FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PRESIDENTE PRUDENTE

SISTEMAS FUZZY APLICADOS À AGRICULTURA

FUZZY SYSTEMS APPLIED TO AGRICULTURE

Beatriz de Paula Trombeta
Marcelo Buscioli Tenorio

Resumo

Este artigo explora a aplicação da lógica fuzzy para otimizar decisões na agricultura, com base no jogo Stardew Valley. A lógica fuzzy lida com a incerteza e imprecisão das variáveis agrícolas, oferecendo uma abordagem mais flexível do que métodos tradicionais. A metodologia consiste em utilizar dados extraídos do jogo e analisá-los com a lógica fuzzy, avaliando a eficiência das culturas em termos de tempo de produção e retorno financeiro. Os resultados do estudo podem ser utilizados para determinar o que é mais rentável aplicar, fornecendo compreensões relevantes sobre a pertinência econômica das diferentes sementes no contexto do jogo, contribuindo para uma reflexão sobre as dinâmicas agrícolas virtuais e as suas possíveis implicações para a agricultura no mundo real.

Palavras-chave: Lógica Fuzzy, Agricultura, Otimização, Python, Inteligência Artificial.

Abstract

This article explores the application of fuzzy logic to optimise decisions in agriculture, based on the game Stardew Valley. Fuzzy logic deals with the uncertainty and imprecision of agricultural variables, offering a more flexible approach than traditional methods. The methodology consists of using data extracted from the game and analysing it with fuzzy logic, assessing crop efficiency in terms of production time and financial return. The results of the study can be used to determine what is most profitable to apply, providing relevant insights into the economic relevance of different seeds in the context of the game, contributing to a reflection on virtual agricultural dynamics and their possible implications for real-world agriculture.

Translated with DeepL.com (free version)

***Keywords**: Fuzzy Logic, Agriculture, Otimization, Python, Artificial Intelligence.*

1. INTRODUÇÃO

A lógica fuzzy é uma técnica da análise de dados e no aprendizado de máquina que utiliza árvores de decisão para lidar com a incerteza e a imprecisão nos dados. Diferente de métodos de classificação convencionais, que atribuem uma classe única a cada instância, a classificação difusa permite graus de associação em várias classes, baseando-se em graus de associação, ao invés de decisões binárias. Zadeh (1989) afirma que sua importância reside em que a maioria dos modos de raciocínio humano, especialmente o raciocínio cotidiano, é de natureza aproximada. O raciocínio aproximado não é abordado pela lógica clássica, pois a lógica tradicional se preocupa apenas com modos de raciocínio que se prestam à formulação e à análise precisas.

Sistemas de lógica fuzzy se destacam em pesquisas acadêmicas e em aplicações práticas nos meios rurais, pois visam melhorar a produtividade das culturas, garantindo uma produção direcionada (Prabakaran, Dhandapani, Ganesan, 2018), com melhores perspectivas futuras. No contexto agrícola, variáveis como clima, solo e práticas de cultivo são frequentemente imprecisas e interdependentes. A lógica fuzzy é uma ferramenta eficaz para lidar com essa incerteza, permitindo decisões baseadas em análise flexível e adaptativa. Em vez de usar valores exatos, a lógica fuzzy permite avaliar variáveis em diferentes níveis de imprecisão, otimizando processos e alocação de recursos.

Stardew Valley é um jogo de simulação de fazenda onde os jogadores assumem o papel de um agricultor que deve tomar decisões estratégicas sobre o plantio, a colheita e a gestão de recursos para garantir o sucesso da sua fazenda. O jogo envolve variáveis como clima, tempo de cultivo e estado do solo, que afetam diretamente os resultados agrícolas.

Inspirado por essas mecânicas de simulação, este artigo propõe mostrar como a aplicação da lógica fuzzy pode otimizar os processos decisórios na agricultura utilizando simulações para exemplificar seu potencial em contextos reais. Através dessa abordagem, buscamos evidenciar como a lógica fuzzy possibilita a avaliação eficiente de múltiplas variáveis, levando a decisões mais adaptativas a cenários agrícolas diversos, promovendo um uso mais inteligente dos recursos e aumentando a viabilidade econômica das produções.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Lógica Fuzzy

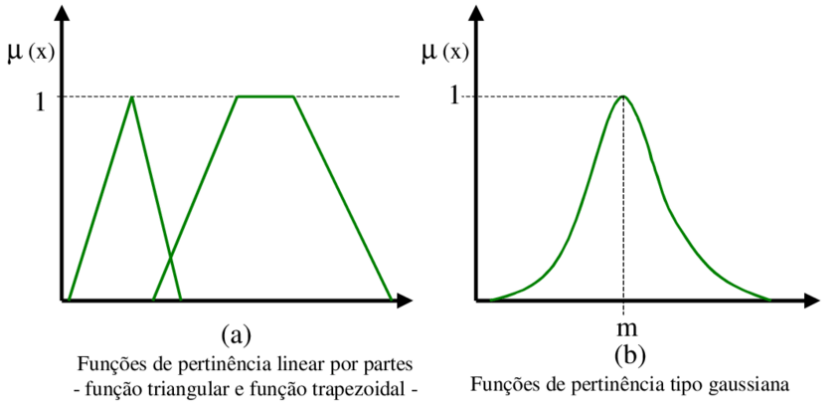
A lógica fuzzy, como o próprio nome sugere, é a lógica implícita aos modos de raciocínio que são aproximados em substituição a exatos. Ela é conceitualizada com uma definição mais abrangente, expandindo a função tradicional para que ela pudesse ter infinitos valores dentro do intervalo 0 e 1. “Um conjunto fuzzy A em um universo X é definido por uma função de pertinência $\mu_A(x)$: x [0,1], e representado por um conjunto de pares ordenados

$$A = \{\mu_A(x)/x\} \quad x \in X$$

onde $\mu_A(x)$ dica o quanto x é compatível com o conjunto A ” (Tanscheit, 2004, p. 3). A presente fórmula descreve a capacidade do algoritmo em determinar graus de verdade ou variáveis linguísticas, que “permitem a descrição de informações que estão normalmente disponibilizadas de forma qualitativa” (Zanon, 2022). A função de pertinência é essencial na definição das variáveis de entrada e saída em modelos de lógica difusa, na elaboração de regras e na escolha do tipo de gráfico a ser utilizado. Ela permite estimar dados e atribuir valores de baixa pertinência em situações de incerteza, evitando a exclusão de alternativas por falta de informações, o que assegura a consistência da classificação em cenários de tomada de decisão.

Os principais tipos de função de pertinência incluem a triangular, reconhecida por sua adequação a diversas situações em que a imprecisão e a vagueza são características inerentes ao problema, apresentando limites bem definidos e transições pontuais, como observado em sistemas de controle; a trapezoidal, recomendada para conceitos com demarcações mais difusas e transições suaves, com múltiplos pontos de máximo; e a gaussiana, com formato de sino, que representa melhor conceitos vagos com valores e pertinências extremamente suaves. Essa última é ideal para situações que requerem distribuições mais realistas, como a modelagem de fenômenos naturais e fenômenos reais que demandem maior precisão.

Figura 1 – Gráficos de funções de pertinência triangular e trapezoidal.



Fonte: Zuffo, 2014, capítulo 4.

Após a definição das funções de relevância, as regras fuzzy são elaboradas com base no conhecimento do domínio. Para elaborá-las, identificam-se as variáveis de entrada e saída relevantes. Fatores como intensidade de aquecimento, irrigação, temperatura, umidade e velocidade interferem no sistema. O conjunto de regras é aplicado por meio de um sistema de inferência, que avalia as condições e calcula as conclusões com base nas funções de pertinência.

Os métodos mais comuns de inferência incluem o de Mamdani, que utiliza regras do tipo 'IF-THEN' para combinar condições com operadores como 'AND' e 'OR'. Em seguida, aplica-se a conversão da saída em um valor numérico preciso, frequentemente usando o método de centro de gravidade para calcular uma média ponderada. O método de Sugeno, também conhecido como sistema de inferência fuzzy de Takagi-Sugeno-Kang, usa funções matemáticas, geralmente polinômios de primeiro ou segundo grau, para definir a saída, e sua conclusão é uma função linear das entradas. Devido à sua defuzzificação mais direta, esse método apresenta maior eficiência computacional.

Muitos estudos voltados à resolução de problemas da área agrícola são realizados com o uso da lógica fuzzy. Mayer et al. (2020) utilizaram esse sistema para determinar a produtividade de grãos de aveia pelo uso de nitrogênio em múltiplas condições ambientais, usando o método de Mamdani, e comprovaram que essa lógica é apropriada para as safras de aveia. Prabakaran, Dhandapani e Ganesan (2018) conduziram uma pesquisa prolongada para maximizar a produtividade das culturas e minimizar o uso de fertilizantes, usando regras de entrada com base em especialistas de diferentes áreas (água, solo e agronomia) e entrevistas com agricultores. Os resultados obtidos demonstram o aumento da produtividade das culturas

e a redução do consumo de fertilizantes, resultando em uma melhoria significativa no benefício-custo relativo (BRC).

Assim, a lógica fuzzy pode ser um modelo eficaz de previsibilidade da produtividade de grãos, permitindo que sejam considerados efeitos controlados e não controlados na simulação de processos biológicos em condições reais de cultivo.

2.2 Stardew Valley

Stardew Valley é um jogo de simulação agrícola desenvolvido por Eric Barone, com o pseudônimo ConcernedApe, lançado inicialmente em 2016. Ele se destaca pela sua combinação bem-sucedida de elementos de agricultura, construção, exploração e interação social. O jogador assume o papel de uma pessoa que herdou uma fazenda antiga em uma vila. A partir desse ponto, ele é encarregado de cultivar diversas culturas, criar animais, pescar, minerar e participar de atividades sazonais.

A liberdade concedida aos jogadores em Stardew Valley para personalizarem suas fazendas e rotinas diárias é uma característica que enriquece significativamente a experiência. Esse aspecto também simula de maneira eficaz diversos aspectos práticos e desafios reais da agricultura. No contexto da personalização e planejamento, os jogadores têm a opção de decidir quais culturas plantar, onde posicionar suas plantações e como organizar seu espaço. Com a inclusão de diferentes estações no jogo, cada uma com suas próprias culturas e condições climáticas, jogadores são obrigados a planejar e adaptar suas estratégias de plantio, simulando a necessidade de agricultores reais de entender os ciclos sazonais e adaptar seus planos de cultivo às condições climáticas.

No terreno do jogador principal, existem construções pré definidas como a estufa, que uma vez restaurada, oferece um ambiente controlado onde qualquer tipo de cultura pode ser cultivada em todas as estações do ano. O espaço interno é limitado, com 12x10 quadrados de solo arável, exigindo um estudo atento para maximizar a produção. Enquanto as plantações ao ar livre são limitadas pelas condições climáticas, os plantios dentro da estufa podem prevalecer continuamente, permitindo colheitas múltiplas e rentáveis que, de outra forma, teriam uma janela de plantio limitada.

Além das atividades agrícolas, Stardew Valley oferece um sistema bem estruturado de relacionamentos, permitindo que os jogadores interajam com os habitantes locais, formem amizades e até mesmo organizem famílias. Cada personagem no jogo possui uma história e

personalidade próprias, adicionando profundidade e envolvimento emocional à experiência do jogador.

Dessa forma, visto através das lentes acadêmicas, o jogo transcende a simples diversão, fornecendo uma compreensão acessível e educacional das dificuldades e desafios da agricultura real. Uma vez que apresenta uma simulação aprofundada sobre as práticas agrícolas, gestão de recursos, ciclos, economia e sustentabilidade, este jogo oferece uma perspectiva cada vez mais prática e envolvente das complexidades de propriedades rurais.

Sendo assim, o jogo não se limita a proporcionar entretenimento, mas também permite ampliar a ciência de empreendimentos futuros relacionados ao setor agrícola de uma perspectiva mais informada.

3. METODOLOGIA

Os dados sobre Stardew Valley foram obtidos da página Stardew Valley Wiki, uma plataforma colaborativa sobre o jogo. Segundo esta coleção pública, as lavouras são plantas que se desenvolvem a partir de sementes para serem colhidas para gerar renda, alimento ou presentes. Todas as variedades de cada tipo de cultivo têm especificidades que devem ser consideradas no momento da plantação. O jogo possui fundamentos detalhados, juntamente com diversas regras e exceções na simulação, incluindo a aplicação de fertilizante, o local de plantio, a estação do ano e o cultivo de produtos de alta qualidade, incluindo culturas de inverno e grãos especiais. Para fins didáticos, considerou-se a carambola como uma fruta especial. No caso de plantas com múltiplas colheitas, como, por exemplo, o café, a quantidade de dias considerados para a colheita inclui o período de crescimento inicial, mais o período de colheita contínua. Portanto, se o grão demora dez dias para crescer e produz frutos a cada dois dias, o tempo total de colheita é definido pela fórmula

$$T_c = T_g + (n \cdot T_f)$$

onde T_c representa o tempo total de colheita, T_g é o tempo de crescimento do grão e T_f é o intervalo entre as frutificações. Por exemplo, se T_g é 10 dias e T_f é 2 dias, o resultado total de dias serão 12.

Nesta pesquisa, foi considerado um fator externo adicional, a existência de uma estufa. Esse recurso é desbloqueado quando o jogador possui uma variedade suficiente de produtos, permitindo maior poder de decisão sobre o plantio. Ao contrário de uma lavoura a céu aberto,

a estufa não é afetada pelas condições externas, como o clima, as estações do ano e as pragas. A análise incide sobre os dias de colheita solicitados e o preço de venda das culturas agrícolas, sendo os parâmetros mais importantes a investigar durante o estudo. Destaca-se que a variável dos fertilizantes tem o poder de modificar os dias de colheita, quando aplicada a plantas com alta viabilidade, aumentando a eficiência da produção. Portanto, mesmo sem os seus efeitos, essa abordagem atua como um impulsionador, permitindo uma melhor utilização dos recursos.

Tabela 1 – Amostra da descrição dos dados

Lavoura	Dias para colheita	Preço de venda
Abóbora	13	320
Alcachofra	8	160
Alho	4	60
Amaranto	7	150
Arroz	7	30
Batata	6	80
Berinjela	5	60
Beterraba	6	100
Café	12	15
Cenoura	3	35
Chirívia	4	35
Couve	6	110
Couve-chinês	4	80
Couve-flor	12	175
Flor-miçanga	8	90

Fonte: Elaborada pelo autor

Os dados foram armazenados em uma planilha e importados para o Python usando a biblioteca pandas. A função implementada para calcular a receita total dos produtos agrícolas considera o número de dias necessários para a colheita e o valor de venda dos produtos. O cálculo é realizado dividindo-se 28 dias (equivalente a um mês no jogo Stardew Valley) pelo número de dias necessários para a colheita, determinando, assim, o número de colheitas possíveis por mês. O resultado é multiplicado pelo preço de venda do produto, gerando a receita mensal total.

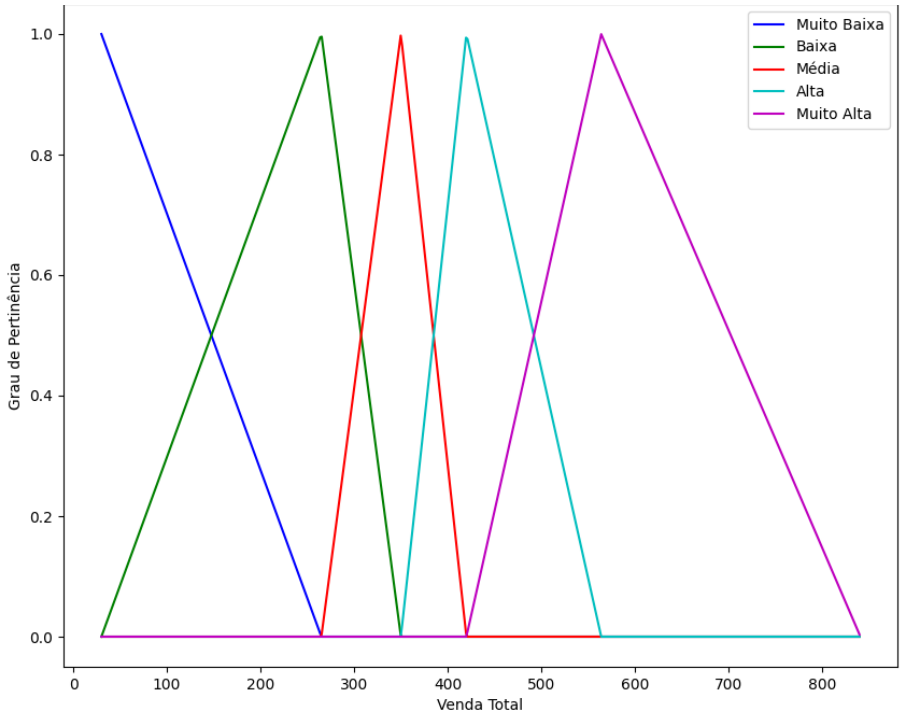
A regra que classifica a rentabilidade utiliza percentis para dividir os valores de receita total em cinco categorias distintas. Inicialmente, os percentis de 20, 40, 60 e 80 são calculados

com base nos valores de receita total. Cada valor de receita é comparado com esses percentis e classificado em ‘Muito Baixa’, ‘Baixa’, ‘Média’, ‘Alta’ ou ‘Muito Alta’. Essas classificações são adicionadas a uma nova coluna no conjunto de dados, permitindo uma análise mais detalhada.

4. RESULTADOS

O gráfico abaixo ilustra a lógica fuzzy aplicada as funções de pertinência para as diferentes categorias de rentabilidade (que variam de 0 a 1) em relação a venda total. O valor 1 indica que um dado valor de venda, pertence completamente a uma categoria específica, enquanto um valor de 0, sugere que ele não possui associação com aquela categoria.

Figura 2 – Funções de pertinência para a rentabilidade



Fonte: Elaborada pelo autor

A categoria “Muito baixa” é predominante para vendas totais inferiores a 250, com grau de pertinência decrescendo linearmente de 1 a 0 nesse intervalo, indicando que colheitas com vendas menores que 250 têm alta probabilidade de serem classificadas dessa forma. A “Baixa”

é aplicável a vendas entre 100 e 400, atingindo grau máximo em 300 e sobrepondo-se parcialmente às categorias adjacentes. A “Média” apresenta seu pico em 400, abrangendo vendas de 350 a 450, indicando transição para a categoria “Alta”. Esta última manifesta-se superior a 350, com máximo em 500 e declínio até 0 em 650. A “Muito Alta” se destaca a partir de 400, com grau máximo em 600 e predominância para vendas superiores.

Tabela 2 – Resultados da classificação

Lavoura	Dias	Preço	Venda total	Rentabilidade
Abóbora	13	320	640	Muito Alta
Alcachofra	8	160	480	Alta
Alho	4	60	420	Média
Amaranto	7	150	600	Muito Alta
Arroz	7	30	120	Muito Baixa
Batata	6	80	320	Baixa
Berinjela	5	60	300	Baixa
Beterraba	6	100	400	Média
Café	12	15	30	Muito Baixa
Cenoura	3	35	315	Baixa
Chirívia	4	35	245	Muito Baixa
Couve	6	110	440	Alta
Couve-chinês	4	80	560	Alta
Couve-flor	12	175	350	Baixa
Flor-miçanga	8	90	270	Baixa
Girassol	8	80	240	Muito Baixa
Inhame	10	160	320	Baixa
Jasmin	7	50	200	Muito Baixa
Lúpulo	1	25	700	Muito Alta
Melão	12	250	500	Alta
Milho	4	50	350	Baixa
Mirtilo	4	50	350	Baixa
Morango	4	120	840	Muito Alta
Oxicoco	5	75	375	Média
Papoula	7	140	560	Alta
Pimenta	3	40	360	Média
Rabanete	6	90	360	Média
Repolho	9	260	780	Muito Alta
Rosa	12	290	580	Muito Alta
Ruibarbo	13	220	440	Alta
Tomate	4	60	420	Média

Trigo	4	25	175	Muito Baixa
Tulipa	6	30	120	Muito Baixa
Uva	3	80	720	Muito Alta
Vagem	3	40	360	Média

Fonte: Elaborada pelo autor

É possível analisar, que os cultivos com maior custo benefícios são aqueles com maior venda total, em relação ao menor número de dias de cultivo. As colheitas com alta rentabilidade que exigem poucos dias e geram significante retorno financeiro, tais como o lúpulo, uva, morango, couve-chinês e tomate. O estudo destaca a importância de considerar tanto o tempo de cultivo quanto o potencial de venda ao selecionar quais culturas priorizar em um planejamento agrícola otimizado.

5. CONCLUSÃO

A lógica fuzzy, mostrou ser uma ferramenta altamente versátil na análise de rentabilidade agrícola, permitindo a avaliação de variáveis imprecisas e interdependentes de maneira flexível e adaptativa. No contexto do jogo Stardew Valley, foi possível aplicar essa técnica para otimizar decisões sobre o plantio e a colheita, utilizando dados específicos do jogo. No entanto, a natureza da lógica fuzzy, permite que os dados utilizados, sejam facilmente substituídos ou ajustados, o que significa que a mesma abordagem pode ser aplicada a diferentes contextos agrícolas, ou até mesmo a outros domínios que envolvem variáveis incertas e decisões complexas. A flexibilidade do método, permite que ao se alterar as variáveis de entrada, o sistema se adapte de forma autonoma, proporcionando resultados personalizados e adequados a diferentes necessidades de análise.

Embora a análise tenha sido realizada dentro de um cenário controlado, no qual os dados foram extraídos do jogo, a metodologia é suficientemente robusta para ser aplicada em sistemas reais. Essa versatilidade é um dos maiores benefícios dessa abordagem, que permite uma fácil transposição de suas regras e funções para diferentes tipos de dados e problemas. Assim, as conclusões obtidas a partir do jogo podem ser extrapoladas para o planejamento agrícola no mundo real, onde fatores como clima, solo e práticas de cultivo podem ser considerados.

O estudo demonstrou seu grande potencial de adaptação a uma ampla variedade de cenários. Sua capacidade de lidar com incertezas e imprecisões, aliada à possibilidade de substituir dados conforme a necessidade, a torna uma técnica poderosa e aplicável em diversas

áreas, contribuindo para a tomada de decisões mais inteligentes e eficientes.

REFERÊNCIAS

GODINHO, Emmanuel.; GASPAROTTO, Helio.; CANEPPELE, Fernando. Fuzzy logic in agriculture: brief history. **Brazilian Journal of Education, Technology and Society**, São Paulo, 2022, v. 15, n. 1, p. 126-139, 29 out. 2024. DOI: 10.14571/brajets.v15.n1.126-139. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/365795262_Logica_Fuzzy_na_Agricultura_Breve_Historico . Acesso em: 29 out. 2024

Lavouras. **Stardew Valley Wiki**, 2024. Disponível em: https://pt.stardewvalleywiki.com/mediawiki/index.php?title=Lavouras&action=history . Acesso em: 06 nov. 2024.

MAMDANI, Ebrahim.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **International Journal od MAN-MACHINE STUDIES**, Londres, 1975, v. 7, n. 1, p. 1-13, 01 nov. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2 . Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020737375800022 . Acesso em: 01 out. 2024.

MAMDANI, Ebrahim. Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis. **IEEE Transactions on Computers**, Londres, 1977, v. C-26, n. 12, p. 1182-1191, 01 nov. 2024. DOI: https://doi.org/10.1109/TC.1977.1674779. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/1674779. Acesso em: 01 out. 2024.

MAYER, Eduarda.; MANTAI, Rubia.; SILVA, José.; RETZLAFF, Eliani.; SILVA, Denilson. APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA PREVISÃO DA PRODUTIVIDADE DA AVEIA. **Salão Do Conhecimento**, Local, 2020, v. 6, n. 6, 06 nov. 2024. DOI: https://doi.org/10.5540/03.2022.009.01.0270 Disponível em: https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/18557 . Acesso em: 06 nov. 2024

PRABAKARAN, Gunasekaran.; DHANDAPANI, Vaithiyanathan.; GANESAN, Madhavi. Fuzzy decision support system for improving the crop productivity and efficient use of fertilizers. **Computers and Electronics in Agriculture**, 2018, v. 150, p. 88-97, 29 out. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.030. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169917310761. Acesso em: 29 out. 2024

TAKAGI, Tomohiro.; SUGENO, Michio. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, Tóquio, 1985, v. SMC-15, n. 1, p. 116-132, 01 out. 2024. DOI: https://doi.org/10.1109/TSMC.1985.6313399 Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/6313399. Acesso em: 01 out. 2024.

TANSCHEIT, Ricardo. Sistemas Fuzzy. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Pontifíca Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=pt-BR&user=HOSfbdYAAAAJ&citation_for_view=HOSfbdYAAAAJ:u-x6o8ySG0sC. Acesso em: 31 out. 2024

ZANON, Lucas. Introdução à teoria fuzzy. 2022. Apresentação do Power Point. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7716344/mod_resource/content/1/Introdu%C3%A7%C3%A3o%20-%20Fuzzy%20-%20SEP0506%20-%20pt2.pdf. Acesso em: 31 out. 2024

ZADEH, Lotfi. Knowledge representation in fuzzy logic. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, 1989, v. 1, n. 1, p. 89-100, 30 out. 2024. DOI: 10.1109/69.43406. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/43406 . Acesso em: 30 out. 2024

ZUFFO, Antonio. Análise multicriterial ao planejamento de recursos hídricos: Uma metodologia fuzzy para o enfoque ambiental. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/260244758_CAPITULO_4?enrichId=rgreq-eb7820be457efed41962784b4106d3b0-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2MDI0NDc1ODtBUzoxMDIyNTY1MTQ5NjE0MTBAMTQwMTM5MTI2MTEyMw%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf . Acesso em

Agradecimentos

Dedico este trabalho àquela que me motiva e traz alegria, mesmo nas situações mais desafiadoras. Agradeço também a todos que dedicaram seu tempo e esforços para a possibilidade do meu ensino.