será representado por uma tonalidade que varia da cor branca à cor preta. Por exemplo, o valor 0 (zero) será representado pela cor branca e significará que não há obstáculos no local analisado. Já o valor 1 (um) será representado pela cor preta e significará que existe um obstáculo no local analisado.

Na sequência, será construída a base de regras de inferência. Para tanto, serão analisadas todas as combinações entre essas variáveis linguísticas, que determinarão, após a defuzzificação, o grau de certeza para o recálculo ou não da rota do robô.

## Referências

1. Latombe, J. C.: Robot Motion Planning Kluwer, Norwell (1991)
2. Nedjah, N., Coelho, L. S., Mourelle, L. M.: Mobile Robots: The Evolutionary Approach. Studies in Computational Intelligence, Springer, Berlim (2007)
3. Raja, P., Pugazhenti, S.: Path planning for mobile robots in dynamic environments using particle swarm optimization. Proceedings of the IEEE International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing (ARTCom 2009), Kottayam, p. 401–405 (2009)
4. Raja, P., Pugazhenti, S.: Optimal path planning of mobile robots: A review. International Journal of Physical Sciences, v. 7, p. 1314–1320 (2012)
5. Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R.: Introduction to autonomous mobile robot. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (2004)
6. Tamilselvi, D., Shalinie, S., Thasneem, A., Sundari, S.: Robot Motion Planning. Optimal Path Selection for Mobile Robot Navigation Using Genetic Algorithm in an Indoor Environment, Springer, v. 7135, p. 263–269 (2012)

## Proposta de um sistema especialista para auxílio ao diagnóstico da toxocaríase visceral: resultados preliminares

Alex Jones Flores Cassenote<sup>1,2</sup> e Neli Regina Siqueira Ortega<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós Graduação em Doenças Infecciosas e Parasitárias, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo.  
Av. Dr. Enéas de Carvalho Aguiar, 470, 05403-000 - São Paulo - SP, Brasil.  
{cassenote@usp.br}

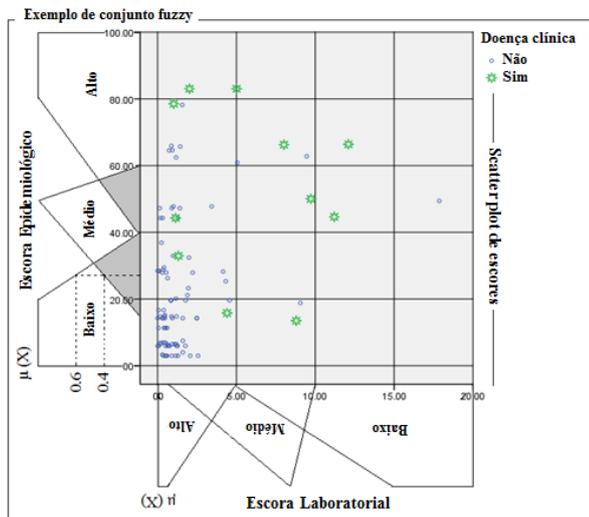
<sup>2</sup>Centro de Sistemas Fuzzy em Saúde, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo.  
Av. Dr. Enéas de Carvalho Aguiar, 470, 05403-000 São Paulo, SP, Brasil.  
{neli@dim.fm.usp}

A toxocaríase visceral é uma zoonose difundida em todo o mundo. Trata-se da infecção humana, em especial pelas larvas de *Toxocara canis*, um nematoda comum de cães. O diagnóstico definitivo da toxocaríase é realizado pela visualização da larva de *Toxocara* spp em tecidos do hospedeiro, porém, mesmo em biópsia hepática, este achado é raro, necessitando-se assim de outros meios laboratoriais para que a doença seja diagnosticada [1,2]. A lógica fuzzy tem sido aplicada em diversas áreas do conhecimento, sendo especialmente útil nas aplicações médicas, uma vez que as informações utilizadas no processo de decisão são incertas [3]. O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema especialista baseado em teoria de conjuntos fuzzy para auxílio ao diagnóstico de toxocaríase visceral (TV).

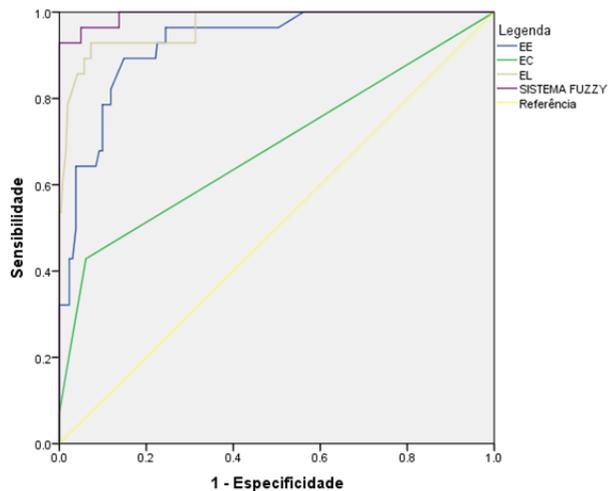
Para auxiliar no diagnóstico de TV foi desenvolvido um modelo linguístico baseado em regras fuzzy, cujas variáveis de entrada são: **o escore epidemiológico (EE)** que foi planejado com base no valor de *odds ratio* ajustado proveniente da regressão logística múltipla [1], as variáveis consideradas foram geofagia (g), hábito de levar objetos à boca (b), onicofagia (o), número de cães na residência (c) e hábito de lavar as mãos (h), na relação que segue:  $(ES=(g+b+o)+(c*h))$ ; **o escore laboratorial (EL)** que leva em consideração o valor da densidade ótica do teste de Elisa IgG anti-TES (d) e o número de eosinófilos (e) reportados no hemograma, na seguinte maneira:  $(LS=d*e)$ ; e **o escore clínico (EC)** que refere-se a média do número de sinais e sintomas clínicos da doença, que são hepatomegalia (t), esplenomegalia (l), adenomegalia (a), e manifestações pulmonares - tosse, chiado e asma - (p) e cutâneas - urticária e eczema - (c), obtidos pela seguinte formula:  $(EC=(t+l+a+p+c)/5)$ .

Os conjuntos fuzzy foram definidos com base na distribuição da presença de doença clínica em um gráfico do tipo scatter plot levando-se em conta a distribuição de EE, EL e EC (Fig. 1); a base de regras é composta por 27 regras obtidas a partir da análise e sugestão de um médico infectologista e pesquisadores especialistas no as-

sunto; foi proposto um modelo fuzzy Mamdani, que considera conjuntos fuzzy tanto em seus antecedentes como em seu consequente; a saída é uma variável de “risco” para apresentação de doença clínica, variado entre 0 e 100, caracterizada por 3 conjuntos categóricos: ausente, moderado e acentuado. O sistema foi desenvolvido com auxílio da *MatLab Fuzzy Toolbox* em MatLab R2012a.



**Fig. 1.** Scatter plot para EE e EL usados no sistema, para exemplificação da fuzzificação das variáveis de entrada no sistema especialistas para auxílio ao diagnóstico da toxocaríase visceral.



**Fig. 2.** Curva ROC mostrando performance do sistema especialistas para auxílio ao diagnóstico da toxocaríase visceral.

Para avaliação do modelo foi utilizado uma base de dados contendo características de 300 indivíduos com idades entre 1 e 12 anos [1]; a presença de doença foi definida por um médico infectologista utilizando de anamnese, exames laboratoriais e avaliação clínica individual, a decisão do médico foi dispensar, reavaliar ou tratar os indivíduos. A prevalência de toxocaríase visceral nesse grupo foi de 12%.

A variável final do sistema, defuzzificada pelo método do centro de massa foi tratada por meio de regressão multinomial [4] baseado na decisão do médico, para estabelecer os pontos de corte ótimos.

**Tab. 1.** Concordância entre categorização de risco do sistema e decisão do médico infectologista especialista na doença.

|         |             | Infectologista (padrão ouro) |            |         | Total |
|---------|-------------|------------------------------|------------|---------|-------|
|         |             | Sem tratamento               | Reavaliado | Tratado |       |
| Sistema | Baixo risco | 245                          | 3          | 1       | 249   |
|         | Médio risco | 1                            | 22         | 1       | 24    |
|         | Alto risco  | 0                            | 0          | 27      | 27    |
| Total   |             | 246                          | 25         | 29      | 300   |

Kappa: 0.934,  $p < 0.001$ .

Para o cálculo da acurácia do sistema utilizou-se a curva ROC avaliando-se a decisão em tratar e não tratar o indivíduo, o sistema fuzzy mostrou área de 0.993 - IC95%: 0.983-1.00, EE de 0.926 - IC95%: 0.882-0.971, EC de 0.686 - IC95%: 0.564-0.808 e EL de 0.968 - IC95%: 0.937-0.999, o que sugere elevada acurácia perante aos escores de entrada. A concordância entre o sistema especialista fuzzy e a decisão do médico infectologista (conduta tomada como padrão ouro) foi elevada (Tab. 1), sendo o kappa resultante em 0.934 ( $p < 0.001$ ). Os resultados mostraram que é factível e útil ao médico o uso do sistema especialista baseado em teoria de conjuntos fuzzy no âmbito do diagnóstico da toxocaríase visceral. Embora os resultados recentes tenham mostrado elevada acurácia do sistema, novos testes serão realizados para corroborar o desempenho do modelo e compará-lo com a opinião de outros especialistas no assunto.

**Palavras-chave:** *Toxocaríase Visceral, Toxocara canis, Lógica Fuzzy, sistema especialista*

## Referências

- [1] CASSENOTE, A. Frequência de anticorpos anti-Toxocara spp em escolares do município de Fernandópolis-SP, Brasil e análise da contaminação do solo por ovos do parasito [Dissertação de Mestrado]. São Paulo (SP): Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo; 162p (2010).
- [2] Colli, C. M. *et al.* Serological, clinical and epidemiological evaluation of toxocarasis in urban areas of south Brazil. *Rev. Inst. Med. trop. S. Paulo*, vol. 52 (2010).
- [3] Massad, E. *et al.* Fuzzy Logic in Action: Applications in Epidemiology and Beyond. p.379. Springer (2008).
- [4] Bersabé, R., Rivas, T. A General Equation to Obtain Multiple Cut-off Scores on a Test from Multinomial Logistic Regression. *Span J. of Psychology*, vol. 13 pp, 494--502 (2010).

# JFuzZ: Uma Ferramenta para Desenvolvimento de Aplicações Fuzzy Industriais

**Bruno Sielly J. Costa e Clauber G. Bezerra**

IFRN - Campus Natal-Zona Norte | Campus Santa Cruz

59112-490, Natal, RN | 59200-000, Santa Cruz, RN

E-mails: bruno.costa@ifrn.edu.br | clauber.bezerra@ifrn.edu.br

**Luiz Affonso Guedes**

UFRN - CT - DCA

59072-970, Natal, RN

E-mail: affonso@dca.ufrn.br

## RESUMO

A utilização da teoria de conjuntos fuzzy no controle de processos foi proposta pela primeira vez por Ebrahim Mamdani no controle de uma máquina a vapor [3]. Tal abordagem, aplicada no controle de processos é de fácil implementação, não necessitando de modelos matemáticos complexos, e utilizando apenas um conjunto simples de regras, que são baseadas na experiência dos operadores ou especialistas do processo industrial. Este trabalho apresenta o projeto e implementação de um software que permite a modelagem, construção e edição de sistemas de inferência fuzzy baseados nos modelos propostos por Mamdani [4] e Takagi-Sugeno [6].

## 1 OPC

OPC (*OLE for Process Control*) é um protocolo de comunicação baseado nas tecnologias OLE/DCOM da Microsoft [5]. Esse protocolo padroniza o formato com que os dados de equipamentos de campo são disponibilizados para os softwares na indústria.

Um servidor OPC, em geral, é disponibilizado pelo fabricante do equipamento e se comunica com o PLC (*Programmable Logic Controller*) através do protocolo proprietário do fabricante. O servidor disponibiliza os dados do PLC para as aplicações cliente utilizando padrão OPC, de forma que um programa cliente pode acessar dados de diferentes fabricantes utilizando uma interface de comunicação única.

## 2 Arquitetura do Sistema JFuzZ

O JFuzZ foi desenvolvido utilizando a linguagem Java e possui uma série de ferramentas que permitem a criação e edição de sistemas de inferência fuzzy. Uma vez criados e modelados, esses sistemas podem ser utilizados no controle de processos industriais em geral [1], utilizando o protocolo de comunicação OPC-DA.

O sistema foi desenvolvido com base numa arquitetura modular, onde cada módulo é responsável por um conjunto de funcionalidades bem definidas do sistema. Esses módulos interagem entre si, de forma que cada módulo disponibiliza as suas funcionalidades a outros módulos. A utilização dessa arquitetura facilita o desenvolvimento e a manutenção do software. A figura 1 ilustra os cinco módulos do JFuzZ, como também a interação entre eles.

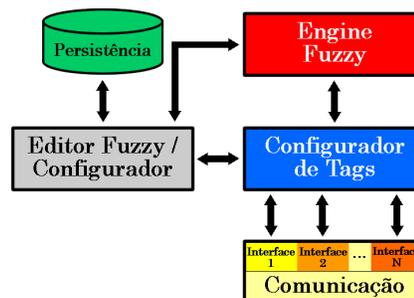


Figure 1: Módulos do JFuzZ

- **Editor fuzzy:** Informações básicas do sistemas de inferência, tais como variáveis de entrada e saída, funções de pertinência, regras, métodos de inferência etc.

- **Engine fuzzy:** Coleta as informações do sistema de inferência e realiza as operações matemáticas sobre os valores de entrada, gerando um conjunto de valores de saídas.
- **Comunicação:** Responsável pela troca de informações entre o sistema de inferência e o processo. Os dados do processo são disponibilizados ao sistema de inferência de forma transparente, através do protocolo OPC.
- **Configuração de tags:** Permite associar uma variável do sistema fuzzy a uma expressão aritmética que combine diferentes variáveis de processo.
- **Persistência:** Responsável pelo armazenamento e recuperação de todas as informações do sistema de inferência fuzzy.

### 3 Ambientes Gráficos

O sistema JFuzzZ foi desenvolvido utilizando sete ambientes gráficos, que disponibilizam as funcionalidades do sistema ao usuário de forma prática e intuitiva. As principais telas dos sistema são mostradas nas figuras 2, 3 e 4.

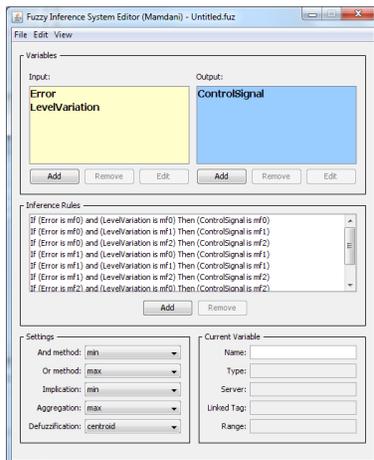


Figure 2: Editor

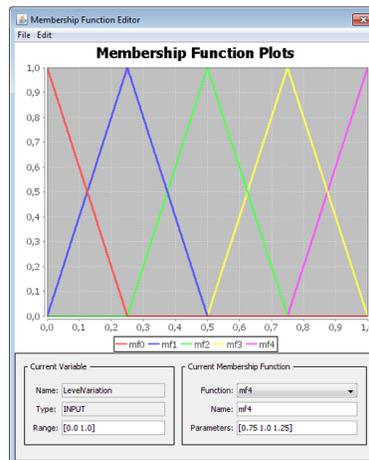


Figure 3: Pertinência

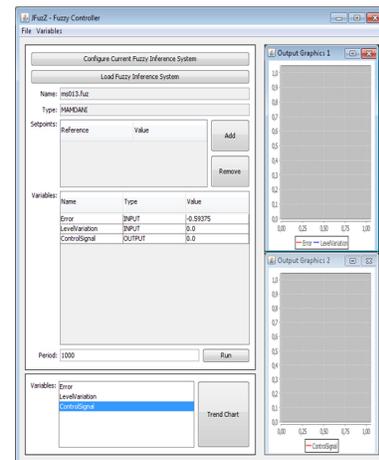


Figure 4: Controle

**Palavras-chave:** Automação Industrial, Controle Fuzzy, OPC, Java

### Referências

- [1] COSTA, B.; BEZERRA, C.; GUEDES, L. A Multistage Fuzzy Controller: Toolbox for Industrial Applications. *IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2012.
- [2] HALL, L.; HATHAWAY, R. Fuzzy Logic Toolbox - Software Review. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 4, No. 1. United States, 1996.
- [3] MAMDANI, E. H. Application of Fuzzy Algorithms for Simple Dynamic Plant. *Proceedings of Institute of Electrical Engineering*. England, 1974.
- [4] MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Man-Machine Studies* 7(1): 1-13.
- [5] OPC Data Access Custom Interface Specification. OPC Foundation, 2003.
- [6] TAKAGI, T.; SUGENO, M. Fuzzy Identification of System and its Applications to Modeling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1985.

# Comparação de Métodos de Avaliação de Treinamento baseados em Naive Bayes e Fuzzy Naive Bayes

José Taunai Dantas Segundo\*<sup>1</sup> Ronei Marcos de Moraes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Informática

<sup>2</sup>Departamento de Estatística

Universidade Federal da Paraíba

Cidade Universitária s/n, 58.051-900 – João Pessoa – PB – Brazil

taunai2@gmail.com, ronei@de.ufpb.br

## RESUMO

A Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia que pode agrupar várias áreas do conhecimento [2]. Com uso de ambientes virtuais, desenvolvidos com computadores e outros dispositivos, pode processar, elementos do conhecimento de forma agrupada com comportamento realístico. A RV pode ser usada para simulação de treinamento de procedimentos reais, eliminando problemas que por ventura viessem a ocorrer se tal treinamento fosse realizado de forma real. A área de saúde apresenta vários procedimentos que podem ser modelados para aplicações de treinamento usando RV, como o simulador de treinamento para coleta de medula óssea [1].

Um procedimento executado também pode ser avaliado, para determinar a qualidade do treinamento, dentre as duas formas de avaliação *offline* (retorno de resultado não imediato) e *online* (retorno de resultado imediato). Na área médica, algumas formas de avaliação já foram propostas [4]. O trabalho apresenta o modelo de avaliação de desempenho de usuários em ambientes de RV baseado em Naive Bayes e o mesmo modelo usando Teoria *Fuzzy* [3].

Formalmente, seja um espaço de decisão  $\Omega = \{1, \dots, M\}$  onde  $M$  é o total de classes de desempenho. Seja  $W_i$ ,  $i \in \Omega$ , a classe de desempenho para um usuário, poderemos determinar sua classe de desempenho mais provável dado um vetor de dados  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ , gerado pela interação do usuário. O método Naive Bayes assume que o vetor  $X$ , possui cada variável independente de qualquer outra variável do mesmo vetor  $X$ . A menos de um fator de escala  $S$ , que depende dos valores de  $X_1, X_2, \dots, X_N$ , podemos expressar essa probabilidade por:

$$P(W_i | X_1, X_2, \dots, X_N) = (1/S) * P(W_i) * \prod_{k=1}^N P(X_k | W_i) \quad (1)$$

Então a regra de avaliação para Naive Bayes é dada por:

$$X \in W_i \text{ se } P(W_i | X_1, X_2, \dots, X_N) > P(W_j | X_1, X_2, \dots, X_N) \forall i \neq j \in \Omega \quad (2)$$

A versão *Fuzzy* do método Naive Bayes trata as variáveis do problema como variáveis *Fuzzy*. Dessa maneira são usadas as informações estatísticas da frequência relativa de forma normalizada (no intervalo de [0,1]) [5]. Com base no mesmo espaço de decisão com  $M$  classes e o novo vetor  $X$ , definido agora com variáveis *Fuzzy*, partindo-se de (1) o modelo *Fuzzy* Naive Bayes é definido por:

$$P(W_i | X_1, X_2, \dots, X_N) = (1/S) * P(W_i) * \prod_{k=1}^N P(X_k | W_i) * \mu_i(X_k), i \in \Omega \quad (3)$$

onde  $\mu_i(X_k)$  é a frequência relativa normalizada.

Então a regra de avaliação para *Fuzzy* Naive Bayes é similar a realizada por (2):

$$X \in W_i \text{ se } P(W_i | X_1, X_2, \dots, X_N) > P(W_j | X_1, X_2, \dots, X_N) \forall i \neq j \in \Omega$$

Para realizar a comparação das duas formas de avaliação foi utilizado o Coeficiente Kappa, que leva em conta não apenas os acertos mas também os erros cometidos por cada avaliador [2]. A comparação também foi feita analisando o tempo médio de processamento de cada método.

Para atingir o objetivo proposto utilizou-se os avaliadores apresentados, para avaliar 800 bases de dados, que correspondem a possíveis interações do usuário no sistema de RV. Cada

---

\*Bolsista de Iniciação Científica CNPq

base é formada por vetores de 3 dimensões com 1000 posições cada, sendo 200 bases para cada uma das quatro classes pré-definidas. As variáveis foram definidas a partir de combinações de valores de distribuições normais geradas com os seguintes parâmetros: A:N(0;1), B:N(-2;1), C:N(10;20), D:N(19;20), E:N(1;20), F:N(-15;8). Essas combinações geraram as quatro classes: I(ABC), II(ABD), III(ABE) e IV(ABK).

TABELA I. MATRIZ DE ERROS

| Classes | Classificação usando Naive Bayes |           |            |           | Classificação usando <i>Fuzzy</i> Naive Bayes |           |            |           |
|---------|----------------------------------|-----------|------------|-----------|---|-----------|------------|-----------|
|         | <i>I</i>                         | <i>II</i> | <i>III</i> | <i>IV</i> | <i>I</i>                                      | <i>II</i> | <i>III</i> | <i>IV</i> |
|         | I                                | 200       | 0          | 0         | 0   | 200       | 0          | 0         |
| II      | 23                               | 177       | 0          | 0         | 22  | 178       | 0          | 0         |
| III     | 78                               | 0         | 122        | 0         | 50  | 0         | 150        | 0         |
| IV      | 0                                | 0         | 0          | 200       | 0   | 0         | 0          | 200       |

A Tabela I, gerada pelos avaliadores, apresenta a matriz de erros de avaliação dos dados para ambos os métodos. Os Coeficientes Kappa para Naive Bayes foi  $K_{NB} = 0,832$  com desvio padrão de  $\sigma_{NB} = 0,015$  e *Fuzzy* Naive Bayes foi  $K_{FNB} = 0,88$  com desvio padrão de  $\sigma_{FNB} = 0,013$ . Utilizou-se um sistema PC AMD Athlon 2,4GHz e 2GB de RAM para execução dos avaliadores, o método Naive Bayes utilizou 0,02034s de tempo de processamento médio e desvio padrão de 0,00063s para cada base, enquanto o *Fuzzy* Naive Bayes utilizou 0,02842s e desvio padrão de 0,00224s. Para as bases pertencentes as classes I e IV não houve diferenças entre os avaliadores, já para as bases das classes II e III houve diferenças entre os avaliadores com o método *Fuzzy* Naive Bayes apresentando melhores avaliações.

Pode-se afirmar que o método de avaliação Naive Bayes tem melhores resultados, quanto a classificação, quando usado em conjunto com Teoria *Fuzzy* apesar do método tradicional ser um pouco mais rápido. Trabalhos futuros envolvem a comparação destes resultados com outros modelos de avaliação baseados em Naive Bayes.

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro a este projeto através dos processos 310339/2009-0 e 183232/2011-9 oriundo do INCT-MACC.

**Palavras-chave:** Avaliação de treinamento, Naive Bayes, *Fuzzy* Naive Bayes

## Referências

- [1] MACHADO, L. S.; MELLO, A. N.; LOPES, R. D.; ODONE F. V.; ZUFFO, M. K. A Virtual Reality Simulator for Bone Marrow Harvest for Pediatric Transplant. *Studies In Health Technology And Informatics*. Amsterdam. v.81, p. 293 - 297. 2001.
- [2] MORAES, R. M.; MACHADO, L. S. Development of a Medical Training System with Integration of Users' Skills Assessment. *Book Chapter. Virtual Reality*. Viena: Intech, Cap. 15: p. 325-348. ISBN 978-953-307-518-1. 2011.
- [3] MORAES, R. M.; MACHADO, L. S. Another Approach for Fuzzy Naive Bayes Applied on Online Training Assessment in Virtual Reality Simulators. *Proceedings of Safety Health and Environmental World Congress 2009 (SHEWC'2009)*. 26-29 Julho, Mongaguá, Brasil, p. 62-66. 2009.
- [4] MORAES, R. M.; MACHADO, L. S. Assessment Based on Naive Bayes for Training Based on Virtual Reality. *Proceedings of International Conference on Engineering and Computer Education (ICECE'2007)*. Março, Santos, Brasil, p. 269-273. 2007.

Comparação de Métodos de Avaliação de Treinamento  
baseados em Naive Bayes e Fuzzy Naive Bayes

[5] ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. *Information and Control*, v. 8, p. 338-353, 1965.

# Reestruturação do Índice Fuzzy de Qualidade Ambiental

Ana Carolina do Amaral Burghi<sup>\*1</sup>, José Arnaldo Frutuoso Roveda<sup>1</sup>, Sandra Regina Monteiro Masalskiene Roveda<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista  
Avenida Três de Março, 511  
Alto da Boa Vista  
18087-180, Sorocaba, SP

Email: carolciv@hotmail.com, roveda@sorocaba.unesp.br e  
sandra@sorocaba.unesp.br

**Palavras-chave:** *qualidade ambiental, índice, sistemas de inferência fuzzy.*

## Resumo

No Brasil, o órgão responsável pela elaboração de indicadores e índices de expressão da qualidade do ambiente é o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, onde são avaliadas dimensões nos aspectos sociais, ambientais, econômicos e institucionais.

Em 2005, o Ministério das Cidades criou o Índice de Qualidade de Vida Urbana dos Municípios Brasileiros (IQVU-BR), desenvolvido em parceria com o Instituto de Desenvolvimento Humano Sustentável (IDHS) e Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Durante a construção deste índice foram feitas diversas consultas envolvendo 148 colaboradores, oriundos de diversas regiões brasileiras, com objetivo de escolher os melhores temas. Foram, inicialmente, apresentados 22 temas, considerados consensuais e concebidos um total de 438 indicadores. Porém, este índice é muito complexo para aplicação na maioria dos municípios brasileiros que não possuem estrutura de análise e pessoal qualificado para sua mensuração contínua (SILVA, 2008).

Procurando avaliar as questões ambientais da cidade de Sorocaba-SP através da Teoria dos Conjuntos Fuzzy, e considerando a vocação industrial, econômica, cultural, geográfica e política do município, foi proposto por Roveda et al (2010) um Índice Fuzzy de Qualidade Ambiental (IFQAmb).

A lógica fuzzy se mostra uma ferramenta muito conveniente para classificar condições ambientais e descrever mudanças naturais e antropogênicas, além de possibilitar a determinação de uma relação entre elas. Além disso, essa metodologia permite trabalhar com dados subjetivos da natureza, dando significado àquilo que seria omitido, devido à dificuldade de interpretação.

O objetivo deste trabalho é o estudo desta metodologia que combina dados de diversas dimensões ambientais procurando fazer uma análise das variáveis

---

\* Bolsista de Iniciação Científica FAPESP

consideradas e das possíveis extensões que possam tornar este índice um instrumento cada vez mais capaz de fornecer uma avaliação urbano-ambiental integrada da cidade.

O IFQAmb foi construído a partir dos sistemas de inferência fuzzy, considerando dados diversos agrupados nas modalidades: Recursos Hídricos, Poluição Atmosférica, Resíduos Sólidos, Preservação da Vegetação e Projetos de Educação Ambiental. Cada modalidade é constituída por várias variáveis, sendo Recursos Hídricos: Água para abastecimento (var1), tratamento do esgoto domiciliar (var2), bacia hidrográfica local (var3) e afastamento de esgoto domiciliar (var4); Poluição Atmosférica: Qualidade do ar em área urbana (var5), ocorrência de queimadas e/ou incêndios (var6), ocorrências registradas e convertidas em auto de infração pela CETESB (var7); Resíduos Sólidos Urbanos: Coleta seletiva de resíduos urbanos domiciliares (var8), reciclagem de entulho da construção civil (var9), coleta de resíduos domésticos (var10), coleta de entulho da construção civil (var11), Indústrias com sistema de gestão ambiental (var12); Preservação da Vegetação: Áreas públicas protegidas (var13) e ocorrência de degradação ambiental registradas e convertidas em auto de infrações pela Polícia Ambiental, DEPRN e Prefeitura Municipal (corte e poda de árvores) exceto casos de poluição e queimadas (var14); Educação Ambiental: Projetos de Educação Ambiental desenvolvidos na rede pública de ensino cujo enfoque é o aluno (var15) e Projetos de Educação Ambiental desenvolvidos na rede pública de ensino cujo enfoque são os professores, coordenadores, diretores e supervisores (var16). Todos os dados utilizados foram classificados segundo os conceitos de ótimo, bom, regular e ruim em escalas que variam de acordo com as características de cada variável.

Para cada um dos cinco grupos de variáveis foi construída a função de pertinência para cada variável, levando-se em consideração suas características e seu domínio. Tais funções foram utilizadas na avaliação das variáveis dentro do grupo a qual pertence. Esses resultados foram tomados como variáveis de entrada em um segundo sistema de inferência fuzzy, por meio do qual foi obtido o índice esperado. Para a defuzzificação foi usado o método do Centro de Gravidade em ambos os sistemas. Cabe destacar que as variáveis utilizadas foram apenas aquelas cujos dados estão disponíveis em órgãos públicos e entidades civis, de modo que o índice possa ser facilmente gerado em períodos regulares.

Após a revisão da metodologia do IFQAmb, estão sendo propostas algumas alterações na estrutura do índice. Atualmente, o IFQAmb conta com dezesseis variáveis distribuídas nas cinco modalidades às quais devem ser acrescentadas outras cinco oriundas do Programa da Secretaria Estadual do Meio Ambiente que outorga aos municípios o título de Município Verde Azul (2012). Além disso, está sendo elaborada uma nova base de regras que deverá considerar todas as possibilidades, já que a primeira proposta eliminava, mediante critérios específicos, um número significativo de regras.

As alterações indicadas aqui e que estão sendo trabalhadas procuram definir com maior clareza e precisão os aspectos conceituais e de estruturação do IFQAmb de modo que este seja um instrumento ainda mais efetivo para a avaliação do comportamento ambiental, norteando as ações futuras no que se refere à melhoria da condição de vida da população sorocabana.

22 Ana C. Amaral Burghi, José A. Frutuoso Roveda, Sandra R. Monteiro  
Masalskiene Roveda

## References

1. Barros, L.C.; Bassanezi, R.C. Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática. Campinas: UNICAMP/IMECC, 2006.
2. Bellen, H.M.V. Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa, Rio de Janeiro: Editora FGV, 2007.
3. Município Verde Azul. Projeto Secretaria Estadual de Meio Ambiente. 2012. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/municpioverdeazul/>>. Acesso em: 31/julho/2012.
4. Roveda, J. A. F.; Mota, M. T.; Roveda, S. R. M. M.; Lourenço, R. W.; Martins, A. C. G. Fuzzy Environmental Quality Index. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE, 2010, Barcelona. Anais: WCCI, 2010. p. 1608-1613.
5. Silva, H.V.O. O uso de Indicadores Ambientais para aumentar a efetividade da Gestão Ambiental Municipal. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
6. Silvert, W. Fuzzy aspects of system science. In: Systems Science 2000. Osnabrück, Germany, March 2000. In: Integrative Systems Approaches to Natural and Social Dynamics: Systems Science 2000, M. Matthies, H. Malchow and J. Kriz (eds.), Springer-Verlag, Berlin, p. 73-81., 2001.
7. Silvert, W. Fuzzy indices of environmental conditions. Ecological Modelling, v.130, p.111-119, 2000.
8. Silvert, W. Ecological impact classification with fuzzy sets. Ecological Modelling, v. 96, p.1-10, 1997.

# Controle Ótimo Com Incerteza Intervalar

Ulcilea A. Severino Leal\*, Geraldo Nunes Silva\*\*, and Weldon A. Lodwick\*\*\*

Depto de Matemática Aplicada, IBILCE, UNESP,  
15054-000, São José do Rio Preto, SP  
ulcilea0803@hotmail.com,  
gsilva@ibilce.unesp.br,  
wlodwick@gmail.com,  
<http://www.ibilce.unesp.br>

**Resumo** Neste trabalho apresentamos uma abordagem para resolver problemas de controle ótimo irrestrito com incerteza intervalar, utilizando o conceito de equação integral. Concentramos apenas em problemas quadráticos lineares, apresentaremos um exemplo para aplicar e exemplificar essa técnica.

**Keywords:** Controle ótimo, condição inicial intervalar.

## 1 Introdução

O problema de controle ótimo considerado neste trabalho é o problema irrestrito com incerteza intervalar. O processo de resoluções deste problema será dado em duas etapas: a primeira etapa consiste em transformar o problema original em uma equação integral [1] e a segunda transformar o problema resultante em um sistema linear.

A equação integral obtida na primeira etapa, é dada em função do kernel que é contínuo no intervalo  $[0, 1] \times [0, 1]$ , assim, utilizando o conceito de partição de intervalo, essa será transformada em um sistema linear. A seguir, apresentaremos esta metodologia.

## 2 Problema de controle ótimo

Considere um caso particular da classe dos problemas de controle ótimo, o problema de controle ótimo quadrático linear:

$$\begin{aligned} \max \quad &= \frac{1}{2} \int_0^1 [x^T(t)Qx(t) + u^T(t)Ru(t)] dt \\ \text{sujeito a :} \quad & \\ x'(u; t) &= A_{n \times n}x(t) + B_{n \times m}u(t) \\ x(u; 0) &= x_0 \end{aligned}$$

onde,  $u$  é a função de controle,  $x$  é a função que representa o estado do sistema,  $Q$  é uma matriz simétrica positiva definida e  $R$  é inversível simétrica e semi-positiva definida.

---

\* Bolsista FAPESP, processo 2012/00189-3.

\*\* Bolsista produtividade do CNPq, processo 395418/2009-2.

\*\*\* Durante a execução deste trabalho este autor foi bolsista visitante na UNESP, financiado pela FAPESP, processo 2011/13985-0.

Aplicando o princípio do máximo de Pontryagin para esse problema e fazendo algumas manipulações algébricas [1], obtém-se a seguinte equação integral:

$$x(t) = e^{At}x_0 + \int_0^1 K(r, t)x(r)dr, \quad (1)$$

sendo que,

$$K(r, t) = \begin{cases} k_1(r, t) & \text{para } 0 \leq r \leq t \leq 1 \\ k_2(r, t) & \text{para } 0 \leq t < r \leq 1 \end{cases},$$

e

$$\begin{aligned} k_1(r, t) &= - \int_0^r e^{A(t-s)}BR^{-1}B^Te^{-A^T(s-r)}Qds \\ k_2(r, t) &= - \int_0^t e^{A(t-s)}BR^{-1}B^Te^{-A^T(s-r)}Qds \end{aligned}.$$

A equação integral apresentada em (1) é uma equação do tipo Fredholm, no qual,  $K(r, t)$  é contínua em  $[0, 1] \times [0, 1]$ .

Com o intuito de resolver tal equação, dado que  $K(r, t)$  é contínua, será utilizado o conceito de integração numérica de Riemann, mais particularmente, os conceitos de partição de um intervalo e soma de Riemann.

Para tal propósito considere  $P_1 : 0 = r_0 < r_1 < \dots < r_{n-1} < r_n = 1$  uma partição do intervalo  $[0, 1]$ , que  $r$  está definido, onde:  $r_j = \frac{j}{n}$  e  $\Delta r_j = \frac{1}{n}$ , para  $j = 0, 1, \dots, n$ . Logo, a equação (1) será reescrita da seguinte forma:

$$x(t) = e^{At}x_0 + \sum_{j=0}^n K\left(\frac{j}{n}, t\right)x\left(\frac{j}{n}\right)\frac{1}{n}. \quad (2)$$

Seguindo o mesmo raciocínio para  $t$  em  $[0, 1]$ , considere agora  $P_2 : 0 = t_0 < t_1 < \dots < t_{n-1} < t_n = 1$  uma partição do intervalo  $[0, 1]$  referente à  $t$ , onde:  $t_i = \frac{i}{n}$ , para  $i = 0, 1, \dots, n$ , uma vez que  $K\left(\frac{j}{n}, t\right)$  está definida em  $[0, 1]$ . Portanto, a equação (2) será reescrita por:

$$x\left(\frac{i}{n}\right) = e^{A\left(\frac{i}{n}\right)}x_0 + \sum_{j=0}^n K\left(\frac{j}{n}, \frac{i}{n}\right)x\left(\frac{j}{n}\right)\frac{1}{n}, \quad i = 0, 1, \dots, n.$$

Para  $i = 0, 1, \dots, n$  e  $j = 0, 1, \dots, n$ , tem-se o seguinte:

$$\begin{aligned} x(0) &= e^{A(0)}x_0 + K(0, 0)x(0)\frac{1}{n} + K\left(\frac{1}{n}, 0\right)x\left(\frac{1}{n}\right)\frac{1}{n} + \dots + K(1, 0)x(1)\frac{1}{n} \\ x\left(\frac{1}{n}\right) &= e^{A\left(\frac{1}{n}\right)}x_0 + K\left(0, \frac{1}{n}\right)x(0)\frac{1}{n} + K\left(\frac{1}{n}, \frac{1}{n}\right)x\left(\frac{1}{n}\right)\frac{1}{n} + \dots + K\left(1, \frac{1}{n}\right)x(1)\frac{1}{n} \\ &\vdots \\ x(1) &= e^{A(1)}x_0 + K(0, 1)x(0)\frac{1}{n} + K\left(\frac{1}{n}, 1\right)x\left(\frac{1}{n}\right)\frac{1}{n} + \dots + K(1, 1)x(1)\frac{1}{n}. \end{aligned}$$

Transformando o sistema anterior na forma de matriz, obtém-se:

$$\begin{pmatrix} \left(1 - K(0, 0)\frac{1}{n}\right) & -K\left(\frac{1}{n}, 0\right)\frac{1}{n} & \dots & -K(1, 0)\frac{1}{n} \\ -K\left(0, \frac{1}{n}\right)\frac{1}{n} & \left(1 - K\left(\frac{1}{n}, \frac{1}{n}\right)\frac{1}{n}\right) & \dots & -K\left(1, \frac{1}{n}\right)\frac{1}{n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -K(0, 1)\frac{1}{n} & -K\left(\frac{1}{n}, 1\right)\frac{1}{n} & \dots & \left(1 - K(1, 1)\frac{1}{n}\right) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x(0) \\ x\left(\frac{1}{n}\right) \\ \vdots \\ x(1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{A(0)}x_0 \\ e^{A\left(\frac{1}{n}\right)}x_0 \\ \vdots \\ e^{A(1)}x_0 \end{pmatrix}.$$

Portanto, ao invés de resolver a equação integral (1) tem-se que resolver um sistemas linear, cuja sua solução é uma solução aproxima da solução desejada.

O sistema linear resultante será denotado por:  $\tilde{A}\tilde{x} = \tilde{b}$ , onde  $\tilde{A}$ ,  $\tilde{x}$  e  $\tilde{b}$  são as matrizes obtidas no desenvolvimento acima.

Inicialmente, o problema de controle ótimo quadrático linear será considerado com incerteza intervalar na condição inicial, isto é:  $x_0^I = [\underline{x}_0, \overline{x}_0]$ . Neste caso, tem-se o seguinte o sistemas linear intervalar resultante:

$$\tilde{A}\tilde{x} = \tilde{b}^I, \quad \text{onde } \tilde{b}^I = \begin{pmatrix} e^{A(0)}[\underline{x}_0, \overline{x}_0] \\ e^{A(\frac{1}{n})}[\underline{x}_0, \overline{x}_0] \\ \vdots \\ e^{A(1)}[\underline{x}_0, \overline{x}_0] \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Para resolver o sistema intervalar (3) será utilizado o conceito de aritmética intervalar restrita [2]. Tal abordagem, ao contrário da aritmética intervalar tem inverso aditivo, inverso multiplicativo e satisfaz a lei da distributiva. Neste contexto, os intervalos são redefinidos como funções lineares, e conseqüentemente, os espaços dos intervalos serão transformados nos espaços das funções lineares com domínio compacto e inclinação não-negativa.

### 3 Aritmética Intervalar Restrita

Essa abordagem é uma extensão da aritmética intervalar, no sentido da dependência, ou seja, se cada intervalo na expressão aritmética é independente, as regras usuais para aritmética intervalar se mantém (ver [3]), caso contrário, esta abordagem apresenta uma metodologia para obter os resultados.

**Definition 1.** Um número intervalar  $\tilde{x}^I = [\underline{x}, \overline{x}]$  é dado da seguinte forma

$$\tilde{x}^I = \{x | x = \underline{x} + (\overline{x} - \underline{x}) \cdot \lambda \text{ onde, } 0 \leq \lambda \leq 1\}. \quad (4)$$

Os três parâmetros  $\underline{x}$ ,  $\overline{x}$  e  $\lambda$  são necessários para lidar com a dependência. Estritamente falando, em (4), os números  $\underline{x}$  e  $\overline{x}$  são dados e são considerados como parâmetros, enquanto que  $\lambda$  é a variável, que é restrita entre 0 e 1. Ou seja,  $x$  é uma função de  $\lambda$ , com parâmetros  $\underline{x}$  e  $\overline{x}$ .

Neste contexto, as operações algébricas são definidas da seguinte forma, sejam  $\tilde{x}^I = [\underline{x}, \overline{x}]$  e  $\tilde{y}^I = [\underline{y}, \overline{y}]$  dois números intervalares, assim:

$$\tilde{z}^I = \tilde{x} \circ \tilde{y} = \{z | z = x \circ y, \text{ para todo } \underline{x} \leq x \leq \overline{x} \text{ e } \underline{y} \leq y \leq \overline{y}\} = [\underline{z}, \overline{z}],$$

com

$$\tilde{z}^I = \tilde{x} \circ \tilde{x} = \{z | z = x \circ x, \text{ para todo } \underline{x} \leq x \leq \overline{x}\} = [\underline{z}, \overline{z}],$$

onde

$$\underline{z} = \min z, \quad \overline{z} = \max z \text{ e} \\ \circ \in \{+, -, \times, \div\}.$$

Desde que, todas as operações são contínuas, e contando que a divisão por zero é anulada, a minimização e maximização estão bem definidas, atingindo o resultado de  $\tilde{z}^I$  em termos de um intervalo.

Os cálculos para a minimizar e a maximizar estão associados com adição e subtração dos intervalos, levando em consideração a restrição de  $\lambda$  em  $0 \leq \lambda \leq 1$ , para cada um dos intervalos considerados ( $\lambda$  distintos para cada um dos números intervalares) . Para maiores informações sobre a aritmética intervalar restritas pode-se consultar [2].

Na próxima seção será apresentado como exemplo um problema de controle ótimo quadrático linear, onde a teoria de aritmética intervalar restrita será aplicada.

## 4 Exemplo

Para ilustrar as metodológicas apresentadas anteriormente considere o seguinte problema de controle ótimo quadrático linear, com condição inicial intervalar:

$$\begin{aligned} \max &= -\frac{1}{2} \int_0^1 (x^2(t) + u^2(t)) dt \\ \text{sujeito a :} & \\ x'(u; t) &= u(t) \\ \tilde{x}(u; 0) &= [0, 1] \end{aligned} \tag{5}$$

Primeiramente, analisaremos do problema clássico de (5) , ou seja, apresentaremos a resolução do problema quando a condição inicial assume valores reais entre 0 e 1. Posteriormente, apresentaremos a solução para o problema quando a condição inicial é intervalar, utilizando a metodologia apresentada neste trabalho.

1. Considerando o problema (5) com condição inicial não intervalar.  
A Hamiltoniana deste problema é a seguinte:

$$H(x, u, \lambda, t) = -\frac{1}{2} (x(t)^2 + u(t)^2) + \lambda(t)u(t)$$

onde  $\lambda(t)$  é a variável de co-estado. Consequentemente, obtém-se as seguintes equações, para o estado e o co-estado, quando  $x(0) = 1$  e  $\lambda(1) = 0$ :

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{1}{1+e^2} e^t + \frac{e^2}{1+e^2} e^{-t} \\ \lambda(t) &= \frac{1}{1+e^2} e^t - \frac{e^2}{1+e^2} e^{-t} \end{aligned}$$

Na figura (1) apresenta-se a resolução da equação de estado, quando a condição inicial é 1.

2. Agora, consideremos o caso em a condição inicial é intervalar,  $x(0) = [0, 1]$ .  
Para este problema,

$$A = [0], B = [1], Q = -\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}, R = -\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}.$$

Neste caso, tem-se que:

$$\begin{aligned} x(t) &= e^{0 \cdot t} [0, 1] + \int_0^1 K(r, t) x(r) dr \\ &= [0, 1] + \int_0^1 K(r, t) x(r) dr, \end{aligned}$$

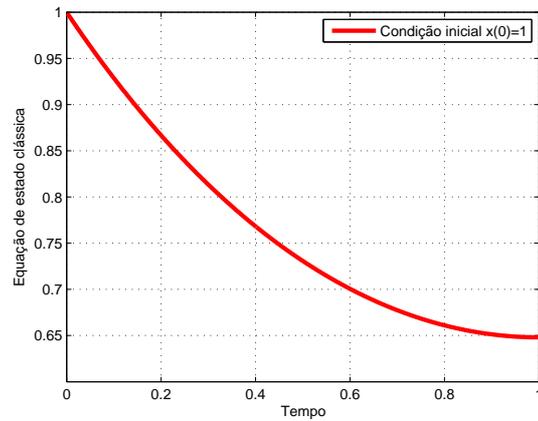


Figura 1. Equação de estado clássica quando  $x(0) = 1$

e

$$K(r, t) = \begin{cases} -r & \text{for } 0 \leq r \leq t \leq 1 \\ -t & \text{for } 0 \leq t < r \leq 1 \end{cases} .$$

Uma análise gráfica da função  $K(r, t)$  definida em  $[0, 1] \times [0, 1]$  é apresentada na figura (2).

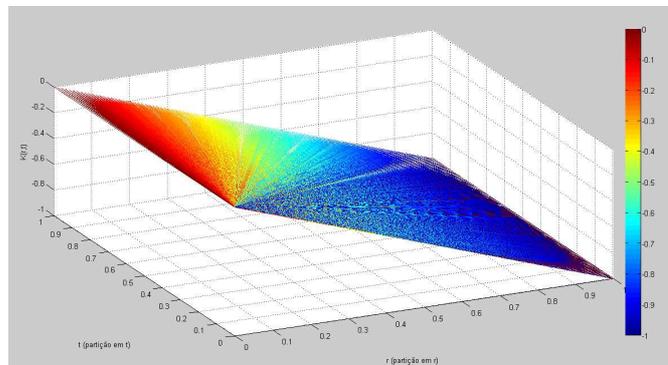


Figura 2. A função  $K(r, t)$  para  $r, t = 0, 0.1, 0.2, \dots, 0.9, 1$

Uma vez que, tem-se um sistema linear intervalar a ser resolvido, o conceito de aritmética intervalar será aplicado no intervalo  $[0, 1]$ . Logo,

$$[0, 1] = \{x | x = 0 + 1 \cdot \lambda = \lambda, \text{ com } 0 \leq \lambda \leq 1\}.$$

Conseqüentemente, o sistema intervalar linear correspondente é o seguinte:

$$\begin{pmatrix} (1 - K(0, 0)\frac{1}{n}) & -K(\frac{1}{n}, 0)\frac{1}{n} & \cdots & -K(1, 0)\frac{1}{n} \\ -K(0, \frac{1}{n})\frac{1}{n} & (1 - K(\frac{1}{n}, \frac{1}{n})\frac{1}{n}) & \cdots & -K(1, \frac{1}{n})\frac{1}{n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -K(0, 1)\frac{1}{n} & -K(\frac{1}{n}, 1)\frac{1}{n} & \cdots & (1 - K(1, 1)\frac{1}{n}) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x(0) \\ x(\frac{1}{n}) \\ \vdots \\ x(1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda \\ \lambda \\ \vdots \\ \lambda \end{pmatrix} \quad (6)$$

Para a resolução deste sistema foram feitas simulações utilizando o MATLAB 7.9. Inicialmente, será exposta a simulação para  $n = 4$ , para melhor exemplificar a técnica e posteriormente os resultados para valores de  $n$ , com  $n$  significativamente grande.

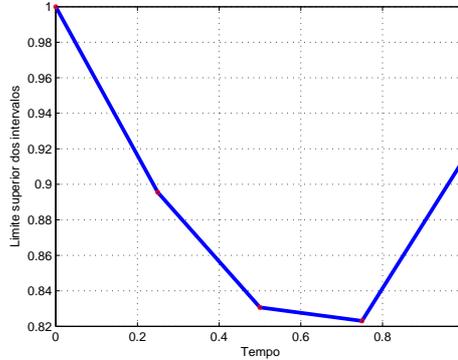
□ Para  $n = 4$ , o sistema resultante, (6), é o seguinte:

$$\begin{pmatrix} 1.0000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9375 & 0.0625 & 0.0625 & 0.0625 \\ 0 & 0.0625 & 0.8750 & 0.1250 & 0.1250 \\ 0 & 0.0625 & 0.1250 & 0.8125 & 0.1875 \\ 0 & 0.0625 & 0.1250 & 0.1875 & 0.7500 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x(0) \\ x(\frac{1}{4}) \\ x(\frac{2}{4}) \\ x(\frac{3}{4}) \\ x(1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda \\ \lambda \\ \lambda \\ \lambda \\ \lambda \end{pmatrix}.$$

Como  $0 \leq \lambda \leq 1$  tem-se o seguinte resultado:

$$\begin{pmatrix} x(0) \\ x(\frac{1}{4}) \\ x(\frac{2}{4}) \\ x(\frac{3}{4}) \\ x(1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} [0, 1.0000] \\ [0, 0.8955] \\ [0, 0.8307] \\ [0, 0.8231] \\ [0, 0.9145] \end{pmatrix}.$$

Na figura (3) apresentamos a dinâmica dos intervalos, sendo que essa mostra os limites superiores de cada um dos intervalos em cada interação. Os limites inferiores são sempre zeros.



**Figura 3.** Resultado do sistema linear intervalar para  $n = 4$ .

□ Para o valor de  $n$  igual a 10, 20 e 100, o resultado está exposto na figura (4), onde podemos observar que conforme os valores de  $n$  crescem os limites superiores dos intervalos vão se aproximando da solução clássica, consequentemente, a solução do sistema linear intervalar contém a solução clássica do problema.

□ Para valor de  $n$  igual a 1500, o resultado está apresentado na figura (5).

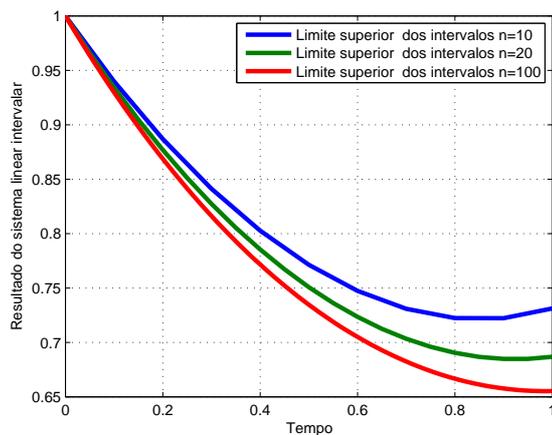


Figura 4. Resultado do sistema linear intervalar para vários valores de  $n$

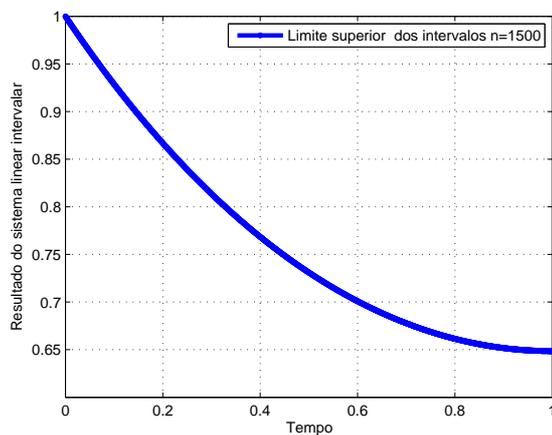


Figura 5. Resultado do sistema linear intervalar para  $n = 1500$ .

## 5 Conclusão

A técnica de transformar a equação integral intervalar em um sistema linear intervalar, resultou-se em um boa aproximação para a solução do problema. Tomando o processo de resolução bem mais simples, uma vez que, ao invés de resolver uma integral, tem-se que resolver um sistema linear. Posteriormente, o nosso propósito é considerar está abordagem para problemas com incerteza no modelo.

## 6 Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro da FAPESP e do CNPq.

## Referências

1. LODWICK, W. A. "Two numerical methods for the solutions of optimal control problems with computed error bounds using the maximum principle of Pontryagin," *PhD Thesis - Oregon State University, Department of Mathematics*, June, 1980.
2. LODWICK, W. A. "Constrained Interval Arithmetic". *CCM Report*, v. 138, 1999.
3. MOORE, R. E. and KEARFOTT, M. J. C. "Introduction to interval analysis". *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 2009.

# Estratégia de controle Fuzzy aplicada a um protótipo didático de pêndulo simples

**Fábio Araujo de Lima (1); Regina Lúcia Nunes (1); Raphael Maciel de Sousa (1);**

(1) Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus de Cajazeiras, José Antonio da Silva, s/nº, Jardim Oásis - CEP 58900-000, Cajazeiras, PB

E-mail: rlucianunes@gmail.com, raphaellmsousa@gmail.com, fabioarsp@gmail.com

## RESUMO

Um pêndulo convencional ideal é formado por uma partícula suspensa por um fio inextensível e de massa desprezível. Quando afastado de sua posição de equilíbrio e é solto, o pêndulo oscilará em um plano sob a ação da gravidade, onde o movimento é dito periódico e oscilatório, sendo possível determinar o período do movimento resultante.

Este trabalho propõe o controle de angulação de um protótipo didático de um sistema com pêndulo simples através da implementação de um controlador fuzzy aplicado a um microcontrolador, partindo do princípio de que o protótipo proposto é de modelagem matemática relativamente complexa, o que dificulta a aplicação de técnicas de controle clássicas, que dependem da exatidão do modelo matemático.

A regulação angular é conseguida através do acionamento de um conjunto motor hélice, que ao ser acionado, impulsiona a haste móvel, ocasionando o deslocamento angular em relação à haste fixa. Um potenciômetro é utilizado como elemento sensor para medir o deslocamento. A tensão medida no potenciômetro é proporcional ao ângulo, essa tensão é informada ao hardware de controle, que regula a velocidade do motor de modo que a posição angular idealmente seja igual a referência.

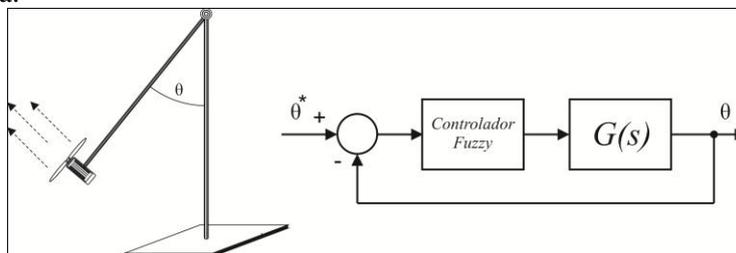


Figura 1: Esquema do protótipo desenvolvido

Na figura 1 pode ser observado o esquema do protótipo a ser regulado, composto pelo pêndulo e malha de regulação. O objetivo principal é fornecer um ângulo de referência ( $\theta^*$ ) ao hardware de controle, de tal forma que o pêndulo, impulsionado pelo conjunto motor hélice, deslocará a haste até o ângulo  $\theta$ , minimizando o erro em regime permanente ( $e(\infty) = \theta^* - \theta \rightarrow 0$ ). Para tanto, é utilizado um algoritmo de regulação baseado em lógica Fuzzy, o bloco  $G(s)$  representa o modelo matemático do sistema com o pêndulo.

O hardware de controle é composto por um microcontrolador PIC18F4550, que possui entre outras características, capacidade de comunicação USB, possibilitando a comunicação entre um microcomputador (opcional) e a estrutura de controle desenvolvida. Optou-se pela utilização do microcontrolador principalmente por visar o baixo custo e a simples implementação na construção do protótipo.

Diversas estratégias de controle clássicas podem ser empregadas para regulação deste protótipo, como o controlador proporcional integral e derivativo (PID). Porém, para a aplicação destas técnicas convencionais, é necessário obter um modelo matemático que represente o comportamento dinâmico da estrutura. Uma alternativa de regulação emprega o controlador fuzzy. Nesta técnica, não é necessário o uso de modelo matemático, visto que o esquema de controle é baseado em um conjunto de regras que dependem do conhecimento prático de operação da planta. A tabela 1, mostra a base de regras, SE-ENTÃO, para o controlador.

**Tabela 1: Base de Regras do Controlador**

| Erro/Varição | DEN   | DEZ   | DEP   |
|--------------|-------|-------|-------|
| ENG          | PWMP  | PWMP  | PWMPP |
| EN           | PWMP  | PWMPP | PWMPP |
| ENP          | PWMPP | PWMPP | PWMPP |
| EZ           | PWMPP | PWMZ  | PWMNP |
| EPP          | PWMNP | PWMNP | PWMNP |
| EP           | PWMNP | PWMNP | PWMN  |
| EPG          | PWMNP | PWMN  | PWMN  |

\* Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/CNPq

Para o desenvolvimento do controlador fuzzy considera-se que o pêndulo irá trabalhar numa faixa de 0 a 80 graus (Variável de entrada ÂNGULO), essa faixa é limitada por questões práticas do protótipo em estudo, considera-se que o ângulo de 0 graus equivale a  $\theta = 0$  (figura 1) e o máximo de variação equivale a  $\theta = 80$ . Uma outra entrada chamada de variação de erro também foi inserida, isso devido ao fato do comportamento do sistema ser semelhante ao de um derivador natural, onde a partir do momento em que se cancela o envio de sinal o erro tende ao infinito. É possível observar através da figura 2 a disposição das funções de pertinência para as entradas “ÂNGULO” e “VARIAÇÃO DO ÂNGULO”.

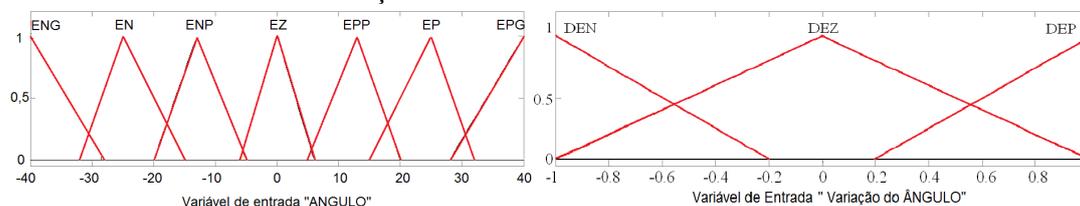


Figura 2: Entradas do controlador fuzzy

O sistema de controle proposto deverá calcular um valor de dutycycle que determinará a modulação por largura de pulso (PWM), que na prática, irá fornecer os tempos de condução das chaves de potência, conseqüentemente, variando a tensão média aplicada no motor CC. A saída do controlador foi baseada em possíveis valores de dutycycle que devem ser gerados pelas combinações das entradas para a obtenção do controle do processo (considerando um sistema desenvolvido em regras e o método proposto por Mamdani) a dinâmica do sistema possui duas características, uma delas é a elevação de tensão no motor para sair de um ângulo menor para um maior enquanto a outra é a diminuição da tensão de saída (variável controlada), para movimentação de um ângulo maior para um menor, a referência é fixa e os valores desejados são dados via teclado.

A figura 3 mostra a disposição das funções de pertinência para a saída do controlador.

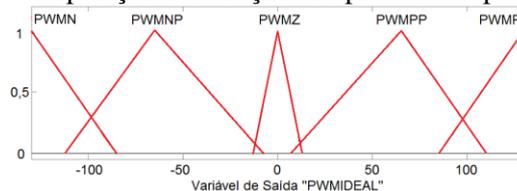


Figura 3: Saídas do Controlador Fuzzy

Este trabalho apresenta uma proposta de abordagem de controle inteligente, baseado em lógica fuzzy, aplicado a um protótipo de pêndulo simples. Esta estratégia é baseada no conhecimento prático de operação da planta e dispensa a necessidade de um modelo matemático que represente a dinâmica da planta. A estrutura de controle é baseada em um microcontrolador PIC18F4550, que executa o algoritmo de controle desenvolvido em linguagem C. O algoritmo calcula a modulação por largura de pulso necessária para que o sistema de potência aplique uma tensão média no motor de corrente contínua, girando a hélice que impulsiona a haste móvel do pêndulo até o ângulo desejado.

**Palavras-chave:** *protótipo, pêndulo, Lógica Fuzzy.*

## Referências

- [1] LIMA, F. A. de. **Sistema automatizado para o aproveitamento de água cinza e azul, com controle de ph utilizando lógica fuzzy**, *dissertação de mestrado* p. 25, Natal, 2011.
- [2] Prataveira, Manoel Batista & Dietrich Schiel, **Pêndulo Simples**. Universidade de São Paulo. Instituto de Física de São Carlos, 2001.
- [3] MENEGHETTI F., **Controle Inteligente**. Departamento de Engenharia de Computação e Automação, 2004.
- [4] NASCIMENTO JR., C.L. e YONEYAMA, T. **Inteligência Artificial em Controle e Automação**. Edgard Blücher, 2000.
- [5] SHAW, I. e SIMÕES, M.G. **Controle e Modelagem Fuzzy**, Edgard Blücher, 1999.

# IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLE DE NÍVEL COM LÓGICA FUZZY APLICADA AO ARDUÍNO

**Fábio Araujo de Lima (1); Francisco Jaime Pereira Martins (1); José Kléber C. Oliveira**

(1) Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus de Cajazeiras, José Antonio da Silva, s/nº, Jardim Oásis - CEP 58900-000, Cajazeiras, PB  
E-mail: fabioarsp@gmail.com; jaime\_fjpm@hotmail.com; jkleber2010@gmail.com

## RESUMO

O Arduíno é um dispositivo desenvolvido com base em um microcontrolador, que tem por objetivo facilitar aplicações de automação diversas, com uma linguagem de programação simplificada e diversas entradas e saídas tanto digitais quanto analógicas. O mesmo é mundialmente conhecido pelo fato de ser uma plataforma de livre acesso.

O objetivo principal deste trabalho é utilizar o arduíno em uma aplicação de controle de nível de um tanque com a implementação de lógica fuzzy, para aplicações didáticas.

O Controlador Fuzzy é um sistema especialista simplificado onde a consequência de uma regra não é aplicada como antecedente de outra.

Para o desenvolvimento de um Controlador fuzzy é necessário que o projetista compreenda as imprecisões e incertezas que ocorrem em processos de plantas industriais. E como elas afetam as aplicações usuais da teoria de controle moderno, possibilitando a aferição da relevância e confiabilidade dos resultados obtidos através da aplicação da teoria da lógica fuzzy.

A estrutura do controlador fuzzy que será utilizada neste trabalho corresponde a um controlador fuzzy baseado em regras. Nesse tipo de controlador deve-se construir um sistema de regras de inferência fuzzy baseado em premissas e consequências.

O protótipo desenvolvido é composto de dois tanques (um que funciona como um alimentador e outro no qual será aplicado o controle de nível), um motor bomba (12V, 3,5A) conectado ao tanque de alimentação, um sensor de ultrassom e um arduíno.

O funcionamento da planta ocorre da seguinte maneira:

Os dois tanques são dispostos de maneira que o tanque a ser controlado, é conectado ao de alimentação, através de uma mangueira de 3/4mm. Enquanto, o reservatório de alimentação, possui um motor bomba (atuador do processo), que envia o fluido (água) para o reservatório a ser controlado, ao receber o sinal de controle.

O sinal de controle (PWM – Modulação por Largura de Pulso) é repassado ao atuador pelo microcontrolador, que possui um programa no qual a lógica fuzzy foi implementada para controlá-lo.

Um sensor ultrassom envia para o arduíno a leitura correspondente aos valores de tensão que no programa corresponde aos valores de nível aos quais se deseja chegar.

A conexão entre os reservatórios que é feita pela mangueira, serve como uma perturbação para o sistema, já que, a partir do momento em que o atuador deixa de funcionar, o nível do tanque a ser controlado deve ser nulo.

Para a obtenção do nível desejado, é enviado via teclado por um computador o valor que se quer obter. O reservatório possui 600ml, e qualquer valor limitado entre 0ml e 600ml pode ser alcançado, o arduíno recebe e envia os dados necessários a partir de comunicação USB.

Esse tipo de processo tem duas dinâmicas bem diferentes:

- Uma dinâmica do processo é definida quando é enviado um sinal de controle para o motor bomba com o objetivo de encher o reservatório.
- A outra dinâmica se refere quando o motor-bomba é acionado para retirar água do tanque, até que se atinja o nível desejado.

Tal comportamento se caracteriza por um processo não linear, pois, a planta não pode ser expressa por apenas uma função de transferência, para todos os modos de operação.



Figura 1. Sistema de Tanques a ser Controlado

A partir do sistema de tanques representado na figura 1 e tendo utilizado o modelo proposto por Mandani, foi desenvolvido o sistema de controle. Com o controle de nível na referência desejada, foram indicadas nas entradas do controlador duas possíveis variáveis, sendo uma denominada de ERRO e a outra de DERIVADA DO ERRO. Essas entradas são compostas de funções de pertinência triangulares. Como mostra a figura 2.

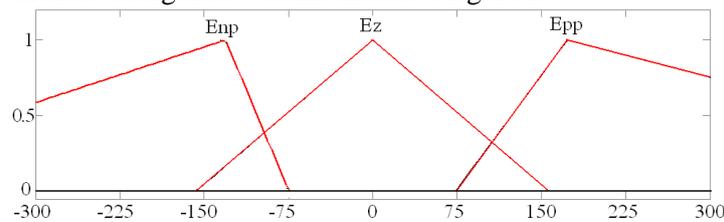


Figura 2: Variável de Entrada (Erro)

Com os valores de entradas e saídas definidos para o bom desempenho do controlador, o operador define quais as melhores combinações de valores que relacionam entradas e saídas para que se possa obter a referência desejada. Já a variável DERIVADA DO ERRO, ou seja, variação do erro é identificada por três funções de pertinência denominadas: DEN (Derivada de Erro Negativo), DEZ (Derivada Zero) e DEP (Derivada de Erro Positivo). Conforme mostra a figura 3. As saídas também são definidas por variáveis linguísticas, onde o valor varia de -127 a 127, considerando esses valores de saída como os possíveis valores de PWM que serão repassados ao motor-bomba.

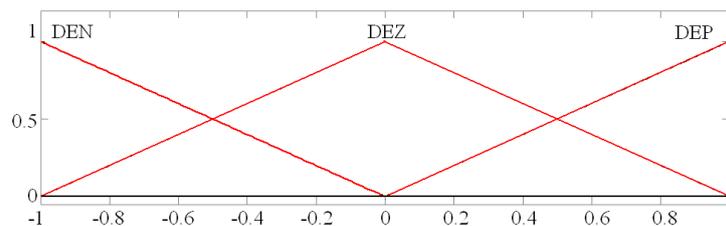


Figura 3: Variável de Entrada (Derivada do Erro)

**Palavras-chave:** *Controlador Fuzzy, Arduino, Controle de Nível.*

## Referências

- [1] MENEGHETTI F., **Controle Inteligente**. Departamento de Engenharia de Computação e Automação, 2004.
- [2] NASCIMENTO JR., C.L. e YONEYAMA, T. **Inteligência Artificial em Controle e Automação**. Edgard Blücher, 2000.
- [3] SHAW, I. e SIMÕES, M.G. **Controle e Modelagem Fuzzy**, Edgard Blücher, 1999.
- [4] SCHMIDT, Alvaro Maciel. **Controle de Nível de Líquido Utilizando Controlador Lógico Programável**. 2008. 35 f. Dissertação (Mestrado) - Ufop, Ouro Preto, 2008.
- [5] SIMÕES, Marcelo G.; SHAW, Lan. **Controle e Modelagem Fuzzy**. São Paulo: Edgard & Blucher, 1999.
- [6] LIMA, F. A. de. **Sistema automatizado para o aproveitamento de água cinza e azul, com controle de ph utilizando lógica fuzzy**, dissertação p. 25, Natal, 2011.

# Uma abordagem *fuzzy* para tomada de decisão do mercado financeiro

Magda da Silva Peixoto<sup>1</sup>, Daniel Medeiros da Silva<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos – UFSCar/*Campus* Sorocaba  
Rodovia João Leme dos Santos, Km 110  
18052-780, Sorocaba/SP – Brasil  
[magda@ufscar.br](mailto:magda@ufscar.br), [silvamedeiros@hotmail.com.br](mailto:silvamedeiros@hotmail.com.br)

**Resumo.** O mercado de futuros é caracterizado pela intensa variação de valores de suas ações. A volatilidade gerada por especulações geram no mercado a relação de benefício e risco. Algumas pesquisas em finanças comportamentais e neuroeconomia tem mostrado que a compra de uma ação não só depende da relação de benefício e risco, mas também da confiabilidade. O valor da confiabilidade depende dos investimentos anteriores e de outros fatores, tais como: Variação de preço, Humor de mercado (euforia, alegria, ansiedade e pânico) e fatores externos políticos e econômicos. Esse trabalho propõe um sistema baseado de regras *fuzzy* para encontrar o valor da confiabilidade a partir do estudo de [3], sendo variação de preço, humor de mercado e fatores externos as variáveis de entrada do sistema. Tal modelo fornece um valor de confiabilidade que permite ao investidor tomar decisões, podendo efetuar uma compra, venda ou manter a ação.

**Palavras-chave:** conjuntos *fuzzy*, mercado financeiro, tomada de decisão.

## 1 Introdução

O mercado de futuros é caracterizado pela intensa variação de valores de suas ações. Essa variação é causada devido aos investidores que provocam os desvios dos preços nesse mercado. Uma superestimação conduz a um crescimento injusto do valor dos índices, por sua vez o pessimismo gera um decréscimo dos valores o que induz a um momento ou período de crise. Esse comportamento do mercado entra em conflito com os modelos acadêmicos desenvolvidos, tais como a Teoria da eficiência do mercado, Teoria moderna de Portfólio, etc. (Block and Hirt, 2000; Melicher and Norton, 2007), onde não conseguem modelar a oscilação dos preços das ações (Rocha, 2010).

Seymour e McClure (2008) mostram que as pessoas são capazes de manipular as expectativas e avaliações de preços no valor das ações. O valor de fechamento de uma ação seria avaliado em relação aos preços propostos de compra e venda. Em um dia de pregão um vendedor espera obter um preço para que possa vender a ação e juntamente um comprador espera obter um preço menor para que possa comprar ação e então utilizam esses valores para convergir ou não a um preço final. Outro fator comum que influencia no preço da ação é o valor da ação no fechamento anterior, que é tomado como referência para estimar os valores de compra e venda no próximo pregão (Rocha, 2010).

A volatilidade gerada por essas especulações geram no mercado a relação risco e benefício. Quanto maior o risco disposto de uma ação maior é o lucro obtido. No cotidiano das pessoas o risco está associado às perdas, porém, no mercado podemos associar o risco com a probabilidade de termos um retorno diferente podendo ser positivo ou negativo. Para alguns operadores o risco pode ser classificado como alto e outros podem classificar esse risco como aceitável. Esse tipo de comportamento em um mercado faz com que a volatilidade de uma ação aumente e então a tomada de decisão pelo risco e benefício é analisada através de alguns parâmetros.

Algumas pesquisas em finanças comportamentais e neuroeconomia têm mostrado que a compra de uma ação não só depende da relação de benefício e risco, mas também da confiabilidade. O valor da confiabilidade depende dos investimentos anteriores e de outros fatores, tais como: Variação de preço, Humor de mercado (euforia, alegria, ansiedade e pânico) e fatores externos políticos e econômicos.

A neuroeconomia surgiu com o objetivo de conhecer e entender a dinâmica da tomada de decisão em situações críticas e normais e então buscar mecanismos neurais envolvidos nas análises de risco e benefício. A neuroeconomia tem coletado evidências de que os investidores desrespeitam muito os preceitos da hipótese de mercado, pois os investidores nem sempre são racionais nas suas decisões financeiras, isto é, não maximizam a utilidade da aplicação financeira. A influência da emoção na tomada de decisão tem sido usada para explicar esse desvio da otimização. Rocha et al (2010) desenvolveu um modelo neuroeconômico para modelar o pregão, que tem sido capaz de descrever adequadamente a variação dos índices em cerca de 20 bolsas estudadas. Neste contexto neuroeconômico o que importa não é o lucro obtido no tempo esperado, mas sim a avaliação de recompensa associada ao lucro. Analogamente, o que importa não é o prejuízo ou seu custo financeiro, mais sim, a percepção associada ao custo financeiro (Rocha, 2011).

Esse trabalho propõe um sistema baseado de regras *fuzzy* para encontrar o valor da confiabilidade e simular o pregão da bolsa, sendo variação do preço, humor de mercado e fatores externos as variáveis de entrada do sistema. Tal modelo fornece um valor de confiabilidade que permite ao investidor tomar decisões, podendo comprar, vender ou manter a ação. Assim, podemos aproximar a precisão da matemática clássica e a imprecisão do mundo real. Um sistema baseado em regras *fuzzy* é válido por utilizar figuras de linguagem e então demonstrar relações que podem ser complexas ou são insuficientemente entendidas para serem descritas em modelos matemáticos. Em suma, a Teoria *Fuzzy* permite ensinar um computador a simular pensamentos imprevistos (Barros e Bassanezi, 2006).

## 2 Conceitos e Definições

Um sistema baseado em regras *fuzzy* é válido por utilizar figuras de linguagem e então demonstrar relações que podem ser complexas ou são insuficientemente entendidas para serem descritas em modelos matemáticos.

Diferentemente da lógica clássica, onde trabalha com atribuição de valores 0 ou 1 a cada elemento do conjunto universo nos conjuntos *fuzzy* a transição entre os extremos, se dá de forma gradual, associando valores de um conjunto não contável, entre 0 e 1, aos elementos do conjunto universo.

Através da função de pertinência podemos associar a um grau de pertinência a cada elemento de um determinado conjunto universo  $U$ . Podemos indicar uma função de

pertinência de um subconjunto *fuzzy*  $F$  em um conjunto  $U$  como sendo:

$$\mu: F \rightarrow [0,1]$$

Um conjunto *fuzzy* sempre é definido por sua função de pertinência  $\mu$ , podemos representá-lo por:

$$F = \{ \langle x, \mu(x) \rangle / x \in U \}$$

A estrutura de um sistema baseado em regras *fuzzy* possui quatro componentes básicos principais ([1]):

1 – Um fuzzificador, que tem função de traduzir a informação de entrada em conjuntos *fuzzy*. Cada variável de entrada são atribuídos termos linguísticos e a cada termo linguístico é associado a um conjunto *fuzzy* traduzido por uma função de pertinência.

2 – Uma base de regras, que são os conjuntos de preposições do tipo “se... então”, definidas por um especialista, onde as regras são de suma importância para o estabelecimento das relações entre as variáveis linguísticas

3 – Um método de inferência onde a proposição é traduzida matematicamente fornecendo a saída *fuzzy*. O método de inferência que utilizamos é o de Mamdani que agrega as regras por meio do operador lógico OU, modelado pelo operador máximo e, em cada regra, os operadores lógicos E e ENTÃO são modelados pelo operador mínimo [1].

4 – Um processador de saída (defuzzificador) traduzindo a saída *fuzzy* para um valor numérico. O método de defuzzificação adotado nesse artigo é o do Centro de Gravidade [12]. A figura 1 ilustra um sistema baseado em regras *fuzzy*

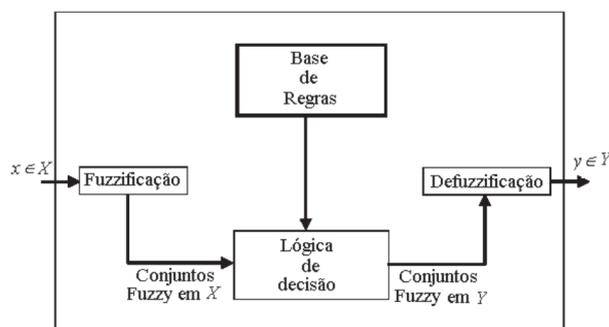


Fig. 1. Estrutura básica de um sistema baseado em regras *fuzzy* [12]

### 3 Formulação do Modelo *Fuzzy*

Inicialmente foi realizado o estudo do comportamento do mercado de futuros envolvendo a bolsa de valores baseado no trabalho de Rocha et al (2010) com a finalidade de verificar quais os métodos utilizados por Rocha et al (2010) para simular o pregão da bolsa de valores. Em [18] observamos que a adequação de um investimento, isto é, a compra de uma ação não só depende da relação de benefício e

risco, mas também da confiabilidade do comportamento de mercado em relação à ação. De tal modo que:

- A) Se a percepção de benefício for muito maior que a de risco, então a adequação de investimento tende a confiabilidade.
- B) Se a percepção de risco for muito maior que a de benefício então a adequação de investimento tende a zero.

Alem disso:

- C) Se a confiabilidade tende a zero então a adequação do investimento tende a zero.
- D) Se a confiabilidade tende a um então a adequação do investimento tende a um.

Dessa forma viu-se a importância de utilizarmos a confiabilidade como um parâmetro para o investidor tomar uma decisão. Observamos também a relação de figuras de linguagem do tipo “Se ... então...” entre a adequação do investimento e a confiabilidade. Essa abordagem serviu como principal base para o estudo desse trabalho.

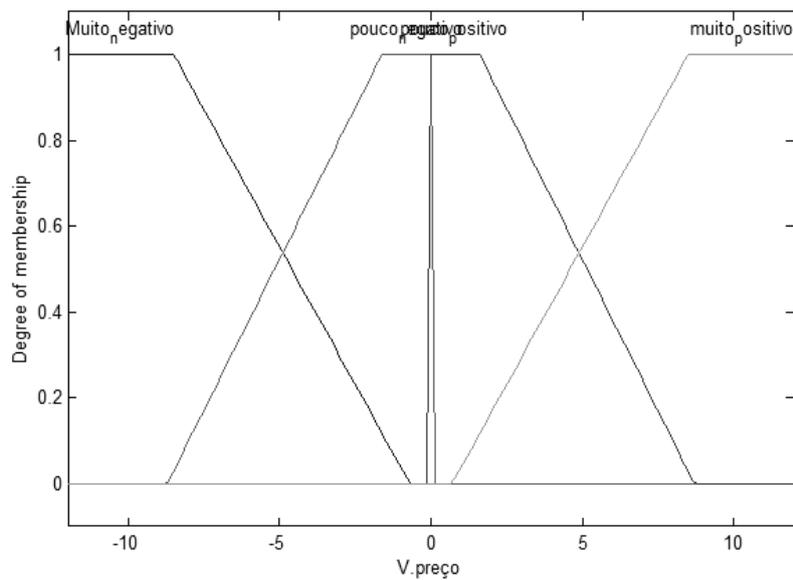
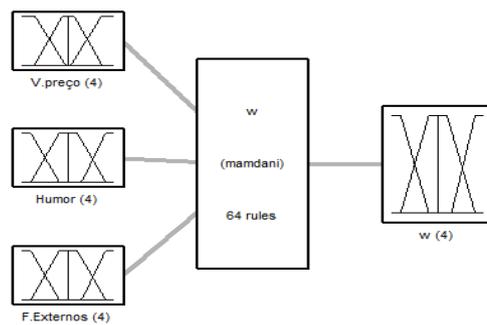
Tal valor de confiabilidade ( $P_{ação}(t)$ ) depende dos investimentos anteriores de determinada ação, e depende também de outros fatores ( $W_k$ ) como: a variação do preço da ação, humor (euforia, alegria, ansiedade ou pânico) e fatores externos como decisões políticas e econômicas. Do estudo de [18] temos a expressão de confiabilidade:

$$P_{ação}(t) = \left(1 + \sum_{k=1}^n w_k\right) P_{ação}(t-1) \quad (1)$$

Onde  $n$  é o número de fatores influenciando a confiabilidade ( $P_{ação}(t)$ ). Fatores para os quais  $W_k > 0$  descrevem situações de otimismo e aumentam a confiabilidade, enquanto que fatores para os quais  $W_k < 0$  descrevem situações pessimistas e diminuem a confiabilidade.

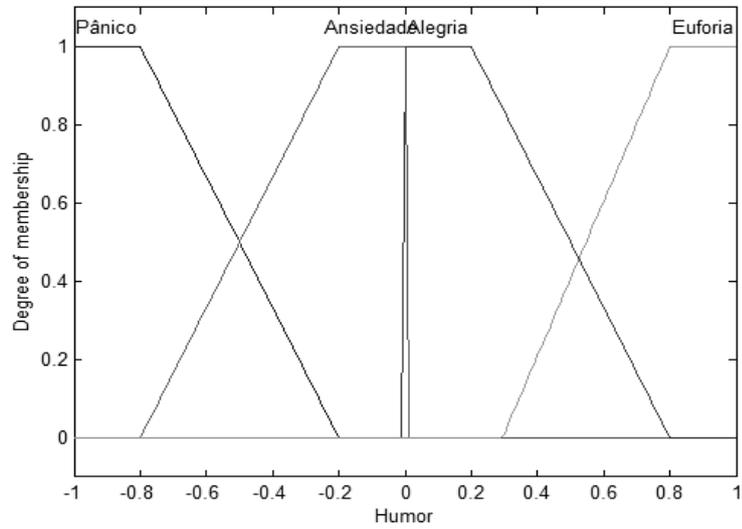
A seguir fez-se um estudo dos conceitos básicos da Teoria de Conjuntos *Fuzzy* utilizando [8] para o desenvolvimento de modelo baseado em regras *fuzzy* com a finalidade de obtermos o valor dos fatores  $W_k$ . A partir desse estudo foi determinado como variáveis de entrada do modelo a variação do preço, humor e fatores externos, e variável de saída o fator  $W_k$ . Utilizando a ferramenta *Toolbox Fuzzy*, realizamos as simulações computacionais do modelo baseado em sistemas de regras *fuzzy* adicionando as variáveis de entrada. A variação do preço foi definida no intervalo [-12,12]. Esse domínio foi determinado a partir do histórico de preços da ação PETR4.SA do ano 2008 a 2012 [24]. Classificamos a variação do preço da ação como sendo: Muito negativa, pouco negativa, pouco positiva e muito positiva. A segunda variável de entrada é o humor do mercado definido entre [-1, 1] e foi classificado como: Pânico, ansiedade, alegria e euforia. E por fim a variável de entrada Fatores externos que é definida no intervalo [-1,1] e foi classificada como: Muito negativa, pouco negativa, pouco positiva e muito positiva. A variável de saída  $W_k$ , de acordo com [18] está definida no intervalo [-1,1] e foi classificada como: pessimista, pouco pessimista, pouco otimista e otimista. Todos os conjuntos *fuzzy*

foram do tipo trapezoidal. Uma sistematização desse conteúdo é apresentada nas figuras 2 a 6.

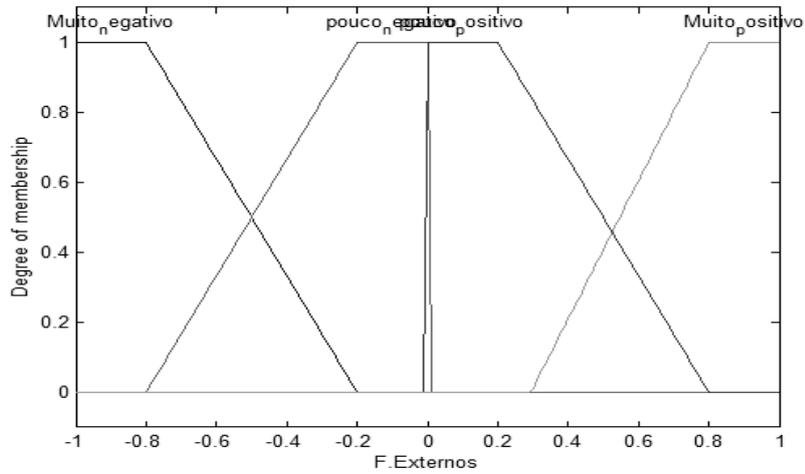


**Fig. 2.** Resumo do sistema de controle *fuzzy*

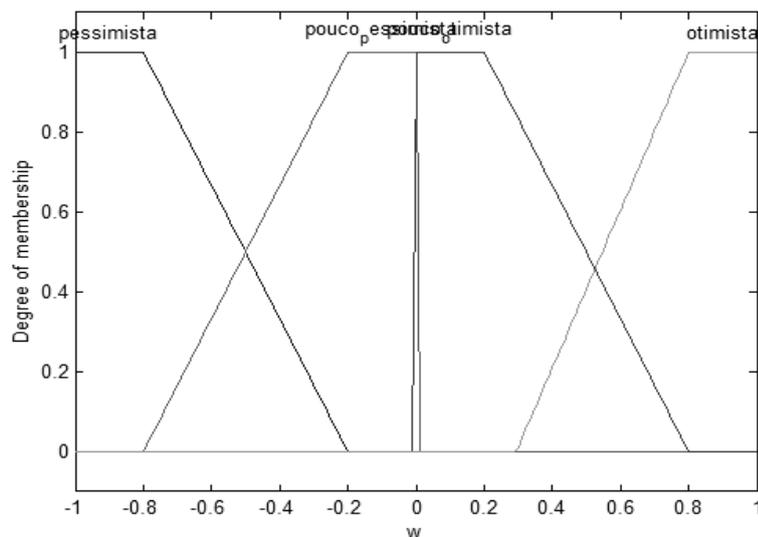
**Fig. 3.** Função de pertinência associada à primeira variável de entrada (Variação do preço).



**Fig. 4.** Função de pertinência associada à segunda variável de entrada (Humor)



**Fig. 5.** Função de pertinências associada à terceira variável de entrada ( Fatores externos)



**Fig. 6** Função de pertinências associada à variável de saída (W)

A próxima etapa desse processo consistiu no desenvolvimento das regras *fuzzy* do tipo “Se... então”. No componente de inferência *fuzzy*, a proposição será traduzida matematicamente, fornecendo a saída para cada entrada *fuzzy* e a relação definida a partir da base de regras. No total foram desenvolvidas 64 regras *fuzzy* com a ajuda do especialista Prof Dr. Cesar Cruz. Algumas regras elaboradas foram:

1. Se a V. Preço for muito negativa e o humor está em pânico e fatores externos é muito negativo então w é pessimistas
2. Se a V. Preço for muito negativa e o humor está em pânico e fatores externos é pouco negativo então w é pessimista
3. Se a V. Preço for muito negativa e o humor está em pânico e fatores externos é pouco positivo então w é pouco pessimista.
4. Se a V. Preço for muito negativa e o humor está em pânico e fatores externo é muito positiva então w pouco pessimistas.
5. Se a V. Preço for muito negativa e o humor é ansiedade e fatores externos é muito negativo então w é pessimista.

E finalmente foi realizada a etapa de validação do modelo de confiabilidade através de simulações, a fim de testar se o modelo é válido para tomar decisões a partir do resultado obtido. Tal modelo fornece um valor de confiabilidade que permite ao investidor tomar decisões, podendo efetuar uma compra, venda ou manter a ação.

#### 4 Resultados e Conclusões

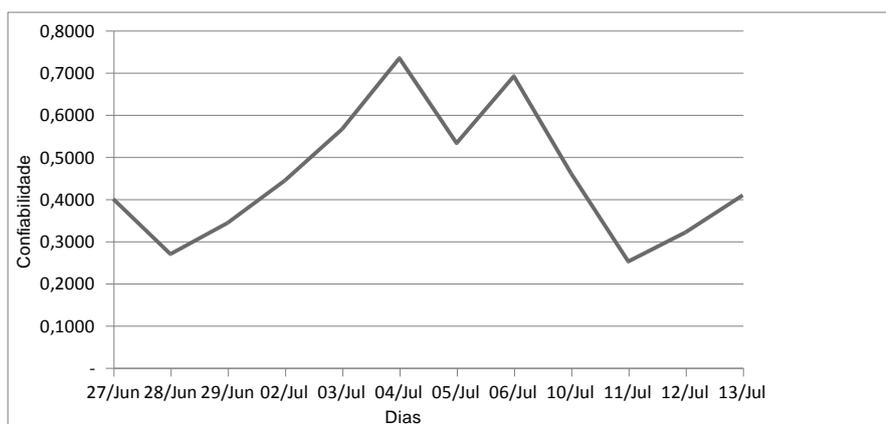
As simulações foram realizadas com a ação PETR4.SA do período de 27 de junho a 13 de julho (Os dias 30/06, 01/07, 07/07, 08/07 e 09/07 não houve pregão). De acordo com [22], o mercado não reage a algumas informações pessimistas e em 95% dos casos o mercado reage algumas informações otimistas, dessa forma, para a simulação, decidimos usar para o humor de mercado e fatores externos o valor de 0.1 como dado de entrada para cada dia de simulação do pregão, o valor inicial de confiabilidade sendo 0.4, e o valor de variação do preço foi obtido no final do pregão de cada dia. O valor inicial de confiabilidade foi escolhido através de um histórico de 10 dias anteriores ao dia inicial da simulação, observando somente a variação do preço e a cotação em cada dia. Tal valor é subjetivo para cada investidor, podendo ser um valor baixo ou médio e pode ser definido dependendo da oscilação da variação do preço da ação. Esses valores nos fornece um novo valor de confiabilidade que será usado pra tomarmos uma decisão para o pregão do dia seguinte. A tabela abaixo contém os resultados e decisões obtidos através da simulação. O valor de confiabilidade gerado no dia 28/06 é obtido através do valor de confiabilidade inicial (0.4) e a variação do preço da ação do dia anterior de acordo com a expressão (1). Dessa forma podemos tomar decisões, efetuando uma compra, venda, ou manter a ação. Ao final de cada pregão obtemos a variação do preço e a cotação da ação que serve como informação para o investidor tomar novas decisões de acordo com o valor de confiabilidade gerado

**Tabela 1.** Decisões tomadas a partir do valor de confiabilidade

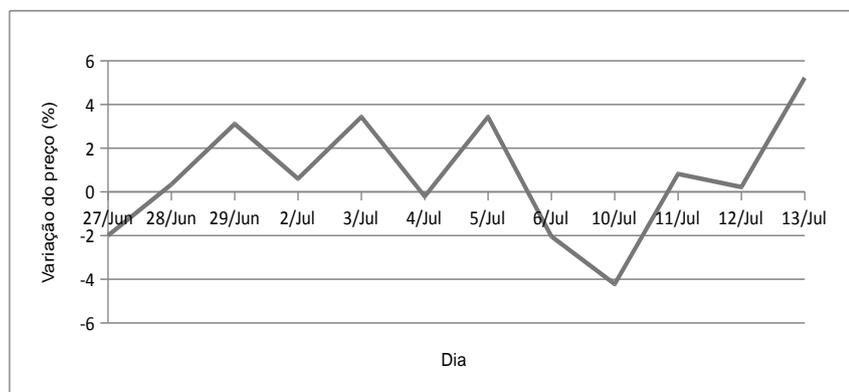
| Data     | Confiabilidade | Decisão | Variação (%) | Cotação (R\$) |
|----------|----------------|---------|--------------|---------------|
| 27/06/12 | 0,4000         | -       | -2,0         | 17,64         |
| 28/06/12 | 0,2694         | Comprar | 0,34         | 17,70         |
| 29/06/12 | 0,3433         | Comprar | 3,11         | 18,25         |
| 02/07/12 | 0,4438         | Manter  | 0,60         | 18,36         |
| 03/07/12 | 0,5656         | Manter  | 3,43         | 18,99         |
| 04/07/12 | 0,7338         | Vender  | -0,21        | 18,95         |
| 05/07/12 | 0,5325         | Manter  | 3,43         | 19,60         |
| 06/07/12 | 0,6909         | Vender  | -2,04        | 19,20         |
| 10/07/12 | 0,4638         | Manter  | -4,22        | 18,39         |
| 11/07/12 | 0,2518         | Comprar | 0,82         | 18,54         |
| 12/07/12 | 0,3209         | Manter  | 0,22         | 18,58         |

|          |        |        |      |       |
|----------|--------|--------|------|-------|
| 13/07/12 | 0,4089 | Manter | 5,22 | 19,55 |
|----------|--------|--------|------|-------|

Graficamente podemos ilustrar os resultados obtidos pela simulação e comparar com os obtidos através dos dados reais.



**Fig. 7.** Gráfico de simulação de confiabilidade em dias



**Fig. 8.** Gráfico da variação (%) do preço da ação em cada dia no período de 27/jun a 13/jul

Apesar do resultado do modelo de confiabilidade ser subjetivo para cada investidor, pelos resultados, observamos que é possível tomar decisões utilizando o modelo aqui proposto tendo como objetivo a sensação de lucro ou recompensa descritos no trabalho de Rocha *et al.* Além do aprendizado proveniente do estudo do sistema baseado em regras *fuzzy*, ao utilizar em um contexto econômico, visamos também o aprendizado e o estudo do comportamento da bolsa de valores, com objetivo de tentar entender a dinâmica financeira do mercado de ações

Com a utilização de um sistema baseado em regras *fuzzy*, viu-se a potencialidade de tal teoria ao modelar um problema de dados qualitativos.

**Agradecimentos.** Ao PIBIC/CNPq pelo auxílio financeiro e ao pesquisado Prof. Dr. José Cesar Cruz Junior (Departamento de Economia/UFSCar-Sorocaba) pela colaboração.

## Referências

1. Barros, L. C. e Bassanezi, R. C., Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática, Coleção IMECC Textos Didáticos, 5, 2006
2. Benini, Luiz C. , Uma abordagem para Modelagem de Dados com o uso de Sistemas Neuro-Fuzzy: Aplicações geoespaciais – Universidade Estadual de São Paulo (Unesp). Presidente Prudente, 2009
3. Block, S. B. e Hirt G. A. Foundations of Financial Management, McGraw-Hill, Boston, 2000
4. Interfloat HZ CCTVM LTDA, Introdução ao mercado de capitais brasileiros. São Paulo, 08 de agosto de 2007
5. Klir, G.J.; Yuan,B.-Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Prentice Hall, N. Jersey (1995).
6. Link : <http://www.occamtraders.com.br/web/guest/artigos-apostilas-detalle?id=25> . Acesso em 12 de abril de 2011.
7. Melicher, R. W., Norton E. A. e Town, L. Finances John Wiley & Sons, New York, 2007.
8. Nicoletti , M. C ; Camargo. H. A, Fundamentos da Teoria de Conjuntos *fuzzy* . Série apontamentos. EDUFSCAR. 2009.
9. Oliveira, D. e Castanho, M. J., Previsão de Desenvolvimento de câncer de mama sob ótica fuzzy.
10. Peixoto, M. S. ; Barros, L. C. ; Bassanezi, R. C., Predator prey fuzzy model. Ecological Modelling, v. 214, p. 39-44, 2008a.
11. Peixoto, M. S. ; Barros, L. C. ; Bassanezi, R. C., A model of Cellular Automata for the spatial and temporal analysis of Citrus Sudden Death with the fuzzy parameter. Ecological Modelling, v. 214, p. 45-52, 2008b
12. Peixoto, M. S. ; Barros, L. C. ; Bassanezi, R. C., Uma Abordagem Fuzzy para um Modelo Presa-predador Acoplado ao Parasitismo. TEMA. Tendências em Matemática Aplicada e Computacional, v. 1, p. 119-128, 2007
13. Peixoto, M.S. Sistemas Dinâmicos e Controladores Fuzzy: um Estudo da Dispersão da Morte Súbita dos Citros em São Paulo, tese de Doutorado, IMECC-UNICAMP, Campinas/SP, Brasil, 2005.
14. Peixoto, M. S ; Barros, L. C. ; Bassanezi, R.C, Uma abordagem *fuzzy* para um modelo presa predador Acoplado ao parasitismo. TEMA. Tendências em matemática Aplicada e Computacional, V. 1, p 119 – 128, 2007
15. Ribacionka, F. – Sistema Computacionais Baseados em Lógica Fuzzy – Tese de Mestrado – Universidade Presbiteriana Mackenzie – 1999.
16. Rocha, A. F., Buratini, F. T., Rocha, F. T. e Massad, E., Modelin Attention-Deficit/Hyperctivity Disorder (ADHD), J. Biological Systems, 2009
17. Rocha, A . F., Neurodinâmica da crise financeira. EINA – Estudos em Inteligência Natural e Artificial, 2010 .
18. Rocha, A . F., Neurodinâmica da crise financeira : As bolsas no mundo. EINA – Estudos em Inteligência Natural e Artificial, 2010.
19. Rocha, A . F., Neurodinâmica do Mercado de Ações. EINA – Estudos em Inteligência Natural e Artificial, 2010.
20. Rocha, A . F. ; Rocha, F. T , Neuroeconomia e o processo decisório – Rio de janeiro : LTC, 2011.
21. Seymour, B. and McClure Anchors, S. M., Scales and the relative coding of value in the brain current opinion in neurobiology, 18, 173-178, 2008
22. Silva. C. T. , Pereira. S. A. V , Fatos Relevantes e sua Influência no preço das Ações no Brasil, 2008.

23. Verdile, P. L. e Roveda, J. A. F., Aplicações de Teoria Fuzzy para predição de séries temporais. Link : [http://prope.unesp.br/xxi\\_cic/27\\_32768297895.pdf](http://prope.unesp.br/xxi_cic/27_32768297895.pdf). Acesso em 12 de abril de 2011.
24. Link : <http://br.financas.yahoo.com/q/hp?s=PETR4.SA>. Acesso em 22 de junho de 2012.
25. Zadeh, L.A. Fuzzy Sets. Informat. Control, v. 8, p. 338-353, 1965.

# Evaluating risk and cooperation in the Prisoner's Dilemma

Sanderson Molick \*

Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN)  
Department of Philosophy  
Natal, RN  
smolicks@gmail.com

## Abstract

Fuzzy logic characterizes itself as a tool to deal with uncertainty; a formal system able to work with vague, imprecise, ambiguous or missing information. It was born in the early 60s from the works of Lotfi Zadeh and, despite of the critics' concern for its relevance, it was developed and had its concepts applied to a variety of fields. Among them, certainly the most benefited ones were those trying to model the processes of decision-making, especially decision under uncertainty.

Since then, the mix of fuzzy logic and game-theoretic ideas was increasingly being explored. As it is well-known, the famous game called, *Prisoner's Dilemma* serves as an interesting model to study conflict situations which demand some kind of cooperative behavior from its players, especially in its iterated versions. However, cooperation is a risky move in the game, since it requires trust on the other player. The crisp approach to the *Prisoner's Dilemma* makes use a binary logic to describe behavior, assuming only absolutely cooperative or non-cooperative behavior among individual players. But this kind of assumption hardly reflects real world situations, since trust and cooperation does not occur in a well determined manner. Therefore, in the literature appears several fuzzy approaches ([2], [3], [4]) to some main features of the *Prisoner's Dilemma*, some of them allowing intermediate behavior by extending the concept of cooperation and trust, or just applying multicriteria resolution to the conflict.

The purpose of the present work is to use a fuzzy approach, found in [2], to classify the risks of cooperation given some previous information about the players in the iterated version of the game. Such a risk is calculated by making use of a fuzzy utility function, which allows us to determine the relevance of the cooperation. After that, we are going to explore the behavior of some of the popular strategies of the game, such as *Tit-for-tat*, *Limited Punishment*, *Grim trigger* and *Pavlov*, classifying them by the risks of cooperation and showing their advantages and disadvantages in comparison to the crisp modeling.

**Keywords:** Prisoner's Dilemma, Fuzzy Logic, Cooperation.

## Referências

- [1] AXELROD, Robert. *The evolution of strategies in the iterated prisoner's dilemma*. Available online at: <http://www-personal.umich.edu>
- [2] AL-MUTAIRI, M. S.; HIPEL, K. W.; KAMEL, M. S. *Trust and Cooperation From a Fuzzy Perspective*. *Mathematics and Computers in Simulation*, v. 76, p. 430–446, 2008.

---

\*Bolsista de Iniciação Científica PROPESQ-REUNI

- [3] LIN, C.; CHEN, Y. *Bid/No-Bid Decision Making*. International Journal of Project Management, v. 22, p. 585–593, 2004
- [4] RAMAN, K. *A Fuzzy Resolution of the Prisoner's Dilemma*. University of Michigan Flint and Associate Faculty: University of Michigan Ann Arbor CSCS, 2002.

# Sistemas Ambientais por uma abordagem Neuro-fuzzy

Sandra R.M.Masalskiene Roveda<sup>1</sup>, José Arnaldo F Roveda<sup>1</sup>, Pietro Verdile<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> UNESP- Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
Engenharia Ambiental - Campus Sorocaba- SP  
{sandra, roveda}@sorocaba.unesp.br  
pietro\_verdile@hotmail.com

**Keywords:** Sistemas Ambientais, Neuro-fuzzy, Anfis

## 1 Resumo

Com o advento da lógica fuzzy, introduzida por Zadeh (1965), a modelagem ganha novas perspectivas já que constitui a base para o desenvolvimento de métodos e algoritmos de modelagem, permitindo a redução da complexidade e a solução de problemas não tratáveis pelas técnicas clássicas (GOMIDE, 1994). A matematização dos sistemas por essa via não pressupõe ferramentas matemáticas sofisticadas, mas ao contrário, a simplicidade na elaboração dos sistemas associada à possibilidade de tratamento linguístico das variáveis, tem permitido soluções mais próximas à realidade, o que tem impulsionado consideravelmente as aplicações de lógica fuzzy. A literatura tem mostrado os sistemas de inferência fuzzy com aplicações já muito bem estabelecidas nas questões de engenharia associadas a controle de processos e ultimamente apresentam-se em contínuo desenvolvimento no âmbito dos problemas ambientais. Além dos sistemas de inferência fuzzy, tem havido um interesse generalizado em outras técnicas de inteligência artificial tais como algoritmos genéticos e redes neurais, já que tornam possível simular a experiência humana durante a resolução de problemas por integrar o conhecimento descritivo, o conhecimento processual e a capacidade de raciocínio.

Algumas questões apontam caminhos na utilização das técnicas de inteligência artificial nos processos de modelagem. É importante ter claro que os sistemas fuzzy podem trabalhar com informações imprecisas (DUDA, 2000), apresentam resultados de fácil compreensão, no entanto não podem definir automaticamente as regras que utilizam para produzir o resultado. Por outro lado, as redes neurais possuem grande capacidade de aprendizado mas são limitadas no processamento de variáveis linguísticas (JANG, 1997). Neste contexto apresentam-se os sistemas híbridos (SHING, 1993; ABRAHAM, 2001; MITRA, 2000), que fazem uso de pelo menos dois paradigmas de processamento de informações sob um único sistema, buscando integrar as vantagens de cada paradigma para resultar em modelos mais eficientes.

Este trabalho tem como objetivo o estudo dos sistemas neuro-fuzzy, que são sistemas híbridos e utilizam os sistemas de inferência fuzzy para representar e processar o conhecimento de forma clara, de fácil interpretação com a capacidade de adaptação e aprendizagem das redes neurais. Está sendo utilizado um Sistema de Inferência

Adaptativo Neuro-Difuso (ANFIS) para modelar o índice de qualidade de água. Os resultados estão sendo comparados com o IQA clássico utilizado pela Cetesb (2011) e com o IQA fuzzy (ROVEDA et al, 2010) e têm demonstrado que a metodologia é bastante interessante por combinar as vantagens de cada uma das técnicas a saber: o processamento das variáveis linguísticas dos sistemas fuzzy e a atuação precisa e otimizada das redes neurais. Além disso, os sistemas neuro-fuzzy criam a base de regras automaticamente, eliminando a necessidade de especialistas para expressá-las.

## Referencias

1. ABRAHAM, A. **Neuro fuzzy systems: state of the art modeling techniques**. Lecture Notes in Computer Science. v.2084, p. 269-276, 2001.
2. BARROS, L.C.; BASSANEZI, R.C. **Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática**. Campinas: UNICAMP/IMECC, 2006.
3. CETESB. Qualidade da águas Superficiais : Rios **Índices de Qualidade das Águas** Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice.asp>>. Acesso em: 20 mar. 2011.
4. DUDA, R.O.; HART, P.E.; STORK, D.G. **Pattern Classification 2/E**. New York, NY: Wiley Interscience, 2000.
5. GOMIDE, F.A.C., Gudwin, R.R. **Modelagem, Controle, Sistemas e Lógica Fuzzy**. SBA Controle & Automação, v.4, n.3, p. 97-115, 1994.
6. HAYKIN, S. **Neural Networks: a comprehensive foundation, 2/E**. New York, N.Y.: Printice House, Inc., 1999.
7. JANG, J.S.R. **Anfis: Adaptive-network-based fuzzy inference system**. In: IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics., 23, (3): 665-685, 1993
8. JANG, J.S.R.; SUN, C.T.; MIZUTANI, E. **Neuro fuzzy and soft computing**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.
9. MITRA, S.; HAYASHI, Y. **Neuro-fuzzy rule generation: survey in soft computing framework**. In: IEEE Transactions on Neural Networks, v11, 3, p. 748-768, 2000.
10. MULLER, B., REINHARDT, J. **Neural networks: an introduction**. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, 1990.
11. ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. John Wiley & Sons, New York, 2004.
12. ROVEDA, S.R.M.M.; BONDANÇA, A.P.M.; SILVA, J.G.S.; ROVEDA, J.A.F.; ROSA, A.H. **Development of a Water Quality Index Using a Fuzzy Logic: A case Study for the Sorocaba River**. World Congress on Computational Intelligence, 2010, Barcelona. Anais. Barcelona: WCCI, 2010. p. 1175-1179.
13. SHING, J. and JANG, R. **ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system**. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 23(3):665-685, 1993.
14. TAKAGI, T. and SUGENO, M. **Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control**. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 15, (1): 116-132, 1985.
15. ZADEH, L.A. **Fuzzy Sets**. Information and Control, v.8, p. 338-353, 1965.

# Arranjos de coordenação em cadeias produtivas agroindustriais: contribuições analíticas com base na lógica *fuzzy*

Sibele Vasconcelos de Oliveira\*      Paulo Dabdab Waquil

Av. Bento Gonçalves, 7712- Prédio da Agronomia

91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil

E-mail: sibelesoliveira@yahoo.com.br

## RESUMO

A análise do agronegócio brasileiro indica que, além do desenvolvimento da produção diferenciada e do maior controle dos fluxos de produtos e informação, é observável a crescente coordenação entre os segmentos das cadeias produtivas. Essa tendência legitima-se pela formação de sinergias positivas e pela dispersão dos recursos financeiros e dos riscos entre as organizações do setor.

Destarte, a noção de incerteza ambiental e suas implicações sobre o ambiente competitivo estão levando as empresas para uma nova etapa da evolução organizacional, onde instituições, estruturas de mercado e governança exercem impactos diretos sobre a conduta dos agentes econômicos.

Sobretudo, argumenta-se que as exigências impostas pelo ambiente competitivo condicionam a forma de governar as relações de troca. Para auferir eficiência no desempenho das organizações, segundo aporte teórico da Economia dos Custos de Transação (ECT), considera-se a intensidade dos atributos da transação na escolha da forma de governança. Assim, os agentes das cadeias produtivas fazem uso de mecanismos adequados para regular as transações e reduzir os custos de transação, custos estes derivados do funcionamento do sistema econômico.

Adicionalmente, evidencia-se que a corrente teórica da Economia dos Custos de Transação pressupõe que a incerteza, frequência de realização das transações, especificidades dos ativos, a racionalidade limitada dos agentes econômicos e o oportunismo inerente às suas ações condicionam o surgimento dos custos de transação. Em consonância com a abordagem institucionalista das firmas e mercados, o empenho em conquistar maior eficiência produtiva emerge por meio das estratégias e padrões de conduta dos indivíduos e na forma pela qual as atividades econômicas são organizadas e coordenadas (WILLIAMSON, 1996).

Ainda no contexto do agronegócio, tem-se intensificado a realização de pesquisas que buscam compreender o processo de tomada de decisão, eventualmente incorporando-se análises de modelos matemáticos, econométricos, de programação linear e de, equações lineares. Outrossim, por expressar as relações entre as cadeias integradas às atividades rurais, com seus elos entrelaçados e sua interdependência, a análise dos modelos de tomada de decisão abarcam, direta ou indiretamente, as características dos agentes e os atributos das transações econômicas, categorias analíticas da ECT.

Em suma, uma tomada de decisão pode ser caracterizada como um processo de escolha, seleção de alternativas ou caminhos de ação ótima, entre o grupo de alternativas, para atingir objetivos. Considerando que muitas das ações realizadas no contexto das transações envolvem incertezas, infere-se que um dos mais importantes aspectos que subsidiam a decisão mais adequada está em suprir a habilidade de lidar com informações vagas e imprecisas, tais como: alto lucro, baixa confiança, frequência alta, nível de informação baixo, entre outros.

Contudo, evidencia-se que grande parte dos fatos sociais e eventos econômicos não são manipuláveis através dos processos gerenciais tradicionais, como o ambiente de negócios agrícolas, que é composto por sujeitos, normas e regulamentos formais e informais que orientam suas relações, bem como as múltiplas variáveis que os motivam, destacando-se entre os quais: os sociais, políticos, culturais e econômicos.

Destarte, vislumbram-se a potencialidades da aplicação da lógica *fuzzy* para a análise de fenômenos socioeconômicos, em especial os envolvidos com os processos transacionais no

\* Bolsista de pós-graduação CNPq.

contexto agroindustrial. Esclarece-se que este ramo da matemática moderna desenvolvida por Zadeh (1965), é baseado no processo cognitivo humano, usualmente empregado para definir os problemas complexos, permeados por informações imprecisas e incompletas, que caracterizam o mundo real (RAGIN, 1992).

Em suma, esta lógica utiliza a teoria dos conjuntos *fuzzy*, podendo proporcionar mecanismos para realizar inferências baseadas em informações vagas e/ou ambíguas, inerente ao ambiente de negócios, especialmente caracterizado pela existência de custos de transação. Utilizando os conceitos de negação, união e interseção *fuzzy*, é possível realizar com conjuntos *fuzzy* todos os processos de inferência já conhecidos na lógica tradicional.

Nesse sentido, considerando o contexto socioeconômico dos agronegócios e o acirramento da concorrência nos mercados agroindustriais, o presente estudo objetiva, a partir de pesquisa bibliográfica, examinar os arranjos de coordenação praticados em cadeias produtivas, e mais especificamente, propor um modelo conceitual analítico, auxiliando na definição de ações que proporcionem a melhoria do desempenho individual e coletivo das organizações envolvidas.

A aplicação das noções básicas de lógica *fuzzy* proporcionou a identificação de termos linguísticos associados à variável linguística de saída 'arranjos de coordenação'. Admite-se que existem combinações de relações/ ações articuladas 'muito frágeis', 'frágeis', 'estáveis', 'sólidas' e 'muito sólidas' em cadeias produtivas agroindustriais.

Ainda, a avaliação desses conceitos qualitativos e nebulosos possibilita a formulação de um sistema *fuzzy* que considera as variáveis de entrada 'incerteza', 'especificidade de ativos', 'frequência das transações', 'oportunisto', 'racionalidade limitada', 'concentração de mercado', 'concorrência', 'barreiras à entrada', 'apoio institucional' e 'vulnerabilidade mercadológica'. As supracitadas variáveis compõem três submodelos principais, a saber, submodelos representantes das características dos agentes econômicos, dos atributos das transações e das estruturas de mercado.

Da mesma forma, derivaram-se algumas regras do tipo 'se condição então ação' com o intuito de operar a inferência *fuzzy*. Por exemplo, as sentenças '*se as transações são frequentes, é provável que a relação entre os agentes expresse algum arranjo estável de coordenação*', então '*se as transações têm certo grau de Incerteza há então necessidade de estabelecer arranjos mais sólidos*'.

Para isto, conjuntos *fuzzy* devem ser definidos matematicamente a partir da atribuição de valores, representando o grau de associação aos conjuntos, a cada indivíduo possível no universo do discurso. Assim sendo, espera-se, em futuro breve, testar experimentalmente o modelo conceitual de análise de arranjos de coordenação com representantes de distintas cadeias produtivas agroindustriais.

Em suma, entende-se que a abordagem *fuzzy* é propícia para estudar e aprender sobre a realidade complexa das decisões sobre as decisões estratégicas e transações econômicas porque liberta a percepção da realidade do confinamento aos limites do totalmente verdadeiro ou totalmente falso como únicas opções possíveis. Logo, reitera-se a importância da contribuição a esse tema, admitindo-se a possibilidade de avaliação de algumas categorias analíticas pertinentes à compreensão da dinâmica dos arranjos de coordenação em cadeias produtivas agroindustriais.

**Palavras-chave:** *Estruturas de Governança, Agronegócios, Teoria dos Conjuntos Fuzzy.*

## Referências

- [1] RAGIN, C. C. *Fuzzy- set social science*. Chicago and London: University of Chicago Press, 1992.
- [2] WILLIAMSON, O. E. *The mechanisms of governance*. New York: Oxford University Press, 1996.
- [3] ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. *Information and Control*, v. 8, p. 338-353, 1965.

# Fuzzy Cognitive Maps applied in Urinary Incontinence Diagnosis

Neli RS Ortega<sup>1</sup>, Maria Helena BM Lopes<sup>2</sup>, Paulo SP Silveira<sup>1</sup>, Eduardo Massad<sup>1</sup>,  
Rosângela Higa<sup>3</sup>, Heimar F Marin<sup>4</sup>

<sup>1</sup> School of Medicine, University of São Paulo, Rua Teodoro Sampaio 115, Cerqueira César,  
05405-000, São Paulo, SP  
neli@dim.fm.usp.br, silveira@usp.br, edmassad@usp.br

<sup>2</sup> School of Nursing, Universidade Estadual de Campinas, hbaena@fcm.unicamp.br

<sup>3</sup> Woman's Hospital Professor José Aristodemo Pinotti, University of Campinas,  
rosangelahiga@bol.com.br

<sup>4</sup> Nursing Department, Federal University of São Paulo, hfmarin@unifesp.br

## Abstract

Urinary complaints are common in the general population. Urinary incontinence (UI), in particular, has high frequency especially among women, impairing daily activities, social interactions and self perception of health status[1]. However, one reason because the urinary alterations could be not diagnosed is the fact that health professionals often are not prepared to identify, treat or refer people with these problems. In addition, there are many identification uncertainties in the diagnosis of the different types of urinary incontinence as demonstrated in a study developed in the city of Campinas, State of São Paulo, Brazil, that aimed to investigate how physicians and nurses at primary care units investigate and manage the cases of female urinary incontinence and if they discriminate the different types of urinary incontinence. It was verified that, excluding the gynecologists, doctors and nurses rarely or never investigate if the woman has incontinence and when they do so, sometimes they do not know what to do or do not choose the more adequate conduct[2]. So, the purpose of this work was to develop a decision support system to discriminate the diagnoses of alterations in urinary elimination.

Fuzzy sets theory has become a powerful tool for dealing with vagueness and uncertainty and have been used with effective results in several health areas[3]. In the Fuzzy Cognitive Map (FCM) theory the systems are described by a symbolic representation (graphs) where concepts interact with each other through a dynamical process[4]. In this work the FCM was structured considering six possible diagnoses: Stress Urinary Incontinence, Reflex Urinary Incontinence, Urge Urinary Incontinence, Functional Urinary Incontinence, Total Urinary Incontinence and Urinary Retention; and 39 signals associated with them. The model was implemented in Visual Basic and applied in 195 real cases. Its performance was evaluated through

---

\* Projeto apoiado financeiramente pelo CNPq (476854/2004-0), e pelo LIM01 da FMUSP/HC.

the agreement test, comparing its results with the diagnoses determined by three experts (nurses). The sensitivity and specificity of the model were calculated considering the expert's opinion as a gold standard. In order to compute the Kappa's values we considered two situations, since more than one diagnosis was possible: the overestimation of the accordance in which the case was considered as concordant when at least one diagnoses was equal; and the underestimation of the accordance, in which the case was considered as discordant when at least one diagnosis was different.

The overestimation of the accordance showed an excellent agreement (kappa = 0.92,  $p < 0.0001$ ); and the underestimation provided a moderate agreement (kappa = 0.42,  $p < 0.0001$ ). In general the FCM model showed high sensitivity and specificity, of 0.95 and 0.92 respectively, but provide a low specificity value in determining the diagnosis of Urge Urinary Incontinence (0.43) and a low sensitivity value to Total Urinary Incontinence (0.42). Table I presents the calculation of sensitivity and specificity of the FCM in the determination of each of the diagnoses in study and in general. It is possible to note that although the sensitivity and specificity are high in general, the FCM provide a low specificity value in determining the diagnosis of Urge Urinary Incontinence and a low sensitivity value to Total Urinary Incontinence.

Table I - Sensitivity and specificity of the fuzzy cognitive map in the determination of diagnoses related to alterations in urinary elimination.

| Diagnosis | Sensitivity | Specificity |
|-----------|-------------|-------------|
| Urge      | 1           | 0.43        |
| Stress    | 0.95        | 0.93        |
| Reflex    | 1           | 0.97        |
| Total     | 0.42        | 1           |
| Retention | 1           | 0.98        |
| General   | 0.95        | 0.92        |

The decision support system developed presented a good performance compared to other types of expert system for differential diagnosis of alterations on urinary elimination. Since there are few similar studies in the literature, we are convinced of the importance of investing in this kind of modeling, both from the theoretical and from the health applied points of view.

**Palavras-chave:** *Fuzzy Cognitive Maps; Urinary incontinence; Differential diagnosis.*

## References

1. Davis G, Sherman R, Wong MF, McClure G, Perez R, Hibbert M. Urinary incontinence among female soldiers. *Mil Med.* 1999;164:182-7.
2. Barbosa SS, Oliveira LDR, Lima JLDA, Carvalho GM, Lopes MHBM. Como profissionais de saúde da rede básica identificam e tratam a incontinência urinária feminina. *O Mundo da Saúde (CUSC. Impresso).* 2009; 33(4):449-56.
3. Massad E, Ortega NRS, Barros LC, Struchiner, CJ. *Fuzzy logic in action: applications in epidemiology and beyond.* New York: Springer; 2008.
4. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *Int J Man Mach Stud.* 1986;24(1):65-75.

## Análise do risco de dengue em um modelo do tipo Takagi-Sugeno

**Graciele Paraguaia Silveira**

Departamento de Matemática, Campus Jataí, UFG  
75800-000, Jataí, GO  
E-mail: gracimat@gmail.com

**Laécio Carvalho de Barros**

Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, IMECC, UNICAMP  
13083-859, Campinas, SP  
E-mail: laeciocb@ime.unicamp.br

### RESUMO

No processo de inferência fuzzy de Takagi-Sugeno-Kang o consequente de cada regra é dado explicitamente por uma função dos valores de entrada desta regra [1].

Atualmente pesquisas vêm sendo desenvolvidas no sentido de se construir regras cujos consequentes sejam dados por equações diferenciais, aplicadas em diferentes tipos de problemas.

O objetivo deste trabalho foi a construção de um modelo bidimensional do tipo Takagi-Sugeno para o risco de dengue na região sul da cidade de Campinas [4]. A intenção foi combinar EDP's, métodos estocásticos e lógica fuzzy para que informações subjetivas acerca da doença pudessem ser incorporadas objetivamente.

Especialistas do Laboratório de Análise Espacial de Dados Epidemiológicos (epiGeo) da UNICAMP realizaram estudos sobre o risco de dengue na região, entre 2006 e 2007, por meio de métodos estatísticos [3]. Aspectos da população humana envolvida foram levados em conta, como sexo, nível de escolaridade, se já teve ou não dengue, presença de potenciais criadouros do mosquito, entre outros.

Com a colaboração de tais pesquisadores foram obtidos os dados calculados e que geram um mapa de risco de dengue na região, ilustrado na Figura 1. Os riscos mais altos estão associados com cores quentes.

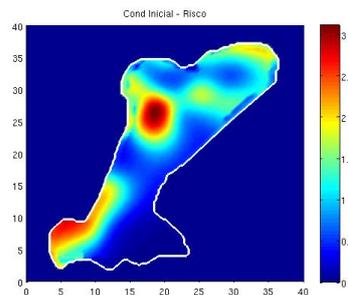


Figure 1: Mapa de risco de dengue desenvolvido pelo epiGeo.

Com os dados da Figura 1, termos linguísticos foram atribuídos para o risco de dengue, a saber *Baixo*, *Médio* e *Alto* e funções de pertinências trapezoidais foram construídas [4].

Seja  $r(x, y, t)$  o risco de dengue. As regras fuzzy foram elaboradas de acordo com [2] e segue-se uma das três regras construídas.

*Regra 1:* Se  $r(x, y, t)$  é Baixo (B)

$$\text{então } \frac{\partial r(x, y, t)}{\partial t} = \kappa_B \left[ \frac{\partial^2 r(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 r(x, y, t)}{\partial y^2} \right] + a_{Br}(x, y, t).$$

A inferência fuzzy é dada pela expressão (no caso em que  $M = 3$ )

$$\frac{\partial r(x, y, t)}{\partial t} = \sum_{i=1}^M \mu_i(r(x, y, t)) \left[ \kappa_i \left( \frac{\partial^2 r(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 r(x, y, t)}{\partial y^2} \right) + a_i y(x, t) \right].$$

Os parâmetros  $\kappa_i$  representam a difusão espacial do risco no domínio e foram estimados por meio de um sistema baseado em regras fuzzy - SBRF - que leva em conta fatores ambientais que influenciam a dinâmica do mosquito *Aedes aegypti* e portanto, interferem na dispersão do risco. As variáveis de entrada do SBRF são *chuva*, *densidade de habitantes humanos* e *densidade de recipientes* potenciais criadouros do mosquito, cujas funções de pertinências construídas encontram-se em [4].

Dados reais sobre o comportamento da doença e sobre as condições para a proliferação do vetor, na região sul de Campinas, foram obtidos da Secretaria Municipal de Saúde, IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e de especialistas da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP.

Com relação à estimativa dos parâmetros  $a_i$ , observa-se que os termos  $a_i r(x, y, t)$  são respectivamente proporcionais às taxas de variações do risco *Baixo*, *Médio* e *Alto*. De acordo com os conjuntos fuzzy construídos para a variável risco, foi calculada uma média de risco (ponto médio do suporte de cada função de pertinência). Por fim considera-se que a cada passo no tempo  $r(x, y, t)$  é atualizado.

A equação resultante do processo de inferência realizado foi resolvida numericamente, a partir do acoplamento de ferramentas numéricas, desenvolvidas em [4]. Foram usados esquemas numéricos híbridos para a discretização espacial, WENO-5 (esquemas essencialmente não oscilatórios ponderados, de ordem 5) para regiões não suaves do mapa, esquemas de diferenças finitas de alta ordem para as regiões suaves e um esquema lifting foi introduzido como medida de suavidade, na determinação das regiões suaves ou não.

Na evolução temporal foi empregado o método de Runge-Kutta TVD (Valor Total Decrescente) de ordem 3. As implementações foram construídas em ambiente MATLAB 2010 e os dados da Figura 1 constituíram as condições iniciais.

As implementações computacionais permitiram concluir que o modelo matemático é capaz de representar o fenômeno, quantificar, possibilita a obtenção de cenários que podem vir a auxiliar no controle, além de revelarem que é necessária uma redução drástica dos potenciais criadouros do mosquito *Aedes aegypti* para se ter uma redução razoável do risco da doença.

**Palavras-chave:** Lógica Fuzzy, Modelo Takagi-Sugeno, Risco de Dengue.

## Referências

- [1] BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. *Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática*. Campinas: UNICAMP-IMECC, 2010.
- [2] CHEN, B-S; CHANG, Y-T. Fuzzy State-Space Modeling and Robust Observer-Based Control Design for Nonlinear Partial Differential Systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, v. 17, no. 5, p. 1025–1043, 2009.
- [3] CORDEIRO, R.; DONALISIO, M. R.; ANDRADE, V. R. *et al.* Spatial distribution of the risk of dengue fever in southeast Brazil, 2006-2007. *BMC Public Health*, v. 11, no. 355, p. 1–10, 2011.
- [4] SILVEIRA, G. P. Métodos numéricos integrados à lógica Fuzzy e método estocástico para solução de EDP's: uma aplicação à dengue. Tese de Doutorado. *IMECC-UNICAMP*, 2011.

# Logística de distribuição física de leite A: um estudo de caso utilizando Lógica Fuzzy

Magda da Silva Peixoto<sup>1</sup>, Matheus Cardoso de Freitas<sup>1,\*</sup>,  
José Geraldo Vieira Vidal<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos, *Campos* Sorocaba,  
Rodovia João Leme dos Santos, Km 110, 18052-780, Sorocaba/SP  
[magad@ufscar.br](mailto:magad@ufscar.br), [matheus.cardoso17@hotmail.com](mailto:matheus.cardoso17@hotmail.com), [jose-vidal@ufscar.br](mailto:jose-vidal@ufscar.br)

**Resumo.** A indústria de laticínios, por lidar exclusivamente com produtos perecíveis, apresenta importantes atividades logísticas, como a de estoque e principalmente a de transporte, que garantem acondicionamento dos produtos no local desejado e que estes sejam transportados no momento oportuno, em veículos geralmente refrigerados e nas condições ideais para o consumo pelo cliente. Temos, como por objetivo principal, elaborar um modelo de tomada de decisão para distribuição de leite em diversos canais de distribuição a partir de um centro de distribuição. Como método de apoio à tomada de decisão de um decisor logístico, utilizou-se a abordagem fuzzy que permitiu criar um conjunto de regras que atendessem a diversos cenários e alternativas de distribuição do leite aos seis segmentos varejistas classificados pela empresa como sendo as grandes redes varejistas, supermercados de pequeno e médio porte, mercearias de bairro, padarias, consumidor final e institucional.

**Palavras-chave:** Logística de distribuição, Lógica fuzzy, Leite.

## 1 Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores de leite do mundo e tem grande perspectiva de crescimento na produção de produtos lácteos diante dos seguintes fatores: aumento do consumo interno impulsionado por melhor renda familiar, aumento do consumo externo, aumento de investimentos em tecnologias no setor agroindustrial e maior eficiência nos processos produtivos.

O alto faturamento de alguns produtos da indústria brasileira de alimentos na última década indica a importância do produto lácteo no contexto do agronegócio nacional [11].

Para manter essa perspectiva de crescimento, é importante que as indústrias do setor busquem baixo custo e alto nível de serviço ao cliente em suas atividades, desde a produção à distribuição dos produtos ao mercado.

Por outro lado, os custos logísticos de coleta de leite, movimentação e armazenamento de produtos em processo e distribuição física dos produtos ao mercado ainda constituem atividades com alto custo logístico [5]. Somente os custos de distribuição podem representar até dois terços dos custos logísticos [15].

Para [1], a logística inclui todas as atividades importantes para a disponibilização de bens e serviços aos consumidores quando e onde estes quiserem adquiri-los, criando valores de tempo e lugar, respectivamente. Algumas dessas atividades são controle de estoques, processamento de pedidos, manuseio dos materiais e transporte. Em se tratando de produtos perecíveis, a necessidade de se ter transporte e acondicionamento eficiente é notória e determinante para o atendimento de um melhor nível de serviço.

A função logística na redução de custos e otimização de processos de distribuição tem como objetivo a prestação de níveis satisfatórios de serviços ao cliente, entregando o produto certo, na quantidade certa, na hora certa, no lugar certo ao menor custo possível [1].

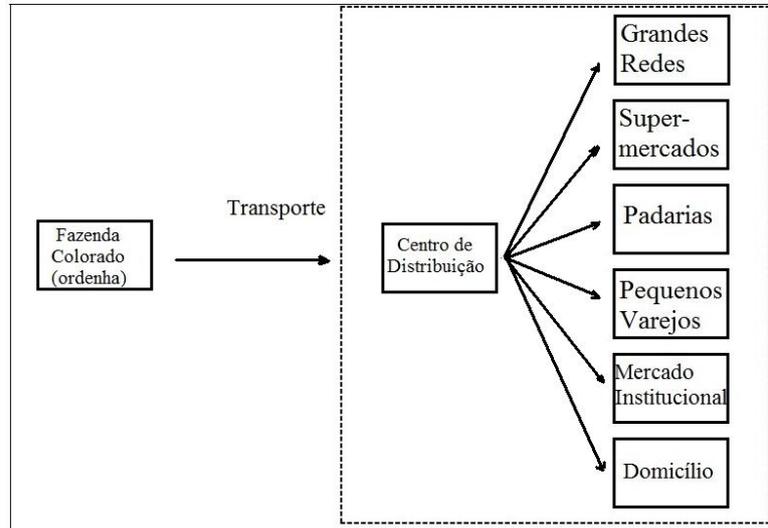
Por isso, como o custo é o reflexo mais direto na produção, muitas empresas de laticínio buscam reduzir seus custos logísticos e aperfeiçoar seus processos de produção e distribuição para equilibrar a oferta com a demanda de leite tipo A.

Nesse contexto, a inteligência computacional surge como uma alternativa não só para avaliar os custos logísticos (de distribuição física) e a lucratividade da venda realizada, como também para facilitar o trabalho dos tomadores de decisão. Diante dessas características, a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* pode ser um modelo de tomada de decisão que auxilie os melhores rumos de ação que o gerente de um centro de distribuição de leite deve adotar para planejar as atividades venda e de logística externa.

O problema de pesquisa está circunscrito ao estudo que foi realizado no maior centro de distribuição da Indústria de Laticínios Xandô, em São Paulo, com atividades de recebimento, movimentação, armazenagem e distribuição de leite a diversos mercados, desde entregas domiciliares a grandes redes de supermercados. Atualmente a empresa conta com maquinário específico para produção de leite tipo A, frota de veículos pesados para distribuição grandes volumes de leite aos três centros de distribuição e uma fazenda própria, a Fazenda Colorado, onde abriga seu rebanho, plantações de laranjas para produção de suco e cereais para alimentação das vacas.

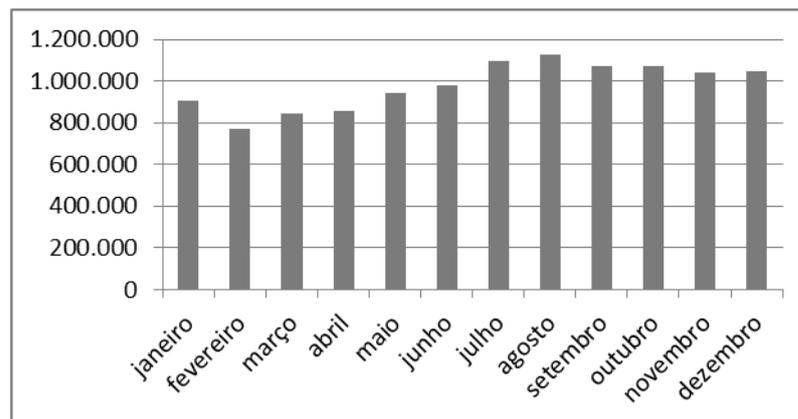
Criada em 1982, foi a primeira empresa do Brasil a produzir leite tipo A, e é, atualmente, a segunda maior distribuidora deste produto no país. A empresa controla desde as atividades da pecuária, extração e produção do leite A até a embalagem e distribuição aos mais diversos canais de venda varejista. A produção do leite é realizada até a etapa de embalagem ainda na Fazenda Colorado, em Araras, que conta com um rebanho de 800 vacas holandesas puras produz, em média, 25 mil litros de leite por dia.

A figura 1 mostra o fluxo logístico do leite tipo A, desde a fazenda, onde as vacas são ordenhadas e o leite é armazenado diretamente em tanques refrigerados, até a distribuição aos canais diversos. O transporte da fazenda ao centro de distribuição é realizado por frotas próprias e terceirizado. No centro de distribuição, o leite é armazenado temporariamente e entregue por distribuidores terceirizados a diversos canais. O foco desta pesquisa é analisar a distribuição do leite a partir do centro de distribuição aos segmentos: grandes redes de supermercado, padarias, domicílio, institucional, pequeno e médio varejo (supermercado).



**Fig. 1.** Cadeia Logística do leite Xandô. Em destaque, o setor estudado.

O leite é extraído na própria fazenda, na sala de ordenha automatizada, de onde segue por tubulações à usina de beneficiamento, onde passa por processos de higienização e controle, seguindo para o envase. Da fazenda, o leite envasado segue para os três centros de distribuição, sendo mais de 50% dessa carga destinada ao centro de distribuição estudado, em São Paulo. A produção de leite tipo A na Indústria de Laticínios Xandô, bem como em outras desse ramo, caracteriza-se, principalmente, pelo curto prazo de validade do produto final e pela alta sazonalidade da matéria prima, o que gera alta variabilidade da distribuição dos produtos lácteos ao consumidor final.



**Fig. 2.** Volume de produção de leite da Fazenda Colorado ao longo dos meses de 2010.

O leite tipo A é o tipo de leite mais puro que se pode obter, seguindo de ordenha obrigatoriamente mecânica por tubulações de aço inoxidável aos processos de pasteurização, homogeneização e envase, que são realizados sequencialmente, também de maneira mecânica. Nenhum aditivo é colocado nesse tipo de leite, o que torna o prazo de validade do produto ainda menor frente a outros tipos de leite, e consequentemente ainda maior a importância das atividades logísticas da empresa.

Quando o leite chega ao centro de distribuição, precisa ser distribuído o mais nos seguintes canais: grandes redes de supermercados, padarias, domicílios, supermercados de redes menores, institucional e pequenos varejos. Essa distribuição deve ser feita com a maior rapidez possível, devido ao fato do material ser altamente perecível, além da exigência do consumidor final em consumir um produto mais fresco, sem perder as características organolépticas e peculiares do leite tipo A. Além disso, a entrega a esses diferentes canais segue formas diferenciadas de atendimento. No caso das padarias, por exemplo, as entregas são mais constantes e com menores volumes de leite o que implica na utilização de veículos de menor capacidade, principalmente se tratando de grandes centros.

Portanto, para o gerente do centro de distribuição, a escolha de qual mercado priorizar, qual quantidade a ser entregue a cada mercado, levando em conta redução de custos de distribuição, visando maiores lucros, são desafios que esta pesquisa procura contribuir no sentido de auxiliar a tomada de decisões.

A indústria de laticínios, por lidar exclusivamente com produtos perecíveis, apresenta importantes atividades logísticas, como a de estoque e principalmente a de transporte, que garantem acondicionamento dos produtos no local desejado e que estes sejam transportados no momento oportuno, em veículos geralmente refrigerados e nas condições ideais para o consumo pelo cliente. Sendo a distribuição a principal função logística de agregação de valor ao cliente final, este artigo tem por objetivo elaborar um modelo de tomada de decisão para distribuição de leite em diversos canais a partir de um centro de distribuição. Como método de apoio à tomada de decisão de um decisor logístico, utilizou-se a abordagem *fuzzy* que permitiu criar um conjunto de regras que atendesse a diversos cenários de distribuição do leite aos seis segmentos atendidos pela empresa: as grandes redes varejistas, supermercados de pequeno e médio porte, mercearias de bairro, padarias, consumidor final e institucional. Para elaboração do modelo e coleta dos dados, foi realizada uma visita técnica ao centro de distribuição da segunda maior produtora de leite do país, além de cinco reuniões com o gerente responsável pela logística. De posse dos dados da distribuição de leite integral tipo A, do ano de 2010, para os diferentes segmentos varejistas e dados referentes à lucratividade por litro e o preço de venda para cada segmento, foi desenvolvido um modelo com uma base de regras *fuzzy* para reprodução das escolhas de distribuição realizadas na época, sendo o volume total de leite disponível a variável de entrada, e as quantidades a serem distribuídas para cada segmento as variáveis de saída. Com auxílio do gerente e de um modelo de otimização linear feito por meio da ferramenta *solver*, do software Microsoft® Excel®, pôde-se direcionar quais segmentos deveriam ter aumento no volume distribuído. Por fim, foi feito outro modelo com base em regras *fuzzy*, que avaliava o quanto a opção de distribuição utilizada era lucrativa de acordo com o volume distribuído, tendo como variáveis de entrada os volumes para cada segmento e como saída uma nota para a lucratividade. Como principais resultados têm-se: um modelo

que gerou uma distribuição com receita 3% maior que a da distribuição fornecida, quais foram os segmentos de mercado que apresentaram distribuição mais lucrativa e a conclusão de que, para um volume disponível médio/alto, a distribuição atingia seu ponto de maior lucratividade, tendo a partir disso valor pouco atrativo para competitividade da empresa no mercado de leite tipo A.

## 2 Metodologia

A metodologia consistiu em um estudo de caso no centro de distribuição da indústria de laticínios Xandô, na cidade de São Paulo, onde as atividades de venda e logística de distribuição foram conhecidas e detalhadas para a composição do problema em questão. Inicialmente, foi realizada uma densa revisão de literatura sobre a modelagem *fuzzy* e as variáveis que mais impactam a produção e distribuição de produtos lácteos, bem como a logística de distribuição e seus principais aspectos de custo e impacto na lucratividade da empresa.

A indústria de laticínios, por lidar exclusivamente com produtos perecíveis, apresenta importantes atividades logísticas, como a de estoque e principalmente a de transporte, que garantem acondicionamento dos produtos no local desejado e que estes sejam transportados no momento oportuno, em veículos geralmente refrigerados e nas condições ideais para o consumo pelo cliente. Sendo a distribuição a principal função logística de agregação de valor ao cliente final, esse trabalho tem por objetivo elaborar um modelo de tomada de decisão para distribuição de leite em diversos canais a partir de um centro de distribuição. Como método de apoio à tomada de decisão de um decisor logístico, utilizou-se a abordagem *fuzzy* que permitiu criar um conjunto de regras que atendesse a diversos cenários de distribuição do leite aos seis segmentos atendidos pela empresa: as grandes redes varejistas, supermercados de pequeno e médio porte, mercearias de bairro, padarias, consumidor final e institucional. Para elaboração do modelo e coleta dos dados, foi realizada uma visita técnica ao centro de distribuição da segunda maior produtora de leite do país, além de cinco reuniões com o gerente responsável pela logística. De posse dos dados da distribuição de leite integral tipo A, do ano de 2010, para os diferentes segmentos varejistas e dados referentes à lucratividade por litro e o preço de venda para cada segmento, foi desenvolvido um modelo com uma base de regras *fuzzy* para reprodução das escolhas de distribuição realizadas na época, sendo o volume total de leite disponível a variável de entrada, e as quantidades a serem distribuídas para cada segmento as variáveis de saída. Com auxílio do gerente e de um modelo de otimização linear feito por meio da ferramenta *solver*, do software Microsoft® Excel®, pôde-se direcionar quais segmentos deveriam ter aumento no volume distribuído. Por fim, foi feito outro modelo com base em regras *fuzzy*, que avaliava o quanto a opção de distribuição utilizada era lucrativa de acordo com o volume distribuído, tendo como variáveis de entrada os volumes para cada segmento e como saída uma nota para a lucratividade. Como principais resultados têm-se: um modelo

que gerou uma distribuição com receita 3% maior que a da distribuição fornecida, quais foram os segmentos de mercado que apresentaram distribuição mais lucrativa e a conclusão de que, para um volume disponível médio/alto, a distribuição atingia seu ponto de maior lucratividade, tendo a partir disso valor pouco atrativo para competitividade da empresa no mercado de leite tipo A.

**Sistemas Baseados em Regras Fuzzy.** A lógica *fuzzy* é a lógica baseada na teoria dos conjuntos *fuzzy* [26]. Ela difere dos sistemas lógicos tradicionais em suas características e seus detalhes. Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas. A teoria dos conjuntos fuzzy, bem como a lógica fuzzy, estabelecem uma relação entre a precisão da matemática clássica e a imprecisão do mundo real [7] e mostram-se importantes para a modelagem de modos de representação e raciocínio imprecisos, que têm importante papel na tomada de decisões racionais em ambientes de imprecisão, fornecendo poderosa estrutura para manipulação de informações aproximadas. Um conjunto fuzzy pode ser expresso segundo a seguinte definição formal [25]:

$$A = \{x, \mu_A(x) | x \in U\}$$

Sendo  $U$  um conjunto universo não vazio e  $A$  um conjunto fuzzy em  $U$  caracterizado por sua função de pertinência

$$\begin{aligned} \mu_A: U &\rightarrow [0,1] \\ x &\rightarrow \mu_A(x) \end{aligned}$$

Sendo  $\mu_A(x)$  o grau de pertinência do elemento  $x$  no conjunto fuzzy  $A$  para todo  $x \in U$  [21]. Com a ampla caracterização proposta por [27], de modo que uma função característica pode assumir infinitos valores entre 0 e 1, o que sugere que pode-se considerar alguns elementos como mais membros de um ou outro conjunto. Assim, o grau de pertinência de um elemento pode assumir qualquer valor no intervalo  $[0,1]$ , sendo que para [25]:

- $\mu_A(x) = 0$ ,  $x$  é totalmente incompatível com  $A$ ;
- $\mu_A(x) = 1$ ,  $x$  é totalmente compatível com  $A$ ;
- $0 < \mu_A(x) < 1$ ,  $x$  é parcialmente compatível com  $A$ , com grau de compatibilidade  $\mu_A(x)$ .

Com isso, para descrição de informações fornecidas na forma qualitativa são utilizadas as variáveis linguísticas, que podem ser representadas por conjuntos fuzzy, e cujos valores são palavras, ao invés de números [17]. Essas variáveis podem ser expressas quantitativamente, por uma função de pertinência, ou qualitativamente, através de termos linguísticos, com um conceito atribuído à variável.

Assim, cada variável linguística possui seu conjunto de termos fuzzy associados, chamados termos primários, que é o conjunto de valores que a variável fuzzy pode assumir. Como exemplo, podemos citar a variável volume de leite a ser distribuído, que pode ter o conjunto de termos primários {muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto}, sendo que cada um desses termos representa um diferente conjunto fuzzy.

Portanto, as principais operações utilizando variáveis linguísticas utilizam-se dos conectivos E, OU e NÃO, através dos quais são compostas as relações lógicas entre os termos das variáveis linguísticas. Existe na lógica fuzzy, analogamente à lógica

clássica, a necessidade de procedimento com as operações de união, interseção e complemento, tidos na nomenclatura da lógica clássica como os conectivos E, OU, e NEGAÇÃO, respectivamente [25]. Na lógica fuzzy, o operador análogo do E é chamado de Norma-T, e define uma interseção entre dois conjuntos é [25]:

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A, \mu_B)$$

Já o análogo do operador OU é conhecido como Conorma-T, definindo a união entre dois conjuntos é:

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A, \mu_B)$$

O complemento de um conjunto fuzzy, definido pelo operador análogo ao NEGAÇÃO é:

$$\mu = 1 - \mu_A$$

Com isso, pode-se controlar o processo analisado a partir de um conjunto de regras fuzzy do tipo “se... então...”, capaz de tratar conhecimentos incertos ou incompletos [3]. Segundo [4], a teoria de modelagem e identificação fuzzy trata do relacionamento entre entradas e saídas, agregando vários parâmetros de processo e de controle. Os sistemas resultantes proporcionam resultados mais precisos, além de um desempenho estável e robusto.

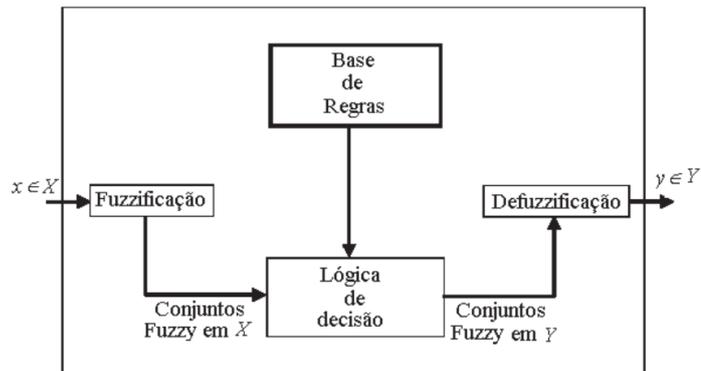


Fig. 3. Estrutura básica de um sistema baseado em regras fuzzy . Fonte: [20].

A estrutura de um sistema baseado em regras fuzzy possui quatro componentes básicos principais, [2]:

1 – Um fuzzificador, que tem função de traduzir a informação de entrada em conjuntos fuzzy. Cada variável de entrada são atribuídos termos linguísticos e a cada termo linguístico é associado a um conjunto fuzzy traduzido por uma função de pertinência.

2 – Uma base de regras , que são os conjuntos de proposições do tipo “se ..... então” , definidas por um especialista , onde as regras são de suma importância para o estabelecimento das relações entre as variáveis linguísticas.

3 – Um método de inferência onde a proposição é traduzida matematicamente fornecendo a saída fuzzy.

O método de inferência que utilizamos é o de Mamdani que agrega as regras por meio do operador lógico OU, modelado pelo operador máximo e, em cada regra, os operadores lógicos E e ENTÃO são modelados pelo operador mínimo [2].

4 – Um processador de saída (defuzzificador) traduzindo a saída fuzzy para um valor numérico. O método de defuzzificação adotado nesse artigo é o do Centro de Gravidade [20].

Com isso, a modelagem computacional com regras fuzzy mostra-se aplicável a várias áreas distintas do conhecimento, sendo algumas delas: biomatemática para controle de populações herbívoras [21], diagnóstico de defeitos em peças de uma produção e logística de distribuição física [25].

No cenário da logística de distribuição, essa ferramenta possui importante papel em trabalhos de tomada de decisão por especialistas, uma vez que, na maioria dos casos, as decisões sobre distribuição são tomadas utilizando-se critérios qualitativos na escolha, que nem sempre podem ser mensurados. Sendo assim, o sistema baseado em regras fuzzy pode reproduzir as escolhas do gerente de distribuição, fornecendo seu resultado econômico, mostrando possíveis oportunidades de melhoria na própria distribuição.

### 3 Resultados e discussões

#### 3.1 Simulação da situação estudada

Nesse trabalho, foram levantados, com apoio do gerente de distribuição, os dados de volume de vendas a cada diferente segmento abrangido pelo centro de distribuição ao longo dos meses de 2010, a lucratividade em Reais por litro de leite A integral em cada segmento, o preço de venda para cada segmento, diferentes tipos de prazo de pagamento utilizados por cada segmento, bem como a quantidade de leite vendida a tal prazo. Contudo, ao considerar a atual situação de baixos índices e risco de inflação, esses dois últimos dados levantados não se mostraram relevantes à pesquisa, pela baixa probabilidade de haver mudança no preço entre a compra e o ato do pagamento.

Os volumes vendidos a cada segmento ao longo do período analisado são exibidos na Tabela 1:

**Tabela 1:** Volume de distribuição do leite Xandô aos diferentes segmentos em 12 meses.

|               | Janeiro    | Fevereiro | Março   | Abril   | Maió    | Junho   | Julho   | Agosto  | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|---------------|------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
| Grandes       | 99.192     | 103.864   | 117.104 | 113.321 | 120.386 | 115.016 | 107.774 | 118.495 | 116.087  | 118.908 | 117.744  | 115.331  |
| Padarias      | 75.045     | 72.111    | 72.619  | 84.963  | 87.735  | 87.285  | 85.471  | 88.460  | 85.995   | 90.235  | 93.438   | 92.368   |
| Domicílio     | 6.905      | 7.463     | 9.430   | 7.474   | 8.199   | 8.201   | 8.064   | 8.369   | 8.268    | 8.284   | 8.425    | 7.846    |
| Supermercados | 50<br>.931 | 52.331    | 61.694  | 62.344  | 65.956  | 63.454  | 63.774  | 67.356  | 68.466   | 68.128  | 68.668   | 68.235   |
| Institucional | 27.727     | 26.957    | 44.871  | 34.020  | 32.694  | 32.043  | 29.155  | 32.482  | 29.703   | 31.654  | 29.562   | 28.009   |
| Varejo        | 26.917     | 29.025    | 35.910  | 34.950  | 37.225  | 35.297  | 33.523  | 36.787  | 35.876   | 36.286  | 36.582   | 34.345   |
| Venda Direta  | 84         | 92        | 139     | 99      | 99      | 115     | 125     | 138     | 315      | 641     | 442      | 498      |

|              |   |   |   |    |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|---|---|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Distribuição | 0 | 0 | 0 | 97 | 193 | 428 | 142 | 155 | 117 | 117 | 148 | 435 |
|--------------|---|---|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

Analisando os oito segmentos abrangidos pela empresa, observou-se o baixo impacto da distribuição da venda direta. Assim, optou-se por removê-los da análise, visto que seus valores não são significativos ao problema. Os outros dados fornecidos e utilizados no trabalho mostram-se na Tabela 2:

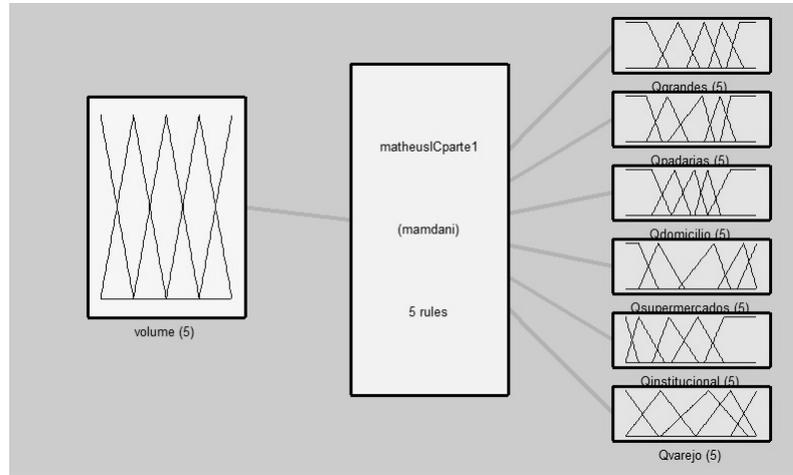
**Tabela 1:** Preço de venda e lucratividade de cada segmento de clientes.

|               | Preço de venda (R\$/L) | Lucratividade (R\$/L) |
|---------------|------------------------|-----------------------|
| Grandes       | 2,22                   | 0,1153                |
| Padarias      | 2,30                   | 0,2063                |
| Domicílio     | 2,00                   | 0,2420                |
| Supermercados | 2,26                   | 0,1385                |
| Institucional | 2,00                   | 0,1856                |
| Varejo        | 2,26                   | 0,2063                |

Inicialmente, elaborou-se, com auxílio do especialista, uma base de regras do tipo “Se..., então...”, com o objetivo de reproduzir a distribuição feita pela empresa na época. A base de regras é mostrada abaixo:

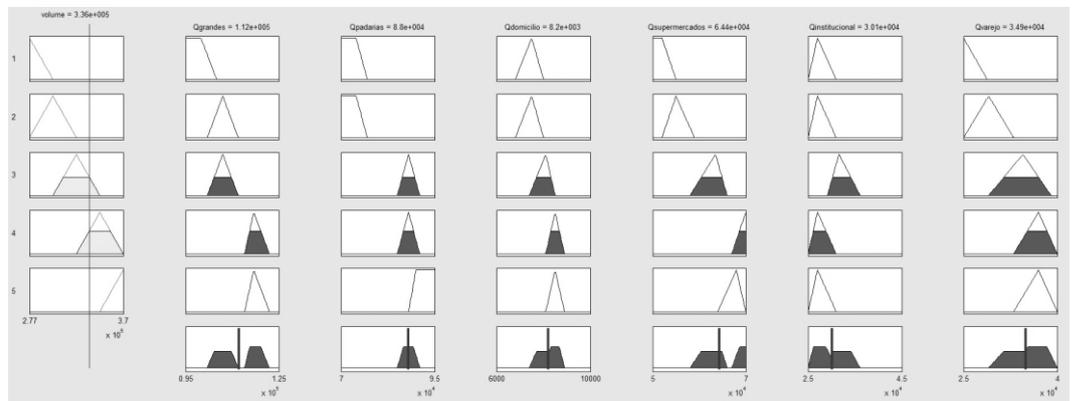
- 1- Se o volume total é muito baixo, então os segmentos recebem: Grandes (volume muito baixo), Padarias (volume muito baixo), Domicílio (volume baixo), Supermercados (volume baixo), Venda Institucional (volume baixo), Varejo (volume muito baixo).
- 2- Se o volume total é baixo, então os segmentos recebem: Grandes (volume baixo), Padarias (volume muito baixo), Domicílio (volume baixo), Supermercados (volume baixo), Venda Institucional (volume baixo), Varejo (volume baixo).
- 3- Se o volume total é médio, então os segmentos recebem: Grandes (volume baixo), Padarias (volume alto), Domicílio (volume médio), Supermercados (volume médio), Venda Institucional (volume médio), Varejo (volume médio).
- 4- Se o volume total é alto, então os segmentos recebem: Grandes (volume alto), Padarias (volume alto), Domicílio (volume alto), Supermercados (volume muito alto), Venda Institucional (volume baixo), Varejo (volume alto).
- 5- Se o volume total é muito alto, então os segmentos recebem: Grandes (volume alto), Padarias (volume muito alto), Domicílio (volume alto), Supermercados (volume muito alto), Venda Institucional (volume baixo), Varejo (volume muito alto).

Assim, a partir dessa primeira base de regras, foi feito um modelo matemático computacional, desenvolvido na *fuzzy toolbox*<sup>TM</sup> do software MatLab®, que possuía como variável de entrada o volume total de leite disponível para distribuição e como variáveis de saída os volumes a serem distribuídos para cada segmento.



**Fig. 4.** Estrutura geral do modelo de simulação desenvolvido na fuzzy toolbox<sup>TM</sup> do MatLab<sup>®</sup>.

A figura 4 mostra a disposição das funções de pertinência escolhidas para cada variável linguística de cada um dos segmentos. Este modelo simulou a distribuição com os volumes apresentados para cada segmento, sendo capaz de reproduzir as opções de distribuição e venda do centro de distribuição na época.



**Fig. 5.** Visualizador de resultados e aderência dos valores às regras fuzzy do modelo de simulação na fuzzy toolbox<sup>TM</sup> do MatLab<sup>®</sup>.

A figura 5 mostra, como se visualiza, no software, em quais faixas de valor as variáveis de entrada se encaixam e o quanto, bem como mostra em quais faixas de valor as variáveis de saída se encaixaram. No caso, a figura mostra a aderência para

um valor de entrada de 350.000 litros de leite. O resultado da simulação é mostrado na Tabela 3:

**Tabela 3.** Volumes obtidos na simulação computacional com base de regras fuzzy.

|               | Janeiro | Fevereiro | Março   | Abril   | Maiο    | Junho   | Julho   | Agosto  | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|---------------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
| Grandes       | 99.192  | 103.864   | 117.104 | 113.321 | 120.386 | 115.016 | 107.774 | 118.495 | 116.087  | 118.908 | 117.744  | 115.331  |
| Padarias      | 75.045  | 72.111    | 72.619  | 84.963  | 87.735  | 87.285  | 85.471  | 88.460  | 85.995   | 90.235  | 93.438   | 92.368   |
| Domicílio     | 6.905   | 7.463     | 9.430   | 7.474   | 8.199   | 8.201   | 8.064   | 8.369   | 8.268    | 8.284   | 8.425    | 7.846    |
| Supermercados | 50.931  | 52.331    | 61.694  | 62.344  | 65.956  | 63.454  | 63.774  | 67.356  | 68.466   | 68.128  | 68.668   | 68.235   |
| Institucional | 27.727  | 26.957    | 44.871  | 34.020  | 32.694  | 32.043  | 29.155  | 32.482  | 29.703   | 31.654  | 29.562   | 28.009   |
| Varejo        | 26.917  | 29.025    | 35.910  | 34.950  | 37.225  | 35.297  | 33.523  | 36.787  | 35.876   | 36.286  | 36.582   | 34.345   |

Portanto, calcularam-se, para análise, a partir dos preços de venda e dos valores da Tabela 3, as receitas obtidas com cada segmento a cada mês, mostradas na Tabela 4:

**Tabela 4.** Receita aproximada de cada mês da simulação com a base de regras utilizada no período estudado.

|               | Janeiro | Fevereiro | Março   | Abril   | Maiο    | Junho   | Julho   | Agosto  | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|---------------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
| Grandes       | 220.206 | 230.578   | 259.971 | 251.573 | 267.257 | 255.336 | 239.258 | 263.059 | 257.713  | 263.976 | 261.392  | 256.035  |
| Padarias      | 172.604 | 165.855   | 167.024 | 195.415 | 201.791 | 200.756 | 196.583 | 203.458 | 197.789  | 207.541 | 214.907  | 212.446  |
| Domicílio     | 13.810  | 14.926    | 18.860  | 14.948  | 16.398  | 16.402  | 16.128  | 16.738  | 16.536   | 16.568  | 16.850   | 15.692   |
| Supermercados | 115.104 | 118.268   | 139.428 | 140.897 | 149.061 | 143.406 | 144.129 | 152.225 | 154.733  | 153.969 | 155.190  | 154.     |
| Institucional | 55.454  | 53.914    | 89.742  | 68.040  | 65.388  | 64.086  | 58.310  | 64.964  | 59.406   | 63.308  | 59.124   | 56.      |
| Varejo        | 60.832  | 65.597    | 81.157  | 78.987  | 84.129  | 79.771  | 75.762  | 83.139  | 81.080   | 82.006  | 82.675   | 77.620   |

Com isso, chegou-se a uma receita simulada total no ano de aproximadamente R\$8,9 milhões. Calculou-se, também, com os valores por litro por segmento apresentados, a lucratividade dessa simulação, mostrados na tabela 5:

**Tabela 5.** Lucratividade aproximada de cada mês da simulação com a base de regras utilizada no período estudado.

|               | Janeiro  | Fevereiro | Março    | Abril    | Maiο     | Junho    | Julho    | Agosto   | Setembro | Outubro  | Novembro | Dezembro |
|---------------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Grandes       | 11.436,8 | 11.975,5  | 13.502,1 | 13.065,9 | 13.880,5 | 13.261,3 | 12.426,3 | 13.662,5 | 13.384,8 | 13.710,1 | 13.575,9 | 13.297,7 |
| Padarias      | 15.481,8 | 14.876,5  | 14.981,3 | 17.527,9 | 18.099,7 | 18.006,9 | 17.632,7 | 18.249,3 | 17.740,8 | 18.615,5 | 19.276,3 | 19.055,5 |
| Domicílio     | 1.671,0  | 1.806,0   | 2.282,1  | 1.808,7  | 1.984,2  | 1.984,6  | 1.951,5  | 2.025,3  | 2.000,9  | 2.004,7  | 2.038,9  | 1.898,7  |
| Supermercados | 7.053,9  | 7.247,8   | 8.544,6  | 8.634,6  | 9.134,9  | 8.788,4  | 8.832,7  | 9.328,8  | 9.482,5  | 9.435,7  | 9.510,5  | 9.450,5  |
| Institucional | 5.146,1  | 5.003,2   | 8.328,1  | 6.314,1  | 6.068,0  | 5.947,2  | 5.411,2  | 6.028,7  | 5.512,9  | 5.875,0  | 5.486,7  | 5.198,5  |

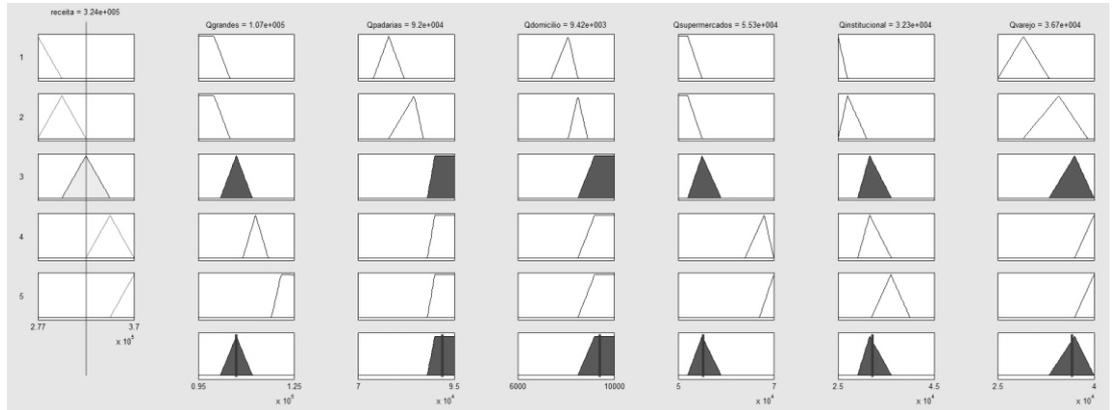
|        |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Varejo | 5.553,0 | 5.987,9 | 7.408,2 | 7.210,2 | 7.679,5 | 7.281,8 | 6.915,8 | 7.589,2 | 7.401,2 | 7.485,8 | 7.546,9 | 7.085,4 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|

Assim, obteve-se uma lucratividade total de aproximadamente R\$650 mil.

### 3.2 Otimização da situação estudada

Contudo, o cenário da distribuição apresentava oportunidades de melhoria, que, com a ajuda das reuniões com o especialista e da ferramenta computacional de otimização matemática linear *solver*, do software Microsoft® Excel®, resultaram em mudanças na base de regras “Se..., então...” do modelo. Sendo assim, propôs-se a seguinte nova base de regras, que readequou o modelo, visando maiores receita e lucro:

- 1- Se o volume total é muito baixo, então os segmentos recebem: Grandes (volume muito baixo), Padarias (volume baixo), Domicílio (volume médio), Supermercados (volume muito baixo), Venda Institucional (volume muito baixo), Varejo (volume baixo).
- 2- Se o volume total é baixo, então os segmentos recebem: Grandes (volume muito baixo), Padarias (volume muito alto), Domicílio (volume alto), Supermercados (volume muito baixo), Venda Institucional (volume baixo), Varejo (volume médio).
- 3- Se o volume total é médio, então os segmentos recebem: Grandes (volume baixo), Padarias (volume muito alto), Domicílio (volume muito alto), Supermercados (volume baixo), Venda Institucional (volume médio), Varejo (volume alto).
- 4- Se o volume total é alto, então os segmentos recebem: Grandes (volume médio), Padarias (volume muito alto), Domicílio (volume muito alto), Supermercados (volume alto), Venda Institucional (volume médio), Varejo (volume muito alto).
- 5- Se o volume total é muito alto, então os segmentos recebem: Grandes (volume muito alto), Padarias (volume muito alto), Domicílio (volume muito alto), Supermercados (volume muito alto), Venda Institucional (volume alto), Varejo (volume muito alto).



**Fig. 6.** Visualizador de resultados e aderência dos valores às regras fuzzy do modelo otimizado na fuzzy toolbox™ do MatLab®.

Como pode-se notar na figura 6, um valor de entrada de tese, de 350.000 litros de leite, apresenta comportamento distinto com relação à aderência nas funções de pertinência. Isso se dá pelas mudanças feitas na base de regras, que levaram aos valores de distribuição apresentados na tabela 6:

**Tabela 6:** Volumes da distribuição de leite baseada nas regras otimizadas ao longo do período estudado.

|               | Janeiro | Fevereiro | Março   | Abril   | Maior   | Junho   | Julho   | Agosto  | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|---------------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
| Grandes       | 99.238  | 99.183    | 116.402 | 115.660 | 118.733 | 116.340 | 114.146 | 118.686 | 116.982  | 118.990 | 119.168  | 117.450  |
| Padarias      | 78.000  | 78.000    | 91.937  | 91.848  | 91.932  | 91.930  | 91.956  | 91.937  | 91.991   | 91.907  | 91.889   | 92.024   |
| Domicílio     | 7.988   | 7.991     | 9.294   | 9.169   | 9.385   | 9.285   | 8.833   | 9.386   | 9.362    | 9.376   | 9.370    | 9.403    |
| Supermercados | 52.042  | 52.010    | 62.523  | 60.265  | 69.013  | 62.310  | 57.108  | 69.017  | 64.940   | 68.991  | 68.974   | 67.589   |
| Institucional | 25.694  | 25.678    | 27.694  | 27.749  | 27.697  | 27.698  | 27.686  | 27.694  | 27.673   | 27.710  | 27.722   | 27.668   |
| Varejo        | 31.580  | 32.534    | 36.652  | 36.625  | 36.651  | 36.651  | 36.656  | 36.652  | 36.663   | 36.644  | 36.639   | 36.666   |

Nota-se, em comparação com a tabela 3, que alguns segmentos tiveram aumento no volume em praticamente todos os meses, como o de domicílios e o de pequenos varejos, e outros que sofreram baixas, como as grandes redes de supermercados. A partir desses volumes de distribuição, foram calculadas as receitas de cada mês por segmento, mostradas na tabela 7:

**Tabela 7.** Receita obtida ao longo do ano com os volumes da distribuição otimizada.

|               | Janeiro | Fevereiro | Março   | Abril   | Maior   | Junho   | Julho   | Agosto  | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|---------------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
| Grandes       | 220.308 | 220.187   | 258.413 | 256.766 | 263.587 | 258.275 | 253.405 | 263.483 | 259.701  | 264.157 | 264.553  | 260.739  |
| Padarias      | 179.400 | 179.400   | 211.456 | 211.250 | 211.444 | 211.440 | 211.498 | 211.456 | 211.578  | 211.387 | 211.345  | 211.655  |
| Domicílio     | 15.976  | 15.981    | 18.587  | 18.338  | 18.769  | 18.570  | 17.666  | 18.772  | 18.724   | 18.752  | 18.740   | 18.805   |
| Supermercados | 117.615 | 117.543   | 141.303 | 136.199 | 155.969 | 140.820 | 129.065 | 155.978 | 146.764  | 155.919 | 155.880  | 152.752  |
| Institucional | 51.389  | 51.356    | 55.388  | 55.498  | 55.393  | 55.395  | 55.372  | 55.388  | 55.346   | 55.420  | 55.443   | 55.336   |
| Varejo        | 71.370  | 73.527    | 82.834  | 82.772  | 82.832  | 82.831  | 82.843  | 82.834  | 82.858   | 82.816  | 82.803   | 82.864   |

Nota-se que há queda na receita obtida de alguns segmentos, sendo isso natural devido à diminuição de volume distribuído aos mesmos, havendo, nos segmentos que o volume foi maior, receita maior. Porém, somando-se os valores apresentados, chegou-se a um valor de receita total no ano de aproximadamente R\$9,1 milhões. Por fim, calculou-se a lucratividade da nova distribuição, a partir dos valores apresentados, apresentada na tabela 8:

**Tabela 8.** Lucratividade obtida ao longo do ano com a distribuição otimizada.

|               | Janeiro | Fevereiro | Março  | Abril  | Maior  | Junho  | Julho  | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|---------------|---------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------|----------|----------|
| Grandes       | 11.442  | 11.436    | 13.421 | 13.336 | 13.690 | 13.414 | 13.161 | 13.684 | 13.488   | 13.719  | 13.740   | 13.542   |
| Padarias      | 16.091  | 16.091    | 18.967 | 18.948 | 18.966 | 18.965 | 18.970 | 18.967 | 18.978   | 18.960  | 18.957   | 18.985   |
| Domicílio     | 1.933   | 1.934     | 2.249  | 2.219  | 2.271  | 2.247  | 2.138  | 2.271  | 2.266    | 2.269   | 2.268    | 2.275    |
| Supermercados | 7.208   | 7.203     | 8.659  | 8.347  | 9.558  | 8.630  | 7.910  | 9.559  | 8.994    | 9.555   | 9.553    | 9.361    |
| Institucional | 4.769   | 4.766     | 5.140  | 5.150  | 5.141  | 5.141  | 5.139  | 5.140  | 5.136    | 5.143   | 5.145    | 5.135    |
| Varejo        | 6.515   | 6.712     | 7.561  | 7.556  | 7.561  | 7.561  | 7.562  | 7.561  | 7.564    | 7.560   | 7.559    | 7.564    |

Assim, somando-se os valores da tabela, tem-se que a lucratividade total com a nova distribuição proposta seria de, aproximadamente, R\$660 mil.

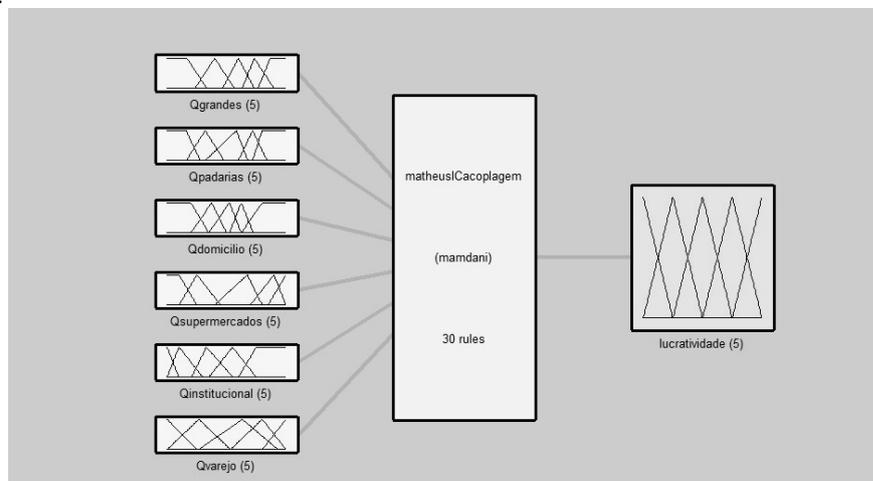
### 3.3 Validação dos Resultados

Com a nova proposta de distribuição, identificou-se a necessidade de um modelo matemático de validação das soluções propostas ao problema. Com isso, foi feito um terceiro modelo, que atribuiria uma nota à distribuição realizada com o volume total disponível. Com auxílio do gerente de distribuição, especialista do problema, bem como aplicação da metodologia simplex na ferramenta de otimização matemática linear *solver*, do Microsoft® Excel®, foi montado novo modelo matemático baseado

em regras fuzzy, que possuía como variáveis de entrada os volumes a se distribuir para cada um dos seis segmentos em estudo e como variável de saída uma “nota” avaliativa da lucratividade da distribuição proposta. Essa “nota”, chamada aqui de índice de lucratividade, nada mais é do que a relação:

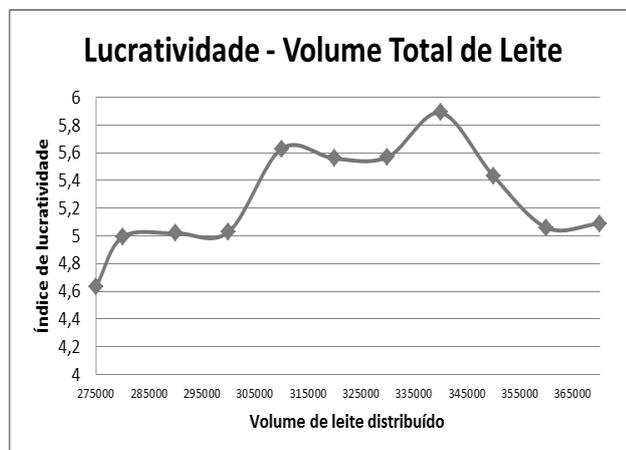
$$\text{Índice de Lucratividade} = \frac{\text{Lucratividade Total}}{\text{Volume Vendido}}$$

Sendo assim, analisou-se cada caso entre os estudados e, com o apoio do gerente de distribuição, atribuiu-se aos mesmos índices de lucratividade, elaborando-se ao final o modelo baseado em regras fuzzy que fornecia essa nota, facilitando a avaliação da distribuição logística. A estrutura geral do modelo de validação é mostrada na figura 7:



**Fig. 7.** Estrutura geral do modelo de avaliação desenvolvido na fuzzy toolbox<sup>TM</sup> do MatLab<sup>®</sup>.

Essa rotina facilitou permitiu fazer a interface do MatLab<sup>®</sup> mais amigável, apenas solicitando os dados e fornecendo o resultado da modelagem, sem exigir do usuário conhecimentos específicos ou contato com a fuzzy toolbox<sup>TM</sup> do software. Contudo, ao fim da elaboração do modelo de avaliação e a posterior observação do comportamento dos dados, notou-se que, ainda com uma reformulação nas regras de distribuição, otimizando sua lucratividade, a partir de alguns volumes totais de leite disponíveis, a lucratividade por litro diminuía, o que mostrou que, para volumes muito altos não seria mais economicamente tão interessante à empresa distribuir leite no dado mês. Isso pode ser observado no gráfico da Figura 8, no qual se observa uma queda da lucratividade para volumes de venda acima de 345 mil litros de leite.



**Fig. 8.** Relação entre volume de leite total distribuído e lucratividade por litro.

Isso ocorreu pois o modelo de regras fuzzy de distribuição otimizado priorizava os segmentos observados como mais rentáveis à Xandô, que eram as Padarias, a venda Institucional e o Pequeno Varejo. Estes, que aliam altos preços de venda e índices de lucratividade, são os que contribuem mais significativamente para que a distribuição se torne lucrativa. Porém, a partir de certo volume disponível, estes mercados já foram abastecidos com o máximo de suas capacidades, restando apenas, além da entrega a domicílio, que possui baixíssimo limite máximo e é totalmente abastecida com facilidade, os Supermercados e as Grandes Redes, que, apesar da alta presença de mercado observada pelo gerente de distribuição, possuem os piores índices de lucratividade da análise, e diminuem drasticamente a lucratividade por litro de leite vendido.

#### 4 Conclusões

A pesquisa forneceu modelos computacionais que permitiram ao decisor logístico avaliar suas tomadas de decisão, bem como aperfeiçoá-las, buscando a cada período uma melhora do lucro. A utilização e avaliação da distribuição com esses modelos mostraram, em análise de situações extremas, quais são as opções de um gerente de distribuição em casos de escassez ou excesso de produtos em estoque.

Contudo, algumas limitações ainda não permitem a generalidade do modelo para casos distintos, ou de diferentes segmentos, pois o período avaliado, apesar de contemplar todas as etapas do ciclo de lactação do gado, não permitiu acompanhar se estes níveis de produção variam ano a ano, e quanto é essa variação. Além disso, variáveis qualitativas, que poderiam ser levadas em conta na análise conceitualmente, como presença de mercado e visibilidade nos segmentos varejistas, bem como percentual de devolução ou perda de leite em cada segmento, não foram incluídas.

Isto mostra abertura de possibilidades para desenvolvimento dessa metodologia, considerando e avaliando mais variáveis qualitativas, ou mesmo trabalhando essas variáveis para o caso de outros produtos.

**Agradecimentos:** Em especial ao CNPq por fomentar esta pesquisa.

## Referências

1. BALLOU, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
2. BARROS, L.C.; BASSANEZI, R. C. Introdução à teoria *Fuzzy*: Aplicações em Biomatemática. Unicamp, Campinas, 2010.
3. BENINI, L.C.; MENEGUETTE, M. Modelagem Neuro-Fuzzy com apoio do MATLAB. UNESP, Presidente Prudente, 2008.
4. BENINI, L.C.; MENEGUETTE, M. Uma abordagem para modelagem de dados com o uso de sistemas neuro-fuzzy: aplicações geoespaciais. Notas em Matemática Aplicada. SBMAC - UNESP, Presidente Prudente, 2009.
5. BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J., COOPER, M. B. Gestão Logística de Cadeia de Suprimentos. Porto Alegre: Bookman, 2006.
6. CAMARGOS, F. L. Lógica Nebulosa: uma abordagem filosófica e aplicada. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
7. CASTANHO, M.J.P.; PEIXOTO, M.S. Minicurso: Teoria dos Conjuntos Fuzzy no MatLab. Congresso Brasileiro de Sistemas Fuzzy. Sorocaba, 2010.
8. CHOPRA, S., MEINDL, P. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
9. COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS – CSCMP. Supply Chain/Logistics Definition. Disponível em: <<http://cscmp.org/AboutCSCMP/Definitions/Definitions.asp>>. Acesso em: 01 abril, 2011.
10. CRISTOPHER, M. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Criando Redes que Agregam Valor. São Paulo: Thomson, 2007.
10. DELGADO, M.R.B.S. Projeto automático de sistemas nebulosos: uma abordagem coevolutiva. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Unicamp, Campinas, 2002.
11. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Produção de Leite no Sudeste do Brasil: Importância Econômica. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteSudeste/importancia.html>>. Acesso em: 1 abril, 2011.
12. FLEURY, P. F., WANKE, P., FIGUEIREDO, K. F. Logística Empresarial: A Perspectiva Brasileira. São Paulo: Atlas, 2000.
13. GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R.; TANSCHKEIT, R. Conceitos Fundamentais da Teoria de Conjuntos Fuzzy, Lógica Fuzzy e Aplicações. Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial, FEE-Unicamp, 2002.

14. KLIR, G.J.; YUAN, B. -Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Prentice Hall, N. Jersey, 1995.
15. LIMA, M. P. Custos Logísticos na Economia Brasileira. Revista Tecnológica, São Paulo, v. 11. n. 122. p. 64-69, 2006.
16. OLIVEIRA JUNIOR, H. A. (Coord.) et al. Inteligência Computacional Aplicada à Administração, Economia e Engenharia em Matlab®. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
17. PEDRYCZ, W. ; GOMIDE, F.A.C. An Introduction to Fuzzy Sets – Analysis and Design, MIT Press, 1998.
18. PEIXOTO, M. S. ; BARROS, L. C. ; BASSANEZI, R. C. . Predator prey fuzzy model. Ecological Modelling, v. 214, p. 39-44, 2008a.
19. PEIXOTO, M. S. ; BARROS, L. C. ; BASSANEZI, R. C. A model of Cellular Automata for the spatial and temporal analysis of Citrus Sudden Death with the fuzzy parameter. Ecological Modelling, v. 214, p. 45-52, 2008b.
20. PEIXOTO, M. S. ; BARROS, L. C. ; BASSANEZI, R. C. Uma Abordagem Fuzzy para um Modelo Presa-predador Acoplado ao Parasitismo. TEMA. Tendências em Matemática Aplicada e Computacional, v. 1, p. 119-128, 2007.
21. PEIXOTO, M.S. Sistemas Dinâmicos e Controladores Fuzzy: um Estudo da Dispersão da Morte Súbita dos Citros em São Paulo. Tese de Doutorado. IMECC- Unicamp, Campinas, 2005.
22. RIBACIONKA, F. – Sistema Computacionais Baseados em Lógica Fuzzy. Tese de Mestrado. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 1999.
23. SANDRI, S., CORREA, C. Lógica Nebulosa. São José dos Campos: ITA, 1999. Disponível em: <<http://www.ele.ita.br/cnrm/minicursos-5ern/log-neb.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2007.
24. SILVA, S. F. Identificação de Torque de Carga em Motores de Indução Usando Abordagem Baseada em Sistemas *Fuzzy*. São Carlos: USP, 2007. 95 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 2007.
25. SANTOS, A. V. N.; Felix, L. B; VIEIRA, J. G. V. Estudo da logística de distribuição física de um laticínio utilizando lógica fuzzy. Revista Produção, volume 22, número 4, 2012 [no prelo].
26. ZADEH, L.A. Fuzzy Sets. Informat. Control, v. 8, p. 338-353, 1965.
27. ZADEH, L.A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, v.3:29, n.1, 28-44, jan. 1973.

# Autômato Celular da Propagação do HIV em uma População de Homossexuais com Parâmetros Fuzzy

**Bruno Luiz Pereira\***

Faculdade de Engenharia Mecânica-UFU  
Uberlândia, MG  
E-mail: bruno\_luiz@meca.ufu.br

**Rosana Sueli da Motta Jafelice**

Faculdade de Matemática-UFU  
Uberlândia, MG  
E-mail: rmotta@ufu.br

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é a partir das informações do sistema de equações (1) construir um autômato celular para estudar a propagação do HIV em uma população de homossexuais, sem o uso de medicamentos antiretrovirais. As variáveis do sistema de equações diferenciais ordinárias são:  $X(t)$ ,  $Y(t)$ ,  $Z(t)$ ,  $A(t)$  e  $N(t)$ , respectivamente, o número de indivíduos suscetíveis, indivíduos que estão no período de infecção aguda, assintomáticos, sintomáticos e o número total de indivíduos homossexuais do sexo masculino, baseado em [1] propomos um modelo determinístico:

$$\begin{aligned}\frac{dX}{dt} &= B - \mu X - \lambda_1 cX - \lambda_2 cX, & \lambda_1 &= \beta_1 \frac{Y}{X + Y + Z} & e & \lambda_2 = \beta_2 \frac{Z}{X + Y + Z} \\ \frac{dY}{dt} &= \lambda_1 cX + \lambda_2 cX - (v + \mu)Y \\ \frac{dZ}{dt} &= (1 - p)vY - (\mu + k)Z \\ \frac{dA}{dt} &= pvY - kZ - (d + \mu)A \\ N(t) &= X(t) + Y(t) + Z(t) + A(t).\end{aligned}\tag{1}$$

Os parâmetros do sistema (1) são:  $B$  é a taxa de aparecimento de suscetíveis por ano,  $\mu$  é a taxa de mortalidade de uma população devido a causas naturais por ano,  $\lambda_1$  é a probabilidade de adquirir a infecção por meio da relação sexual com parceiro na fase aguda de infecção dentre parceiros aleatórios,  $\lambda_2$  é a probabilidade de adquirir a infecção por meio da relação sexual com parceiro assintomático dentre parceiros aleatórios,  $\beta_1$  é a probabilidade de se adquirir a infecção de um parceiro com infecção aguda,  $\beta_2$  é a probabilidade de se adquirir a infecção de um parceiro assintomático,  $c$  é a taxa que representa o número de parceiros sexuais por ano,  $v$  é a taxa de saída de indivíduos da classe dos infecciosos,  $k$  é a taxa de saída de indivíduos da classe dos assintomáticos para os sintomáticos por ano,  $p$  é a proporção dos infecciosos que saíram desta fase e se tornaram diretamente sintomáticos e  $d$  é a porcentagem da população sintomática que morre devido ao HIV por ano.

Construímos um autômato celular para descrever a dinâmica de propagação do HIV, onde vivem artificialmente indivíduos suscetíveis, indivíduos que estão no período de infecção aguda, assintomáticos e sintomáticos. A simulação é realizada em um ambiente computacional bidimensional com grade retangular e condições de fronteira toroidal [3], os indivíduos são inicialmente colocados de forma aleatória e movimentam-se horizontalmente, verticalmente ou diagonalmente. A Figura 1 é uma foto do autômato celular, onde as células brancas representam os indivíduos suscetíveis, as vermelhas os indivíduos na fase aguda, as amarelas os assintomáticos, as pretas os sintomáticos e as células com cor marrom, o planeta em que os indivíduos vivem.

---

\*Agradecemos à FAPEMIG e ao CNPq (processo 477918/2010-7).

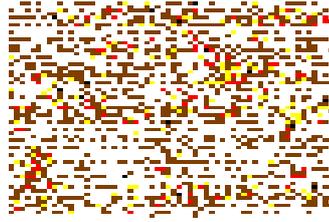


Figure 1: Foto do Autômato Celular.

Para simular o autômato celular, construímos dois Sistemas Baseados em Regras Fuzzy (*SBRF*), onde a variável de entrada é o tempo a partir do início da infecção e as variáveis de saída de  $SBRF_1$  e  $SBRF_2$  têm significados análogos aos parâmetros  $\beta_1$  e  $\beta_2$  do sistema (1), respectivamente. Estes valores são incertos, mas possuem relação com a carga viral dos indivíduos [4], que por sua vez é função do tempo de infecção [2], portanto é possível considerá-los como parâmetros fuzzy.

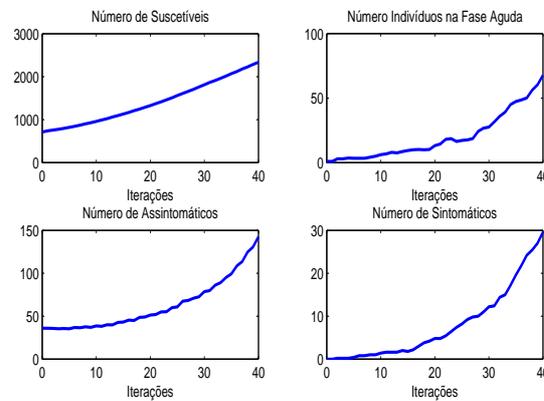


Figure 2: Resultados do Autômato Celular.

A Figura 2 apresenta os gráficos da evolução no tempo dos indivíduos suscetíveis, com infecção aguda, assintomáticos e sintomáticos, obtidos a partir do autômato celular. O comportamento qualitativo destes gráficos está compatível com a solução numérica do sistema (1) quando utilizamos parâmetros reais obtidos na literatura.

**Palavras-chave:** Autômato Celular, HIV, Teoria dos Conjuntos Fuzzy.

## Referências

- [1] ANDERSON, R. M.; MAY, R. M.; JOHNSON, A. M. A preliminary study of the transmission dynamics of the human immunodeficiency virus HIV, the causative agent of AIDS, 1986.
- [2] JAFELICE, R. M. *Modelagem Fuzzy para Dinâmica de Transferência de Soropositivos para HIV em Doença Plenamente Manifesta*. Tese de Doutorado, FEEC - UNICAMP, 2003.
- [3] JAFELICE, R. M.; SILVA, P. N. *Cellular Automata - Simplicity Behind Complexity*. Studies on Population Dynamics Using Cellular Automata, p. 105 – 130. Intech, 2011.
- [4] RACHID, M.; SCHECHTER, M. *Manual de HIV/AIDS*, Oitava Edição Revista e Ampliada, Revinter, 2005.

# Controle ótimo de sistemas p - fuzzy com crescimento inibido

**Chryslaine M. Pereira**

CMCC - Universidade Federal do ABC  
09210-170, Santo André, SP  
E-mail: chryslaine.pereira@ufabc.edu.br

**Rodney C. Bassanezi.**

CMCC - Universidade Federal do ABC  
09210-170, Santo André, SP  
E-mail: rodney@ime.unicamp.br

## RESUMO

A modelagem matemática de fenômenos naturais, por meio de sistemas dinâmicos, pode estar sujeita a incertezas inerentes aos parâmetros das equações que descrevem tais fenômenos. Por exemplo, em problemas de dinâmica populacional nem sempre é possível saber exatamente a quantidade de indivíduos ou a capacidade suporte em uma determinada região. Também nem sempre é possível, por dificuldade técnica ou falta de informação, incorporar todas as leis necessárias para descrever o fenômeno estudado. Desta forma, a subjetividade é um importante fator que deve ser considerado na modelagem matemática. Para fenômenos modelados por equações diferenciais, existem algumas alternativas de modelagem clássica que contemplam incertezas inerentes aos parâmetros e condições iniciais. Dentre as mais importantes se destacam as equações diferenciais estocásticas e a teoria de inclusões diferenciais. No caso em que as leis que regem os fenômenos não são bem conhecidas uma das principais alternativas são os sistemas baseados em regras fuzzy ou sistemas p - fuzzy.

Neste trabalho iremos apresentar alguns resultados que temos obtido aplicando a teoria de controle ótimo em sistemas p - fuzzy. Para isto vamos considerar o problema de minimizar o funcional

$$J(x, u) = \int_0^T \left[ (x - a)^2 + u^2 x^2 \right] dt$$

sujeito à restrição

$$\frac{dx}{dt} = g(x, u), \quad x(0) = x_0 > 0,$$

de duas maneiras distintas: no primeiro caso  $g(x, u) = G(x) - ux$  e no segundo, consideramos  $g(x, u) = (G(x) - u)x$  no qual  $G(x)$  é determinado por uma base de regras.

Para a variável de entrada  $x$  os termos linguísticos são: *baixo*, *médio baixo*, *médio*, *médio alto*, *alto* e *altíssimo*. Já para a variável de saída  $G(x)$ , os termos linguísticos são: *baixo negativo*, *baixo positivo*, *médio baixo*, *médio*, *médio alto* e *alto*. As variáveis  $x$  e  $G(x)$  estão relacionadas pela base de regras:

1. Se  $x$  é baixo então  $G(x)$  é alto;
2. Se  $x$  é médio baixo então  $G(x)$  é médio alto;
3. Se  $x$  é médio então  $G(x)$  é médio;
4. Se  $x$  é médio alto então  $G(x)$  é médio baixo;
5. Se  $x$  é alto então  $G(x)$  é baixo;
6. Se  $x$  é altíssimo então  $G(x)$  é baixo negativo.

A dinâmica gerada por essa base de regras apresenta um crescimento inibido para a variável  $x$  que pode ser usada na modelagem de problemas de dinâmica populacional com capacidade suporta.

Finalmente, devemos fazer uma análise comparativa entre os diversos modelos matemáticos de controle - determinístico e fuzzy. Algumas simulações numéricas serão apresentadas com o objetivo de ilustrar os resultados alcançados.

**Palavras-chave:** Controle ótimo, sistemas p - fuzzy, base de regras, crescimento inibido.

## Referências

1. Barros, L. C.; Bassanezi R. C. *Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática*. Coleção IMECC - Textos didáticos 5, Campinas, 2006.
2. Cecconello, M. S. *Sistemas dinâmicos em espaços métricos fuzzy - Aplicações em Biomatemática*. Tese de Doutorado, IMECC - UNICAMP, 2010.
3. Cecconello, M. S.; Bassanezi, R. C.; Silva, J. D. M. *Modelagem alternativa para dinâmica populacional: Sistemas Dinâmicos Fuzzy*. Pub. da SBMAC, Águas de Lindoia, 2010.
4. Craven, B. D. *Control and Optimization*. Ed. Chapman & Hall, 1995.
5. Silva, J. D. M. *Análise de estabilidade de sistemas p - fuzzy*. Tese de Doutorado, IMECC - UNICAMP, 2005.

# Índice de Qualidade do Ar utilizando Lógica Fuzzy

Amanda Ferreira Ribeiro\*

José Arnaldo Frutuoso Roveda Sandra Regina Monteiro Masalskiene Roveda

Universidade Estadual Paulista  
Avenida Três de Março, 511  
Alto da Boa Vista  
18087-180, Sorocaba, SP

**Palavras-chave:** *qualidade do ar, índice, sistema de inferência fuzzy.*

## Resumo

Atualmente, a poluição atmosférica representa um dos grandes problemas nas grandes cidades. No entanto, este é um problema que está presente há muito tempo, variando apenas em sua intensidade. As emissões de poluentes estão presentes desde o começo das civilizações, sejam elas naturais (vulcões e queimadas naturais) ou causadas pelo homem.

Com o aumento da industrialização nos séculos 18 e 19, os efeitos das emissões de poluentes no ar foram cada vez mais percebidos pela população. Mas, é apenas no início do século 20 que o controle da qualidade do ar começou a ser de fato posto em prática. Inicialmente os esforços se concentravam no entendimento das emissões e nos processos de dispersão, que acabaram desencadeando desenvolvimento tecnológico para controlar tais processos.

No Brasil, a criação do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) pela Resolução CONAMA, n.º 005/89 representou um avanço do país no intuito de promover a gestão ambiental, o desenvolvimento socioeconômico e ainda o respeito ao ser humano. A Resolução CONAMA, n.º 003/90 estabeleceu quais seriam os padrões de qualidade do ar, definindo o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a proteção da saúde e do meio ambiente. Como padrões nesta Resolução, estão inclusos os seguintes poluentes: dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, monóxido de carbono (CO), ozônio (O<sub>3</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). É sabido que quando estes compostos estão acumulados em altas concentrações, afetam mais significativamente a saúde, produzindo efeitos biologicamente significativos. Entretanto, tem-se percebido que mesmo em baixos níveis de exposição, eles podem causar doenças e até mesmo levar a morte (ORGANIZAÇÃO PAN AMERICANA DE SAÚDE).

O entendimento explícito dos parâmetros determinantes da condição ambiental é fator necessário para se estimar não só a qualidade do ar, mas sobretudo a qualidade de vida da população, ainda que os ecossistemas sejam muito complexos. Consequentemente, a definição de políticas públicas tem exigido a utilização de ferramentas de avaliação que agreguem e quantifiquem informações de maneira explícita. Neste contexto, a adoção de indicadores e índices tem sido um importante instrumento para difundir informação já que traduzem a complexidade das condições

\*Aluna de Iniciação Científica

ambientais das cidades em termos de compreensão mais simples, geralmente expressos em um único número.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB), monitora, entre outros, os poluentes para os quais foram estabelecidos Padrões de Qualidade do Ar e desde 1981 utilizam um índice para divulgar esses resultados.

Este índice é obtido através de uma função linear segmentada que normaliza as concentrações dos poluentes observados, fornecendo assim um número adimensional que é classificado de acordo com a seguinte escala: Qualidade do Ar BOA: entre 0 e 50; REGULAR: entre 51 e 100; INADEQUADA: entre 101 e 199; MÁ: entre 200 e 299; PÉSSIMA: acima de 300. Para divulgação ao público é considerado o valor mais elevado dentre os poluentes medidos na estação, isto significa que a qualidade do ar em uma estação é determinada pelo pior caso dentre os parâmetros medidos (CETESB, 2011).

O objetivo deste trabalho é construir um índice de qualidade do ar que possa ser obtido levando-se em consideração o que ocorre com todos os parâmetros envolvidos no processo e não apenas como sendo o resultado do pior deles. Um sistema de inferência fuzzy está sendo elaborado para o cálculo deste índice. Escolheram-se os mesmos parâmetros que compõem o Índice de Qualidade do Ar apresentado pela CETESB (2011), dentre os quais: dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), material particulado (MP10), fumaça, monóxido de carbono (CO), ozônio (O<sub>3</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) para compor o modelo. Para cada um dos parâmetros foram construídas as funções de pertinência considerando as suas particularidades. A base de regras, elaborada conjuntamente com um especialista, procura trazer para a avaliação do índice as considerações científicas mais significativas de cada parâmetro. Estão sendo feitas simulações com dados hipotéticos para validar a metodologia, para depois submetê-la aos dados reais de cada parâmetro disponibilizado pela CETESB.

## Referências

1. BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática. Campinas: IMECC, 2006. (Coleção IMECC – Textos didáticos, v. 5).
2. MENDOZA, G. A.; PRABHU, R. Fuzzy methods for assessing criteria and indicators of sustainable forest management. Ecol. Indic. n. 3 (2003), p. 227-236.
3. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA, 1989. Resolução CONAMA n° 005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=1989>>. Acesso em: 18 de abril de 2012.
4. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA, 1990. Resolução CONAMA n° 003. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=1990>>. Acesso em: 18 de abril de 2012.

5. ORGANIZAÇÃO PAN AMERICANA DA SAÚDE. 2012. Disponível em:<<http://www.opas.org.br/ambiente/temas.cfm?id=41&area=Conceito>>. Acesso em: 18 Abril 2012.
6. PYKH, Y. A.; KENNEDY, E. T.; GRANT, W. E. An overview of systems analysis methods in delineating environmental quality indices. *Ecological Modeling*, n. 130 (2000), p. 25-38.
7. ROVEDA, S. R. M. M.; BONDANÇA, A. P. M.; SILVA, J. G. S.; ROVEDA, J. A. F.; ROSA, A. H. Development of a Water Quality Index Using a Fuzzy Logic: A case Study for the Sorocaba River. In: *WORLD CONGRESS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE, 2010, Barcelona. Anais...* Barcelona: WCCI, 2010, p. 1175-1179.
8. ROVEDA, J. A. F.; MOTA, M. T.; ROVEDA, S. R. M. M.; LOURENÇO, R. W.; MARTINS, A. C. G. Fuzzy Environmental Quality Index. In: *WORLD CONGRESS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE, 2010, Barcelona. Anais...* Barcelona: WCCI, 2010, p. 1608-1613.
9. SILVERT, W. Fuzzy indices of environmental conditions. *Ecological Modeling*, n. 130 (2000), p. 111-119.
10. QUALAR.2012.Disponível em:<[www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/32qualar](http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/32qualar)>. Acesso em: 18 Abril 2012.

# Lógica *Fuzzy* Aplicada ao Processo de Decisão Sobre Áreas de Pesquisa em Trabalhos de Conclusão de Curso

Jessica da Silva Santos e Alcides Xavier Benicasa

Departamento de Sistemas de Informação - DSI, Universidade Federal de Sergipe  
Itabaiana-SE, Brasil

{jessica.ufs@hotmail.com,alcides@ufs.br}

**Resumo** Este artigo objetiva o desenvolvimento de um modelo a ser utilizado como ferramenta de apoio ao processo de decisão sobre áreas de pesquisa para a elaboração de trabalhos de conclusão de curso, utilizar a interdisciplinaridade e o censo comum para a análise do aproveitamento de disciplinas e, finalmente, fornecer resultados adequados à perfis específicos usando como alicerce a lógica *Fuzzy*. Para desenvolvimento e validação do sistema proposto utilizamos como alimentação dados de egressos do curso de Sistemas de Informação, porém o modelo proposto pode ser direcionado à qualquer área de domínio.

**Keywords:** Lógica *Fuzzy*; Tomada de Decisão; Trabalho de Conclusão de Curso;

## 1 Introdução

Dentre os desafios submetidos aos discentes de cursos superiores, escolher corretamente uma área específica não é uma tarefa trivial. A diversificação das grades que compõem atualmente os cursos tem como objetivo trabalhar subáreas da área de domínio escolhida pelo discente, envolvendo todo o processo interdisciplinar necessário. Entretanto, a afinidade por áreas específicas ocorrem de acordo com o próprio perfil.

A informação que irá nortear a área apropriada ao discente é o ponto principal a ser analisado, pois se trata da representação computacional do conhecimento de um ou mais especialistas. Considerando os padrões de aproveitamento de disciplinas, existem valores estáticos de graus para a definição de conceitos como, por exemplo, excelente, bom, regular e insuficiente. O conceito excelente, por exemplo, é atribuído para graus entre [9..10] e o conceito bom para valores entre [8..9]. Desta forma, um aproveitamento de valor 8.99 será conceituado bom, porém, ao utilizarmos o censo comum e a proximidade, o grau 8.99 seria conceituado como excelente.

Este trabalho objetiva desenvolver um modelo a ser utilizado como ferramenta de apoio ao processo de decisão sobre áreas de pesquisa para a elaboração

de trabalhos de conclusão de curso, utilizar a interdisciplinaridade e o censo comum para a análise do aproveitamento de disciplinas e, finalmente, fornecer resultados adequados à perfis específicos.

Contudo, sistemas convencionais não tratam o censo comum e, portanto, para o desenvolvimento deste trabalho será proposto um sistema com uso de lógica *fuzzy*, por ser uma teoria que trata de valores imprecisos, definidos em um intervalo de valores e não de um valor exato.

No decorrer deste trabalho serão apresentadas as principais características de sistemas *fuzzy*, enfocando principalmente o modelo de inferência de mandani, utilizado neste trabalho.

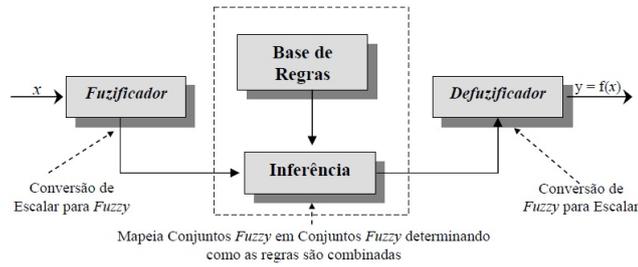
## 2 Sistemas *Fuzzy*

O conceito de sistemas *fuzzy*, mais precisamente a lógica *fuzzy*, foi introduzido por [2]. Colocado inicialmente como uma extensão da lógica tradicional, ele se baseia em que uma proposição lógica não é necessariamente verdadeira ou falsa, mas possui, de fato, graus de verdade. Na teoria clássica dos conjuntos, o conceito de pertinência de um elemento a um conjunto é bem definido. Sendo assim, para um conjunto  $A$  contido em um universo  $X$ , os elementos deste universo simplesmente pertencem ou não àquele conjunto.

A teoria dos conjuntos *fuzzy* vem sendo utilizada para tratar problemas que envolvam informações imprecisas, ajudando no desenvolvimento de soluções, de forma a aproximar o comportamento humano, comparado à soluções encontradas utilizando a teoria clássica de conjuntos. Conforme descrito anteriormente, o conceito introduzido por [2] propôs também sua ampla caracterização, onde uma função característica permite assumir um número infinito de valores no intervalo de  $[0, 1]$ . Assim, podemos dizer que um conjunto *fuzzy*  $A$  em um universo  $X$  é definido por uma função de pertinência  $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$  que associa a cada elemento  $x$  de  $X$  um número  $\mu_A(x)$  no intervalo  $[0, 1]$ , o que representa o grau de pertinência de  $x$  em  $A$ .

O sistema *fuzzy* baseia-se na teoria de conjuntos *fuzzy* e regras *fuzzy*, utilizando o conceito de pertinência de cada elemento ao conjunto para modelar as regras imprecisas e seu processamento. De acordo com [5,6], uma das vantagens da abordagem da lógica *fuzzy* que pode-se citar é o fato de que em um sistema *fuzzy* o conhecimento é armazenado na forma em que o especialista humano o transmite.

De acordo com [1], um sistema *fuzzy* tem como objetivo modelar o modo aproximado de raciocínio, permitir o desenvolvimento de sistemas que imitam a habilidade humana em tomar decisões racionais em um ambiente de incerteza e imprecisão, capturando informações imprecisas da linguagem natural, convertendo-as para a forma numérica. Ao descrever um sistema que sugere uma área de pesquisa para o discente, existe a necessidade de expressar dados que se apresentam de uma forma incerta, para isto devemos considerar o senso comum de especialistas ao analisar a interdisciplinaridade para a análise do aproveitamento de disciplinas. Desta forma, com um sistema modelado uti-



**Figura 1.** Esquema do modelo de inferência de Mamdani

lizando lógica *fuzzy*, torna-se possível obtermos resultados adequados para cada perfil apresentado.

## 2.1 Base de Conhecimento

A maneira mais comum de armazenar informações em uma base de conhecimento é a sua representação por meio de regras de produção. Esta definição, assim como grande parte das definições referente aos processos envolvidos no modelo de inferência de Mamdani, foi referenciada ao trabalho de Almeida apud [4].

Uma regra de produção normalmente é formada por duas partes principais:

$$\mathbf{if} \langle \textit{antecedente} \rangle \mathbf{then} \langle \textit{consequente} \rangle, \quad (1)$$

onde o *antecedente* é composto por um conjunto de condições que, quando satisfeitas (mesmo parcialmente), determinam o processamento do *consequente* da regra por um mecanismo denominado de inferência *fuzzy*, descrevendo assim o disparo de uma regra. Por sua vez, o *consequente* é composto por um conjunto de ações ou diagnósticos que são gerados com o disparo da regra. Os *consequentes* das regras disparadas são processados em conjunto para gerar uma resposta determinística para cada variável de saída do sistema.

## 2.2 Modelo de Inferência de Mamdani

A semântica é que vai definir para o mecanismo de inferência como serão processados os *antecedentes*, quais serão os indicadores de disparo das regras e quais os operadores utilizados sobre os conjuntos nebulosos existentes para executar o processamento de conhecimento. Tipicamente, utilizam-se modelos de inferência *fuzzy* específicos de acordo com as propriedades sintáticas definidas, ou seja, o modelo de processamento definido para o sistema de conhecimento vai depender basicamente da forma de armazenamento de informações escolhida [7]. A Figura 1 demonstra o esquema do modelo de inferência proposto por Mamdani.

O modelo de Mamdani inclui módulos de interface que mapeiam variáveis de entrada em conjuntos *fuzzy* equivalentes e, posteriormente, os valores *fuzzy*

**Tabela 1.** Base de Conhecimento

| Regras | Entradas    |            |             |            |            | Saídas   |   |                                |  |                              |                              |
|--------|-------------|------------|-------------|------------|------------|--|---|--------------------------------|--|------------------------------|------------------------------|
|        | <i>vPRG</i> | <i>vBD</i> | <i>vPDS</i> | <i>vGI</i> | <i>vIA</i> | <i>sGIC</i><br>( <i>vPDS</i> e<br><i>vGI</i> ) | <i>sGP</i><br>( <i>vBD</i> e<br><i>vPDS</i> ) | <i>sESI</i><br>( <i>vPDS</i> ) | <i>sES</i><br>( <i>vPRG</i> e<br><i>vPDS</i> ) | <i>sIA</i><br>( <i>vIA</i> ) | <i>sBD</i><br>( <i>vBD</i> ) |
| 1      | O           | O          | O           | O          | O          | I  | I   | I                              | I  | I                            | I                            |
| 2      | O           | O          | B           | O          | O          | I  | I   | A                              | I  | I                            | -                            |
| 3      | O           | O          | S           | O          | O          | A  | F   | F                              | A  | A                            | -                            |
| 4      | B           | B          | O           | B          | B          | I  | I   | -                              | I  | A                            | A                            |
| 5      | B           | B          | B           | B          | B          | A  | A   | -                              | A  | A                            | -                            |
| 6      | B           | B          | S           | B          | B          | A  | F   | -                              | A  | F                            | -                            |
| 7      | S           | S          | O           | S          | S          | A  | A   | -                              | A  | A                            | F                            |
| 8      | S           | S          | B           | S          | S          | F  | F   | -                              | F  | F                            | -                            |
| 9      | S           | S          | S           | S          | S          | F  | F   | -                              | F  | F                            | -                            |

gerados em variáveis numéricas proporcionais, adequadas para os sistemas de atuação existentes.

A regra semântica tradicionalmente utilizada para o processamento de inferências com o modelo de Mamdani é chamada de inferência *Max – Min*. Utilizando operações de união e intersecção entre conjuntos, por meio de operadores de máximo e mínimo, respectivamente. Considerando uma regra de produção *fuzzy* genérica apresentada a seguir, o método de inferência *Max – Min* será detalhado a seguir:

$$\begin{aligned}
 &\text{if } x_1 = A_i \text{ and } x_2 = A_j \text{ and } \dots \text{ and } x_p = A_j \\
 &\quad \text{then } y_1 = B_i \text{ and } y_2 = B_m,
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

onde  $x_i$  são as entradas do sistema,  $A_1, \dots, A_j$ , são termos primários definidos nas partições *fuzzy* de cada variável de entrada,  $y_1$  e  $y_2$  são variáveis de saída e  $B_1, \dots, B_m$  são termos primários definidos em suas partições *fuzzy*.

Durante o processo de *fuzificação*, os *antecedentes* de cada regra são processados por meio da intersecção entre os graus de pertinência das entradas atuais nos termos primários definidos de cada uma. Este processo gera um grau de pertinência de disparo para cada regra de produção.

A Máquina de Inferência gera um grau de pertinência de ativação para cada regra, onde ocorre a implicação do operador escolhido. As regras de inferência são definidas na base de conhecimento em torno de declarações do tipo *if – then*, que descreve a ação a ser feita em resposta a várias entradas *fuzzy*.

Todas as regras para as quais o coeficiente de disparo for maior que zero são ditas regras que disparam para as entradas atuais. A conversão *fuzzy*-escalar transforma informações qualitativas em uma informação quantitativa, sendo um processo de especificação, chamado de *defuzificação*.

O método do centro de massa, ou centróide, é um dos mais utilizados para o processo de *defuzificação*, calcula-se, para um conjunto nebuloso de saída proveniente de uma base de conhecimento processada, a abscissa (no universo de

discurso definido para a variável em questão) do ponto de centro de massa correspondente, e a utiliza como valor escalar de saída.

### 3 O Modelo Proposto

Para desenvolvimento e validação do sistema proposto utilizamos como alimentação dados de egressos do curso de Sistemas de Informação, porém o modelo proposto pode ser direcionado à qualquer área de domínio. De maneira geral, o sistema receberá médias aritméticas de graus obtidos em grupos de disciplinas de teor comum e retornará a área de pesquisa mais adequada ao perfil.

As disciplinas da grade curricular foram agrupadas em subáreas, de acordo com a opinião de especialistas, com o objetivo de reduzir a quantidade de regras na base de conhecimento. Durante o processo de inferência, a média aritmética obtida em cada subárea é convertida em um conjunto de graus de pertinência, nos termos primários definidos para cada variável linguística. Consideramos as seguintes variáveis linguísticas de entrada: programação (*vPRG*), banco de dados (*vBD*), processo de desenvolvimento de software (*vPDS*), gestão da informação (*vGI*) e inteligência artificial (*vIA*). Devido a semelhança entre os termos primários, foram representados pelos seguintes conjuntos *fuzzy*: satisfatório (*S*), bom (*B*) e ótimo (*O*), representados empiricamente por funções triangulares.

Os vetores de pertinências obtidos, de acordo com o processo de inferência, foram utilizados para limitar os conjuntos *fuzzy* de cada variável linguística de saída, segundo a base de conhecimento definida. Consideramos as seguintes variáveis linguísticas de saída: gestão da informação e do conhecimento (*sGIC*), gerência de projetos (*sGP*), estratégia de sistemas de informação e modelos inovadores de negócios (*sESI*), engenharia de software (*sES*), inteligência artificial (*sIA*), sistemas distribuídos (*sSD*) e banco de dados (*sBD*). Cada variável linguística de saída, representada pelos conjuntos *fuzzy*: fora da área (*F*), apto à área (*A*) e área ideal (*I*), teve como objetivo indicar sua pertinência ao perfil imputado, apresentando, por meio do método de conversão *fuzzy* → escalar do centro de massa, um grau de aptidão para cada área em questão com valores entre  $[0 \dots 10]$ .

A base de conhecimento foi composta por um conjunto de regras, de acordo com o conhecimento de especialistas de cada área, constituindo um total de 87 regras (Tabela I). As regras, por questões de espaço, foram dispostas em 9 linhas, de forma que cada linha contenha informações de até 11 regras. Por exemplo, o valor *I* da linha 1 coluna *sGIC* representa a seguinte regra: se os conceitos obtidos na subárea de gestão da informação (*vGI*) e processo de desenvolvimento de software (*vPDS*) forem ótimos, a área de pesquisa de gestão da informação e do conhecimento (*sGIC*) seria indicada como área ideal (*I*).

## 4 Conclusão

O sistema *fuzzy* para o apoio à tomada de decisão sobre áreas de pesquisa foi validado por diversos especialistas de cada área, onde sugestões de áreas de pesquisa geradas pelo sistema, a partir de dados de discentes egressos, foram comparadas e validadas de acordo com a sugestão dos especialistas, o que vem a concluir o objetivo principal deste trabalho. É também importante observar que as áreas de pesquisas utilizadas neste trabalho, assim como a base de conhecimento, são peças de suma importância ao funcionamento do sistema, e seu refinamento sucessivo pode aumentar, de forma significativa, a inteligência geral do sistema e a abrangência de novas áreas de pesquisa.

## Referências

1. MENDEL, J. M. Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial. Proceedings of the IEEE, v. 83, p. 345–377 (1995)
2. ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. *Information and Control*, v. 8, p. 338–353 (1965)
3. ZADEH, L. A. Outline of a new approach to the analysis of complex system and decision processes. *IEEE, SMC-3*, NO.1, p. 28–44 (1973)
4. REZENDE, S. O. Sistemas Inteligentes - Fundamentos e Aplicações. Editora Manole Ltda. Barueri, SP (2003)
5. COX, E. The fuzzy Systems handbook, AP Professional, San Diego, 2nd edition (1998)
6. JAGER, R. Fuzzy Logic in Control. Ph.D. Thesis. Delft University of Technology. Delft, the Netherlands (1995)
7. TEODORO, F. H. Desenvolvimento de um sistema de inferência nebulosa para detecção e diagnóstico de falhas em transformadores de potência, XIII Encontro Regional Ibero Americano de Cigré (2009)

# Implementação e avaliação de um sistema especialista para apoio ao diagnóstico de toxocaríase visceral utilizando lógica *fuzzy* em linguagem PHP

Maureen Fernandes dos Santos<sup>1</sup>, Alex Jones Flores Cassenote<sup>2</sup> e Cristina Corrêa Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Tecnologia da Zona Leste - FATEC-ZL  
Av. Águia de Haia, 2983  
Cidade A. E. Carvalho - São Paulo - SP, Brasil.  
{maureen\_311@hotmail.com, crisolive@ig.com.br}

<sup>2</sup>Programa de Pós Graduação em Doenças Infecciosas e Parasitárias, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo.  
Av. Dr. Enéas de Carvalho Aguiar, 470, 05403-000 - São Paulo - SP, Brasil.  
{cassenote@usp.br}

A toxocaríase visceral é uma infecção causada pelas larvas de *Toxocara canis*, um nematoide comum de cães e *Toxocara cati*, de gatos. São parasitas intestinais em cães e gatos que infectam seres humanos acidentalmente. O diagnóstico definitivo da toxocaríase é realizado pela visualização da larva de *Toxocara spp* em tecidos do hospedeiro, porém, mesmo em biópsia hepática, este achado é raro, necessitando-se assim de outros meios laboratoriais para que a doença seja diagnosticada [1,2]. A lógica fuzzy tem sido aplicada em diversas áreas do conhecimento, sendo especialmente útil nas aplicações médicas e do diagnóstico, uma vez que as informações utilizadas no processo de decisão são incertas [3]. O objetivo do presente trabalho foi programar e avaliar um sistema especialista para apoio ao diagnóstico de toxocaríase visceral utilizando lógica fuzzy em linguagem PHP.

A linguagem escolhida para o desenvolvimento do sistema especialista foi PHP, que além de apresentar portabilidade com diversos sistemas operacionais e principalmente *open source*, permite o desenvolvimento de aplicações cliente e servidores com eficiência na utilização dos recursos de hardware [4]. O sistema desenvolvido para plataforma Web possui um formulário para entrada de variáveis associadas à doença. O sistema converterá esses atributos em três escores: o **escore epidemiológico (EE)** que considera geofagia, onicofagia, hábito de lavar as mãos, hábito de levar objetos à boca e número de cães na residência; o **escore laboratorial (EL)** que é a densidade ótica proveniente da sorologia e o número de eosinófilos; e o **escore clínico (EC)** que considera a presença de hepatomegalia, esplenomegalia, adenomegalia, e manifestações pulmonares (tosse, chiado e asma) e cutâneas (urticaria e eczema). O modelo linguístico que foi programado com adaptação de uma classe existente [5] é composto por 27

regras; o método de inferência Mamdani foi utilizado, sendo que a defuzzificação do consequente foi realizada pelo cálculo do centro de massa. Após a avaliação de cada caso o sistema retornará com valores quantitativos e qualitativos de risco, informando também uma sugestão de tratamento para o indivíduo que apresentar indicativo de doença (Fig. 1).

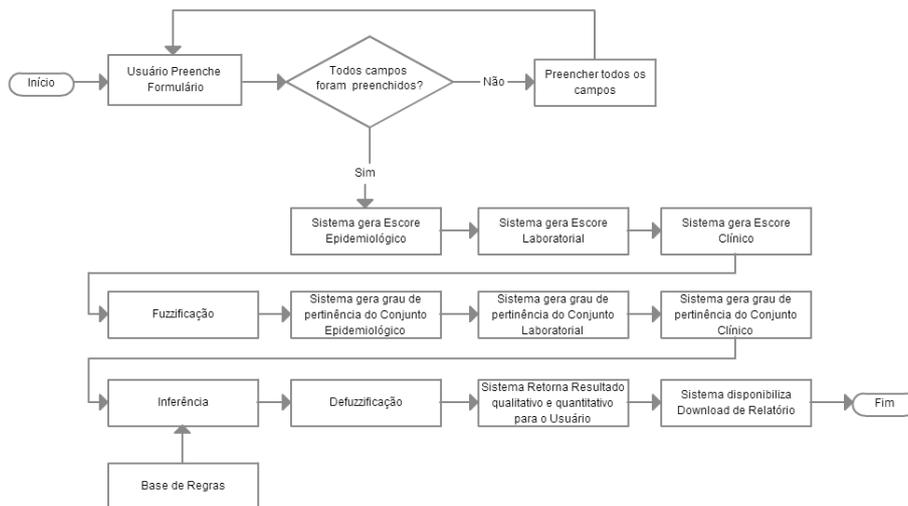


Fig. 1. Fluxograma do sistema para apoio ao diagnóstico de toxocaríase visceral utilizando lógica fuzzy em linguagem PHP.

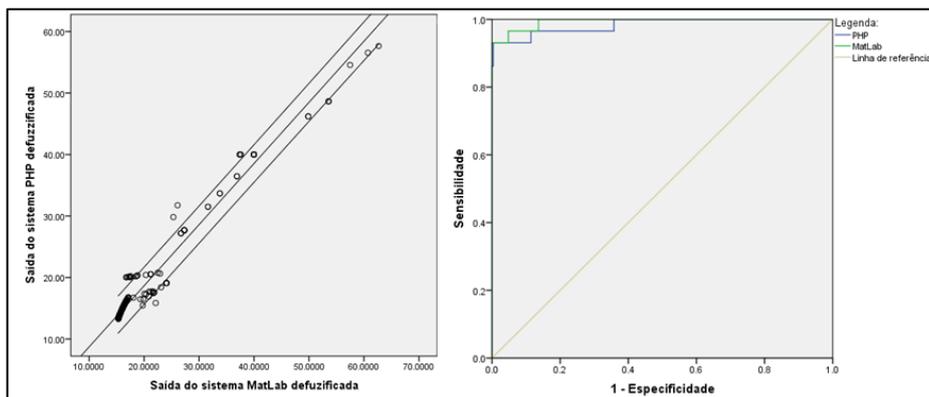


Fig. 2. Regressão linear e Curva ROC mostrando o desempenho do sistema especialista para apoio ao diagnóstico de toxocaríase visceral utilizando lógica fuzzy em linguagem PHP.

Para testar o sistema um banco de dados contendo características de 300 indivíduos com idades entre 1 e 12 anos provenientes do estudo de Cassenote (2010) [1] foi avaliado; a presença de doença foi definida por um médico infectologista utilizando de anamnese, exames laboratoriais e avaliação clínica individual. A prevalência de toxocaríase visceral nesse grupo foi de 12% (36). A acurácia do sistema em PHP será comparado com outro sistema desenvolvido pelos pesquisadores utilizando toolbox fuzzy do Matlab R2012a, que apresentou elevada concordância com o diagnóstico do médico infectologista especialista na doença.

A saída do sistema desenvolvido em PHP apresentou elevada correlação (Fig. 2) em relação à saída do sistema em Matlab ( $r=0.983$ ,  $p<0.001$ ). A área sob a curva ROC no sistema em PHP foi de 0.983 (IC95%: 0.958-1.00) e Matlab de 0.994 (IC95%: 0.984-1.00), apontando similaridade no desempenho excelente de ambas as ferramentas. Utilizando linguagem PHP foi possível realizar programação do sistema especialista acurado e portátil, que será disponibilizado na Web para servir os profissionais de saúde que fazem diagnósticos e tratamento desta parasitose.

**Palavras-chave:** toxocaríase visceral, sistema especialista, lógica Fuzzy, linguagem PHP

## Referências

- [1] CASSENOTE, A. Frequência de anticorpos anti-Toxocara spp em escolares do município de Fernandópolis-SP, Brasil e análise da contaminação do solo por ovos do parasito [Dissertação de Mestrado]. São Paulo (SP): Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo; 162p (2010).
- [2] Colli, C. M. et al. Serological, clinical and epidemiological evaluation of toxocaríasis in urban areas of south Brazil. Rev. Inst. Med. trop. S. Paulo, vol. 52 (2010).
- [3] Massad, E. et al. Fuzzy Logic in Action: Applications in Epidemiology and Beyond. p.379. Springer (2008).
- [4] Niederauer, J. Desenvolvendo Websites com PHP. São Paulo: Novatec Editora, vol. 2 (2011).
- [5] PHP. Hypertext Preprocessor. Function.ssdeep-fuzzy-hash. Disponível em: <<http://php.net/manual/en/function.ssdeep-fuzzy-hash.php>>. Acesso em 08 de maio de 2012.

# Modelagem Matemática do Crescimento Populacional da Cidade de Rio Branco - AC: Fuzzy x Determinístico

Isaac Silva <sup>1</sup>, Antonio Pontes Júnior <sup>1</sup>, Marcelo Silva <sup>2</sup>, and Laécio Barros <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UFAC  
69900-000, Rio Branco, AC  
isaacdbbs@yahoo.com.br, acfpjr@gmail.com

<sup>2</sup> IFRN - Departamento de Matemática  
Campus Natal  
richardufrn@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Campinas  
13082-970, Campinas, SP  
laeciocb@ime.unicamp.br

## RESUMO

Diversos trabalhos científicos da atualidade têm modelado matematicamente a dinâmica populacional de municípios do Brasil. Estes vão desde a interpolação dos dados relativos a quantidade de residentes dessas localidades até a utilização de ferramentas mais recentes como a lógica fuzzy, todos eles na tentativa de “prever” o comportamento da população evoluindo no tempo (ROVEDA et. al., 2009; ROCHA e BOTTA, 2009). Há uma dificuldade inerente aos modelos matemáticos para retratar a complexidade dos fenômenos envolvendo a dinâmica populacional cujos parâmetros são obtidos a partir de experimentos e observações que estão sujeitos a imprecisões e são elas que motivam a utilização da lógica fuzzy, que foi introduzida em 1965 por Zadeh (BARROS e BASSANEZI, 2010; ZADEH, 1965). Segundo CECCONELO (2006), uma ferramenta útil para modelagem de fenômenos cujo comportamento é parcialmente conhecido é o sistema dinâmico p-fuzzy.

Nesse Contexto, este trabalho tem a finalidade de apresentar e comparar o comportamento evolutivo da população de Rio Branco utilizando o modelo determinístico Verhulst e um modelo obtido por um sistema dinâmico p-fuzzy.

O município de Rio Branco - AC, capital do Estado do Acre, é onde vive a maior parte da população do Estado, com 336.038 habitantes, aproximadamente 45,8% da população do Acre e é o município mais desenvolvido do Estado. Esse quadro torna esse município como o alvo principal de ocupação e o centro atrativo da região. Essa condição e os impactos gerados pelo atual contexto regional estão desencadeando um processo de crescimento com alterações em sua estrutura urbana (SMGDU, 2011).

Existem vários modelos matemáticos determinísticos para prever o crescimento de populações, dentre eles destacamos o modelo de Verhulst. Nesse

modelo, a função de crescimento relativo é linear, decrescente com relação à população  $p$ , tende a zero a medida que a população se aproxima da capacidade suporte  $k$ . A variação populacional atinge seu valor máximo quando a população atinge a metade dessa capacidade suporte. A partir dessas hipóteses obtém-se a seguinte equação da matemática:

$$\frac{dp(t)}{dt} = \lambda p \left(1 - \frac{p}{k}\right) \quad (1)$$

sendo  $\lambda$  a taxa de crescimento intrínseca e  $p(t)$  é a população no instante  $t$ .

Para a modelagem fuzzy, feita aqui no sentido de estudo comparativo com o de Verhulst, optou-se por um modelo do tipo p-fuzzy, dado por Mamdani. Os sistemas p-fuzzy discretos têm a forma

$$\begin{cases} P_{k+1} = f(P_k) \\ t_0 \in \mathbb{R}^n \text{ dado} \end{cases} \quad (2)$$

sendo  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$  a função  $f(P) = P + \Delta P$  e  $\Delta P \in \mathbb{R}^n$  obtido por um sistema baseado em regras fuzzy (CECCONELO, 2006; BARROS e BASSANEZI, 2010). Tanto o sistema p-fuzzy quanto o sistema iterativo utilizam controladores fuzzy que são construídos a partir de um sistema baseado em regras fuzzy que têm como variáveis de entrada População  $P$  e de saída Variação da População ( $\Delta P$ ) (CECCONELO, 2006).

Para estimar a capacidade suporte nos dois modelos estudados, utilizou-se o método de Ford-Walford com os dados de população de Rio Branco do IBGE de 1970 a 2010, obteve-se a o valor de  $k = 734.910$  habitantes. Os resultados dos modelos matemáticos e a comparação deles em relação aos dados são mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Comparação entre os dados do Censo (IBGE) de Rio Branco-AC e os valores da população obtidos pelos dois modelos com os respectivos Erros:  $E_d$  (Erro Determinístico) e ( $E_f$  Erro Fuzzy)

| Ano  | Censo   | Determinístico | $E_d$    | Fuzzy   | $E_f$  |
|------|---------|----------------|----------|---------|--------|
| 1970 | 83.977  | 83.977         | 0        | 83.977  | 0      |
| 1980 | 117.101 | 125.802        | 0,0743   | 124.911 | 0,0666 |
| 1991 | 197.376 | 189.149        | -0,04168 | 188.722 | 0,0438 |
| 1996 | 227.438 | 224.030        | -0,01498 | 221.448 | 0,0263 |
| 2000 | 253.059 | 254.369        | 0,000518 | 251.668 | 0,0055 |
| 2007 | 290.639 | 311.540        | 0,07191  | 302.634 | 0,0413 |
| 2010 | 336.038 | 337.109        | 0,00319  | 325.911 | 0,0301 |

Percebe-se a partir das informações da Tabela 1 que ambos os modelos conseguem uma boa resposta para estimar a população da capital acriana no período estudado.

**Palavras-chave:** Crescimento Populacional, Sistema Dinâmico P-Fuzzy, Rio Branco-AC.

## Referências

1. BARROS, L. C. and BASSANEZI, R. C. *Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática*. Coleção IMECC. Textos Didáticos. vol. 5, IMECC - UNICAMP, Campinas, 2010
2. CECCONELO, M. S. *Modelagem alternativa para dinâmica populacional: Sistemas dinâmicos fuzzy*, Dissertação de Mestrado, IMECC- UNICAMP, Campinas, 2006
3. ROCHA, N. C.; BOTTA, V. Dinâmica populacional aplicada à população de Adamantina. *Omnia Exatas*, v.2, n.2, p.56-65, 2009.
4. ROVEDA, J. A. F., ROVEDA, S. R. M. M., MARTINS, A. C. G. *Dinâmica populacional com sistemas p-fuzzy: um estudo de caso para a cidade de Sorocaba*. *Biomatemática*, n° 19 , pp. 69- 80, 2009.
5. SMGDU, Secretaria Municipal de Desenvolvimento e Gestão Urbana. *Plano Municipal de Habitação de Interesse Social de Rio Branco - PHMIS-RB*. Disponível em: [http://www.riobranco.ac.gov.br/v4/images/stories/2011/setembro\\_2011/pmhis.pdf](http://www.riobranco.ac.gov.br/v4/images/stories/2011/setembro_2011/pmhis.pdf). Acessado em: 19.03.2012. Rio Branco - AC, 2011.
6. ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. *Information and Control*, v. 8, p. 338–353, 1965.

# Sistema especialista baseado em regras fuzzy para definição de tropismo do vírus HIV

Harki Tanaka<sup>1</sup>, Alex JF Cassenote<sup>2</sup>, Neli RS Ortega<sup>2</sup>, Gabriela Bastos<sup>3</sup>,  
Luana Portes<sup>3</sup>, João Leandro PF Ferreira<sup>3</sup>, Luiz Brigido<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do ABC, CECS Engenharia Biomédica  
Rua Santa Adélia, 166. Bairro Bangu, Santo André, SP, 09210-170  
[harki.tanaka@ufabc.edu.br](mailto:harki.tanaka@ufabc.edu.br)

<sup>2</sup> Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, SP

<sup>3</sup> Instituto Adolf Lutz, SP

## Abstract

Para entrar nas células humanas o vírus do HIV1 utiliza interação proteica com CD4 e dois co-receptores celulares principais, CCR5 e CXCR4. Com base na utilização destes as variantes de HIV são classificadas em CCR5(R5), CXCR4(X4) ou mista (X4R5). Estudos com as drogas maraviroc e vicriviroc mostraram efetividade contra vírus R5, assim o teste de tropismo viral deve ser feito antes de suas prescrições. Porém, devido ao elevado custo dos medicamentos, particularmente importante no cenário de tratamento do HIV no Brasil, e a não efetividade desses medicamentos contra as outras variantes do vírus, torna-se fundamental identificar o tropismo do paciente. Não há nenhum teste infalível para realizar essa classificação e vários são os métodos e algoritmos utilizados para esse fim. No Instituto Adolfo Lutz, do estado de São Paulo, o grupo de análise de tropismo do vírus HIV desenvolveu um procedimento próprio, mas cujas incertezas dificultavam o diagnóstico. O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema especialista baseado em teoria de conjuntos fuzzy para definição de tropismo do vírus HIV.

Foi elaborado um modelo linguístico fuzzy tipo mamdani de acordo com a opinião de 4 especialistas do Instituto Adolfo Lutz. A partir do conhecimento desses especialistas foram definidas as variáveis de entrada do sistema e os conjuntos fuzzy a elas associadas; as regras e os conjuntos fuzzy de saída. No processo de defuzzificação utilizamos o método do centro de área.

O sistema é constituído de três variáveis de entrada, sendo FPR clonal e clínico (originados do geno2pheno), cada uma com cinco conjuntos fuzzy, e número de ambiguidades com três conjuntos; a base de regras é composta por 75 regras; e a saída é constituída por três estados: X4, possível X4 e R5. Resultados preliminares mostram que a taxa de acerto para variante R5 foi de 85% e para X4 de 59%, em comparação com TROFILE, que é o teste considerado padrão ouro para essa classificação até o momento.

A primeira avaliação mostrou-se considerável para o diagnóstico da variante R5 do vírus HIV, importante para delineamento terapêutico do paciente infectado, especialmente pela ascensão das drogas utilizadas nas últimas etapas do curso clínico da doença.

**Palavras-chave:** Tropismo viral, Vírus HIV, Modelos Mamdani, Lógica Fuzzy.

### References

1. Garrido, C. et al. Evaluation of Eight Different Bioinformatics Tools To Predict Viral Tropism in Different Human Immunodeficiency Virus Type 1 Subtypes. *J. Clin Microbiol.*, v. 46, p. 887-89.
2. Cooper, D. A. et al. Maraviroc versus Efavirenz, Both in Combination with Zidovudine-Lamivudine, for the Treatment of Antiretroviral-Naive Subjects with CCR5-Tropic HIV-1 Infection. *J. Infect. Dis.* v. 201, n. 6, p. 803-813, 2010.
3. Sugeno, M. Industrial applications of fuzzy control. Eusevier Science Pub Co. 1985.
4. Duarte, PS. Definição de conduta na investigação de doença coronária obstrutiva utilizando teoria de conjuntos fuzzy aplicada a dados clínico epidemiológicos, ergonômicos e cintilográficos. 2004 [Tese de doutorado]. Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

# A Continuidade de Sistemas Fuzzy SE-ENTÃO no Sentido de Perfilieva-Lehmke no Contexto de Reticulados Completos

Eduardo H. G. Tavares and Marcos Eduardo Valle

Departamento de Ciências Exatas – CCE, Universidade Estadual de Londrina  
CEP 86051-980, Londrina, PR – Brasil  
dudyz1@hotmail.com, valle@uel.br

## 1 Resumo Estendido

O objetivo deste trabalho é mostrar a relação entre um modelo ser contínuo e um modelo ser correto em um sistema de regras fuzzy SE-ENTÃO no contexto de reticulados completos.

Primeiramente, lembramos que um reticulado completo é um conjunto não vazio  $\mathcal{L}$  tal que todo subconjunto contido nele possui supremo e ínfimo [1]. Denotamos o supremo e o ínfimo de  $X \subseteq \mathcal{L}$  respectivamente por  $\bigvee X$  e  $\bigwedge X$ . É importante observar que a família de todos os conjuntos fuzzy em  $X$ , denotado por  $\mathcal{F}(X)$ , é um reticulado completo [2].

Um sistema de regras fuzzy SE-ENTÃO é um conjunto de expressões da forma: “SE  $x$  é  $A_i$  ENTÃO  $y$  é  $B_i$ ”, em que  $A_i \in \mathcal{F}(X)$  e  $B_i \in \mathcal{F}(Y)$  para todo  $i = 1, \dots, n$ , são restrições fuzzy sobre as variáveis  $x$  e  $y$ , respectivamente.

Na prática, é comum modelar um sistema de regras SE-ENTÃO utilizando uma relação fuzzy [2,3,4]. Especificamente, dada  $R \in \mathcal{F}(X \times Y)$  uma relação fuzzy, definimos a função  $f_R : \mathcal{F}(X) \rightarrow \mathcal{F}(Y)$  induzida por  $R$  como

$$f_R(A) = B \text{ se, e somente se, } \mu_B(y) = \bigvee_{x \in X} (\mu_A(x) \Delta \mu_R(x, y)). \quad (1)$$

Dizemos que  $f_R : \mathcal{F}(X) \rightarrow \mathcal{F}(Y)$  é um modelo correto de um sistema de regras fuzzy SE-ENTÃO se  $f_R(A_i) = B_i$  para todo  $i = 1, \dots, n$  [5]. Além disso, dizemos que um modelo de um sistema de regras fuzzy SE-ENTÃO é contínuo no sentido de Perfilieva-Lehmke se

$$S(B_i, f_R(A)) \geq S(A_i, A), \quad \text{para todo } i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Na equação acima, o operador  $S : \mathcal{F}(X) \times \mathcal{F}(X) \rightarrow [0, 1]$ , definido como segue, é uma medida de similaridade

$$S(A_i, A) = \bigwedge_{x \in X} (\mu_{A_i}(x) \Leftrightarrow \mu_A(x)). \quad (3)$$

Assim, um modelo de um sistema de regras fuzzy é contínuo se o grau de similaridade de  $B_i$  e  $f_R(A)$  é maior ou igual ao grau de similaridade de  $A_i$  e  $A$ .

Nesse trabalho, verificaremos que um modelo é correto se, e somente se, ele é contínuo. Além disso, estudemos a relação da função  $f_R$ , induzida por uma relação fuzzy  $R$  com os operadores de dilatação e erosão da morfologia matemática [6]. Com efeito, dados reticulados completos  $\mathcal{L}$  e  $\mathcal{M}$  (que podem ser interpretados como  $\mathcal{L} = \mathcal{F}(X)$  e  $\mathcal{M} = \mathcal{F}(Y)$ ), uma dilatação  $\delta : \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{M}$  e uma erosão  $\varepsilon : \mathcal{M} \rightarrow \mathcal{L}$  são operadores tais que

$$\bigvee \delta(X) = \delta(\bigvee X) \quad \text{e} \quad \bigwedge \varepsilon(Y) = \varepsilon(\bigwedge Y), \quad (4)$$

para todo  $X \subseteq \mathcal{L}$  e  $Y \subseteq \mathcal{M}$ . Dizemos que um par de operadores  $(\varepsilon, \delta)$  é uma adjunção se, para todo  $X \in \mathcal{L}$  e para todo  $Y \in \mathcal{M}$ , valer a relação

$$\delta(X) \leq Y \iff \varepsilon(Y) \leq X. \quad (5)$$

É importante observar que, se  $\delta$  é uma dilatação, então existe uma única erosão  $\varepsilon$  tal que par  $(\varepsilon, \delta)$  é uma adjunção. Neste contexto, verificaremos que o operador  $f_R$  definido em (1) é uma dilatação. Dessa forma,  $f_R$  admite um único operador  $f_R^a$  que corresponde à erosão adjunta de  $f_R$ . Por fim, investigamos as propriedades da função  $f_R^a$ .

**Palavras-chave:** sistema de regras fuzzy SE-ENTÃO, modelo correto e contínuo, reticulados completos, morfologia matemática.

## Referências

1. Birkhoff, G.: Lattice Theory. 3 edn. American Mathematical Society, Providence (1993)
2. Nguyen, H.T., Walker, E.A.: A First Course in Fuzzy Logic. 2 edn. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton (2000)
3. Dubois, D., Prade, H.: Fuzzy sets and systems: theory and applications. Academic Press, New York (1980)
4. Pedrycz, W., Gomide, F.: Fuzzy Systems Engineering: Toward Human-Centric Computing. Wiley-IEEE Press, New York (2007)
5. Perfilieva, I., Lehmke, S.: Correct models of fuzzy if-then rules are continuous. Fuzzy Sets and Systems **157**(24) (2006) 3188–3197
6. Heijmans, H.: Morphological Image Operators. Academic Press, New York, NY (1994)