

Lógica Nebulosa: uma abordagem filosófica e aplicada

Fernando Laudaes Camargos¹

¹Ciências da Computação, 5ª fase, 2002
Departamento de Informática e Estatística (INE)
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil, 88040-900
Fone (48) 333-9999, Fax (48) 333-9999
laudaes@inf.ufsc.br

Resumo

Este artigo apresenta um breve introdutório sobre a Lógica Nebulosa, enquadrando-a dentro da História da Lógica, citando as razões pelas quais ela foi desenvolvida, suas vantagens, desvantagens e características e seu histórico até a atualidade, enfatizando seu papel de destaque e sua aplicabilidade no campo comercial.

Palavras-chave: lógica nebulosa, lógica nebulosa, inteligência artificial, conjuntos nebulosos.

Abstract

This article shows a brief introduction about the Fuzzy Logic, fitting it in the Logic History and mentioning the reasons beyond its development as well as its advantages, disadvantages and characteristics. Its trajectory is showed emphasizing its distinction role and applicability in the commercial field.

Key-words: fuzzy logic, artificial intelligence, fuzzy sets.

Introdução

A palavra ‘lógica’ está presente na nossa vida desde muito cedo, mas a sua compreensão, assim como ocorre com muitas outras palavras e suas respectivas definições, sofre variações a medida em que vamos crescendo e observando o mundo com outros olhos.

Logo no início da infância a lógica representa aquilo que é certo (ou a certeza de algo). “É lógico!”, responde o garoto ao pai num domingo de verão ensolarado, quando indagado por este se deseja ir à praia. Mais tarde, o jovem estudante tem o primeiro contato com a disciplina de filosofia no colégio, e é apresentado a lógica numa versão um pouco mais “romântica”...

“Mas afinal, o que significa lógica?”; praticamente todos já foram questionados a respeito do tema em algum momento da vida estudantil, e para muitos em mais de uma ocasião. Seja nas aulas de filosofia, física e matemática do segundo grau ou em alguma disciplina universitária de um curso de ciências exatas, o estudo da lógica, ou uma introdução a respeito da mesma, é obrigatório. Não por acaso, a resposta a essa questão nunca é dada de

maneira clara e direta. É preciso refletir sobre o assunto para só depois absorver o conhecimento vindo dele, e não apenas aceitá-lo passivamente. Talvez por isso não exista uma definição universal para a lógica e o seu conceito seja, de certo modo, relativo.

A lógica contemporânea

Ao longo do tempo, muitos foram os estudiosos que se dedicaram ao estudo da lógica contemporânea, sucedendo os trabalhos dos filósofos gregos e daqueles que vieram depois. Barreto (2001) caracteriza a lógica contemporânea, como retrata a figura 1, em dois pontos principais: a matematização da Lógica, atribuída aos trabalhos de Frege e Russel, publicados no início do século passado, e o reconhecimento das Lógicas não-padrão, extensões da lógica onde se encontra o tema foco deste trabalho: a lógica nebulosa.

Sem o objetivo de adentrar a fundo no estudo histórico da lógica, um fato imprescindível para o entendimento de onde se insere a lógica nebulosa no contexto das lógicas não-padrão está em

conhecer o trabalho de George Boole, que associou à lógica dois estados de verdade e que passou a ser conhecida como Lógica de Boole ou Lógica Padrão.

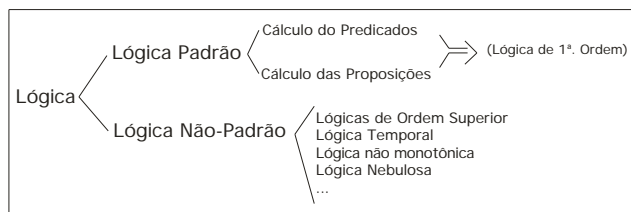


Figura 1: Caracterização da Lógica Contemporânea segundo Barreto [4].

O mundo é binário

As gerações das últimas décadas já nasceram com o conceito do “Liga/Desliga” bem definido e fundamentado. Ora, haja visto que a esmagadora maioria dos aparelhos eletro-eletrônicos possuem dois estados bastante distintos de funcionamento - ou estão ligados ou estão desligados – a lógica de Boole já é uma realidade para aqueles que nasceram nos últimos vinte, ou mesmo trinta, anos. Para ele, a lógica só admite dois valores de verdade – ou um ou outro, sem meio-termo. Estes estados de verdade recebem sua respectiva “nomenclatura” de acordo com o contexto em que estão inseridos, mas inevitavelmente decorrem das variações de Liga/Desliga, Verdadeiro/Falso, 0/1, Sim/Não...

Assim o é com o interruptor de luz (que “define” o estado da lâmpada), com o aparelho de televisão e nas já conhecidas provas de assinalar V ou F entre os parênteses que precedem a questão. A lógica booleana é empregada também nos computadores que utilizamos hoje em dia, onde a base binária foi a escolhida para representar e armazenar as informações justamente por ser mais fácil trabalhar com ela nos circuitos elétricos. Assim, a informação trafega hoje no mundo por canais digitais; o mundo é binário.

Entretanto, apesar de essa ser indubitavelmente a forma como os nossos computadores funcionam, existem outras áreas onde simplesmente dois valores, dois estados diferentes não são suficientemente representativos. É preciso ir além.

A Lógica Nebulosa

A lógica nebulosa, também conhecida como lógica *fuzzy*, foi desenvolvida por Lofti A. Zadeh,

originalmente um engenheiro e cientista de sistemas, durante a década de 1960. O artigo publicado pelo autor em 1965 na revista *Information and Control* [7] revolucionou o assunto com a criação de sistemas Nebulosos. Citando o próprio autor, nas palavras registradas por ele no prefácio da recente obra de Cox [5], “meu artigo de 1965 sobre conjuntos nebulosos foi motivado em grande escala pela convicção de que os métodos tradicionais de análise de sistemas não serviam para lidar com sistemas em que relações entre variáveis não prestavam para representação em termos de diferenciação ou equações diferenciais. Tais sistemas são o padrão em biologia, sociologia, economia e, usualmente, nos campos em que os sistemas são humanistas, ao invés de maquinistas, em sua natureza”. *

(*tradução própria.)

Segundo Fernandes & Santos [1], o que Zadeh quis dizer foi que “(...) os recursos tecnológicos disponíveis eram incapazes de automatizar as atividades relacionadas a problemas que compreendessem situações ambíguas, não passíveis de processamento através da lógica booleana”. Era preciso algo mais do que somente dois valores de verdade possíveis. Ainda segundo Fernandes & Santos, “a lógica desenvolvida por Zadeh combina lógica multivalorada, teoria probabilística, inteligência artificial e redes neurais para que possa representar o pensamento humano, ou seja, ligar a lingüística e a inteligência humana, pois muitos conceitos são melhores definidos por palavras do que pela matemática”.

Guimarães *et all* [6] complementa, afirmando que “a lógica nebulosa objetiva fazer com que as decisões tomadas pela máquina se aproximem cada vez mais das decisões humanas, principalmente ao trabalhar com uma grande variedade de informações vagas e incertas. Os conjuntos nebulosos são o caminho para aproximar o raciocínio humano à forma de interpretação da máquina”. Assim, os conjuntos nebulosos são na verdade uma “ponte” que permite ainda o emprego de quantitativas, como por exemplo “muito quente” e “muito frio”.

Mas o que isso quer dizer? Nos conjuntos convencionais temos limites bruscos entre os elementos pertencentes ao conjunto e os elementos não pertencentes. Em um conjunto nebuloso a transição entre o membro e o não membro está numa faixa gradual, sendo associado um grau entre "0"(totalmente não membro) e "1" (totalmente membro).

Cruz [1] sugere alguns exemplos que ajudam a ilustrar como funciona o pensamento nebuloso:

“Se é hora de pico, aumente a frequência dos trens”.

“Se a roda deslizar, solte o freio um pouco”.

“Se a terra está muito seca e a temperatura está alta, regue por muito tempo”.

“Se a taxa de juros for alta e o déficit for alto, teremos uma recessão branda”.

A tabela 1, abaixo, sintetiza as principais características, vantagens e desvantagens da lógica nebulosa e traduz os pensamentos acima descritos:

Tabela 1: Tabela de Características e Vantagens da Lógica Nebulosa.

Características	Vantagens	Desvantagens
A Lógica Nebulosa está baseada em palavras e não em números, ou seja, os valores verdades são expressos lingüisticamente. Por exemplo: quente, muito frio, verdade, longe, perto, rápido, vagaroso, médio;	O uso de variáveis lingüísticas nos deixa mais perto do pensamento humano;	Necessitam de mais simulação e testes;
Possui vários modificadores de predicado, tais como: muito, mais ou menos, pouco, bastante, médio;	Requer poucas regras, valores e decisões;	Não aprendem facilmente;
Possui também um amplo conjunto de quantificadores, como: poucos, vários, em torno de, usualmente;	Simplifica a solução de problemas e a aquisição da base do conhecimento;	Dificuldades de estabelecer regras corretamente;
Faz uso das probabilidades lingüísticas (como, PE, provável e improvável) que são interpretados como números nebulosos e manipulados pela sua aritmética;	Mais variáveis observáveis podem ser valoradas;	Não há uma definição matemática precisa.
Manuseia todos os valores entre 0 e 1, tomando estes, como um limite apenas.	Mais fáceis de entender, manter e testar;	
	São robustos. Operam com falta de regras ou com regras defeituosas;	
	Acumulam evidências contra e a favor.	
	Proporciona um rápido protótipo dos sistemas.	

A lógica nebulosa pós-Zadeh

Em 1974, segundo Guimarães *et all*, “o Prof. Mamdani, do *Queen Mary College*, Universidade de Londres, após inúmeras tentativas frustradas em controlar uma máquina a vapor com tipos distintos de controladores (...) somente conseguiu fazê-lo através da aplicação do raciocínio nebuloso”. Ainda na primeira metade da década de 1980, a lógica nebulosa atinge outras aplicações, como o controlador nebulosa de operação de fornos de cimento, plantas nucleares, refinarias, processos biológicos e químicos, trocador de calor, máquina diesel e tratamento de água.

Porém, Cox [5] lembra que embora a lógica nebulosa tenha sido descrita e examinada por quase trinta anos, apenas na última década ganhou real destaque na imprensa popular e técnica. A figura 2,

adaptada da obra de Cox, ilustra cronologicamente o interesse comercial despertado pela lógica nebulosa.

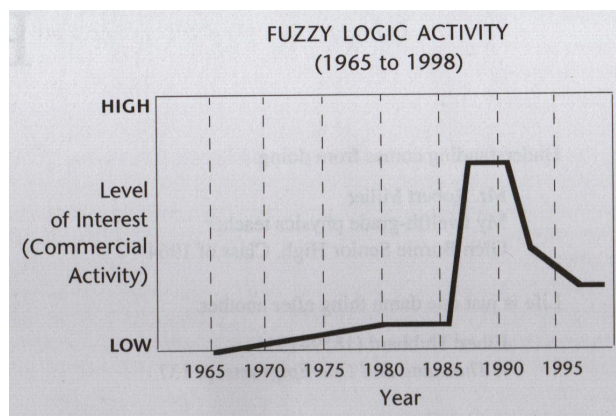


Figura 2: Gráfico sobre a “Atividade da Lógica Nebulosa (1965 a 1998)”, retirado da obra de Cox [5]. (do inglês *fuzzy* = nebuloso).

O período em que desperta maior atenção está localizado entre os anos de 1986 e 1987, quando da inauguração do sistema de Metrô Sendai, em Tóquio, cujo controle automático de partida e chegada dos trens era baseado na lógica nebulosa. Cox afirma que o sistema de operação automática de trens desenvolvidos pela Hitachi funcionava melhor do que qualquer operador humano: “o metrô, de fato, está com um histórico de pontualidade melhor, usa menos energia e é mais suave do que quando era operado por um homem”. Imediatamente após a sucedida inauguração do metrô automatizado, centenas de produtos com controladores baseados na lógica nebulosa começaram a ser disponibilizados no Japão, várias empresas especializadas em ferramentas de lógica nebulosa apareceram e outras grandes empresas de fabricação de chips e companhias de controle também entraram no mercado.

Segundo Cox, a situação da lógica nebulosa hoje é apenas “marginalmente melhor” do que fora durante sua própria “época das trevas”. Segundo ele, atualmente “(...) a lógica nebulosa é comumente colocada sob a sombra da chamada “inteligência computacional”, uma mixórdia de tópicos relacionados a inteligência artificial e ciência da computação, “flutuando” entre assuntos como desenvolvimento de projetos orientados a objetos e tecnologias e disciplinas tão diversas quanto redes neurais, algoritmos genéticos, programação evolucionária, teoria do caos e vida artificial”. Ele conclui afirmando que “(...) enquanto seus primos (‘Redes Neurais’ e ‘Algoritmos Genéticos’) continuaram em crescente ascensão comercial, a lógica nebulosa está atravessando uma época difícil”. A Figura 3, presente em sua obra, retrata essa visão.

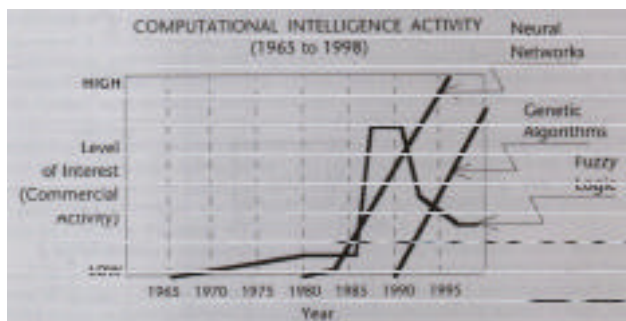


Figura 3: Gráfico sobre a “Atividade da Inteligência Computacional (1965 a 1998)”, retirada da obra de Cox [5]

Guimarães *et all* partilha de uma visão um pouco mais otimista. Recorda que “sistemas nebulosos foram amplamente ignorados nos Estados Unidos porque foram associados com inteligência artificial, um campo que periodicamente se obscurecia, resultando numa falta de credibilidade por parte da indústria”. Porém o mesmo não aconteceu no Japão. Da segunda metade da década de 1980 em diante, os japoneses iniciaram diversos estudos relacionados à lógica nebulosa e seu sistema, e os bens de consumo eletro-eletrônicos japoneses incorporaram extensivamente suas aplicações. Assim, não é estranho perceber que mais de 30% dos artigos publicados sobre lógica nebulosa são de origem japonesa.

Campo e Aplicações da Lógica Nebulosa

Originalmente, com o trabalho de Zadeh, a lógica nebulosa encontrou aplicabilidade imediata no campo de Controladores (de processos) Industriais. Controladores baseados na lógica nebulosa são chamados de controladores nebulosos, e Guimarães *et all* explica que “(...) controladores nebulosos tratam igualmente sistemas lineares e não lineares, além de não requererem o modelamento matemático do processo a ser controlado”. Para ele, “isto tem sido, sem dúvida, o grande atrativo dos Sistemas Nebulosos”. Sistemas baseados na lógica nebulosa têm mostrado grande utilidade em uma variedade de operações de controle industrial e em tarefas de reconhecimento de padrões que se estendem desde reconhecimento de texto manuscrito, até a avaliação de crédito financeiro. Existe também um interesse crescente em se utilizar a Lógica Nebulosa em sistemas especialistas para torná-los mais flexíveis.

No Japão, a Lógica Nebulosa já se faz presente no dia a dia do setor industrial e muitos produtos comerciais já se encontram disponíveis, como mostra a tabela 2:

Tabela 2: Tabela de produtos comerciais japoneses que utilizam a lógica nebulosa.

Aplicação	Empresa
Transmissão automotiva	Mitsubishi
Mecanismo de foco automático	Cânon
Sistema de <i>tracking</i> subjetivo (Maxxum 7xi)	Minolta
Estabilizador eletrônico de imagens	Panasonic
Máquina de lavar roupa	Sanyo
Geladeiras	Sharp
Ar condicionado	Mitsubishi, Hitachi e Sharp
Injeção eletrônica	NOK/Nissan
Elevadores	Fujitec
Golfe (escolha de tacos)	Maruman Golf Club
Forno de Aço	Nippon Steel

A partir do Metro Sandai, composto por 16 estações e 13,5 km de trilho, desenvolvido pela Hitachi, o campo de aplicação da lógica nebulosa foi ganhando mais e mais espaço. De eletrodomésticos como fornos de microondas (que medem a temperatura, umidade e forma dos alimentos para controlar o tempo de cozimento) e aspiradores de pó (que medem a quantidade de pó para ajustar a potência de sucção) a sistemas administrativos e econômicos como os da Hitachi (que usa 150 regras aplicadas em lógica nebulosa para negociar *bonds* e mercados futuros) e da Yamaichi (que usa centenas de regras para negociar ações), a aplicabilidade de projetos baseados na lógica nebulosa mostra que esta não está restrita apenas ao campo de controladores industriais, mas que também já conquistou o seu espaço na solução de problemas críticos no campo de negócios e que ainda existe uma infinidade de outras áreas em que a lógica nebulosa pode desempenhar um papel diferente e inovador.

Leitura Complementar

Aqueles interessados no assunto poderão aprofundar seus estudos em lógica nebulosa através dos trabalhos de Braga *et all* [8], Zimmermann [9], Dubois & Pradé [10], Kasabov [11], Negoita & Ralescu [12], Tanscheit [13] (interessante ressaltar haver sido esta a primeira tese apresentada no Brasil que se tem conhecimento sobre conjuntos nebulosos, colocando o Brasil entre os países que mais cedo despertaram para este formalismo) Gupta *et all* [14] e Negoita [15], entre tantos outros. As respectivas referências das obras se encontram na relação abaixo.

Referências

- [1] Cruz, J. A. de O. “*Lógica Nebulosa*”. Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro [UFRJ].: <http://equipe.nce.ufrj.br/adriano/fuzzy/transparencias/introducao.pdf>>. Acesso em: 12 dezembro 2002.
- [2] Fernandes, M. C. & Santos, R. H. “*Lógica Nebulosa X Lógica Paraconsistente*”. Universidade Federal de São Carlos [UFSCar]. Disponível em: <http://www.dc.ufscar.br/~fernandes/Nebuloza_X_Paraconsistente.ppt>. Acesso em: 12 dezembro 2002.
- [3] Andrade, M. T. de A. “*Computação “Fuzzy”*”. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, Universidade de São Paulo [USP]. Disponível em: <<http://www.pcs.usp.br/~mtulio/transp/5711-cap1-discussoes-preliminares-definicoes-2002ciclo1.pdf>>. Acesso em: 12 dezembro 2002.
- [4] Barreto, J. M. “*Inteligência Artificial No Limiar do Século XXI*”. Florianópolis: ___ Edições, 2001.
- [5] Cox, E. “*The Fuzzy Systems Handbook*”. Chappaqua, New York: AP Professional, 1999. *Second Edition*.

- [6] Guimarães, R. *et al.* “*Lógica Fuzzy ou Lógica Nebulosa*”. Projeto Robótica, Colégio Nobel [Salvador, BA]. Disponível em: <<http://www.colegionobel.com.br/robotica/nebula.html>>. Acesso em: 12 dezembro 2002.
- [7] Zadeh, L. A. “*Fuzzy sets*”, *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [8] Braga, M.J.F., Barreto, J. M. ¶ Machado M. A. S. :. “*Conjuntos Nebulosos em Análise de Risco*”. Rio de Janeiro: Artes e Rabiscos, 1995.
- [9] Zimmermann, H. J. “*Fuzzy set theory and its applications*”. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1991. 2nd Edition.
- [10] Dubois, D. & Pradé, H. “*Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*”. New York: Academic Press, 1980.
- [11] Kasabov, N. K. “*Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowlegde engineering*”. Massachusets: The MIT Press, 1996.
- [12] Negoita, C. V. & Ralescu, D. A. “*Applications of fuzzy sets to systems analysis*”. New York: John Wiley e Sons, 1975.
- [13] Tanscheit, R. “*Controle de Processo por Lógica Nebulosa*”. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 1978.
- [14] Gupta, M. M. “*Fuzzy Automata and Decision Process*”. New York: North-Holland, 1977.
- [15] Negoita, C. V. “*Management applications of system theory*”. Birkhauser Verlag, 1979.