

Método de utilização do Fuzzy Logic Toolbox do software MATLAB para modelagem matemática de variáveis biométricas e nutricionais da cultura da soja

Method of using the Fuzzy Logic Toolbox of MATLAB software for mathematical modeling of biometric and nutritional variables of soybean culture

Método de uso del software Fuzzy Logic Toolbox de MATLAB para el modelado matemático de variables biométricas y nutricionales del cultivo de soja

Recebido: 30/09/2020 | Revisado: 01/10/2020 | Aceito: 01/10/2020 | Publicado: 04/10/2020

Bruno César Góes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4409-1720>

Universidade José do Rosário Vellano, Brasil

E-mail: bruno.goes@unifenas.br

Renato Jaqueto Góes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2297-4389>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: renatojgoes@gmail.com

Camila Pires Cremasco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2465-1361>

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: camila.cremasco@unesp.br

Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7269-2806>

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: gabriel.filho@unesp.br

Resumo

A lógica fuzzy foi introduzida no meio científico na década de 1960 pelo então matemático Lotif Asker Zadeh. Seu conceito baseia-se na abordagem do princípio da incerteza não probabilística, composta de subjetividade e imprecisão nos termos linguísticos da informação, atribuindo valores para o grau de pertinência entre 0 e 1. A lógica fuzzy está presente nos mais diversos campos de atuação, desde construção de aeronaves à ampla utilização na área médica.

Dessa forma, seu uso vem se intensificando no campo das ciências agrárias, dado possuir maior grau de acerto em relação aos modelos estatísticos, realizados de experimentos agrônômicos. O objetivo foi realizar uma descrição didática da metodologia fuzzy utilizada para construção de um sistema fuzzy aplicado na cultura da soja cultivada em sistema plantio direto. Para modelagem foi utilizado o software MATLAB R2019a, no qual foi realizado “print” da tela de cada passo durante a construção do modelo, de modo a contribuir para ampla divulgação dos sistemas fuzzy nas ciências agrárias.

Palavras-chave: Inteligência artificial; Sistema fuzzy; Lógica fuzzy.

Abstract

Fuzzy logic was introduced into the scientific world in the 1960s by the then mathematician Lotif Asker Zadeh. Its concept is based on the non-probabilistic uncertainty principle approach, composed of subjectivity and imprecision in the linguistic terms of the information, assigning values for the degree of relevance between 0 and 1. Fuzzy logic is present in the most diverse fields of activity, from aircraft construction to widespread use in the medical field. Thus, its use has been intensifying in the field of agrarian sciences, as it has a greater degree of accuracy in relation to statistical models, carried out by agronomic experiments. The objective was to carry out a didactic description of the fuzzy methodology used to build a fuzzy system applied to soybean cultivated under no-tillage system. For modeling, the MATLAB R2019a software was used, in which the screen was printed for each step during the construction of the model, in order to contribute to the wide dissemination of fuzzy systems in agricultural sciences.

Keywords: Artificial intelligence; Fuzzy systems; Fuzzy logic.

Resumen

La lógica difusa fue introducida en el mundo científico en la década de 1960 por el entonces matemático Lotif Asker Zadeh. Su concepto se basa en el enfoque del principio de incertidumbre no probabilístico, compuesto por subjetividad e imprecisión en los términos lingüísticos de la información, asignando valores para el grado de relevancia entre 0 y 1. La lógica difusa está presente en los más diversos campos de actividad, desde la construcción de aeronaves hasta su uso generalizado en el campo médico. Así, su uso se ha ido intensificando en el campo de las ciencias agrarias, ya que posee un mayor grado de precisión en relación a los modelos estadísticos, realizados mediante experimentos agronómicos. El objetivo fue realizar una descripción didáctica de la metodología difusa utilizada para construir un sistema difuso aplicado a soja cultivada bajo sistema de labranza cero. Para el modelado se utilizó el

software MATLAB R2019a, en el cual se imprimió la pantalla de cada paso durante la construcción del modelo, con el fin de contribuir a la amplia difusión de los sistemas difusos en las ciencias agrícolas.

Palabras clave: Inteligencia artificial; Sistema difuso; Lógica difusa.

1. Introdução

A maioria das ferramentas utilizadas nos modelos matemáticos tradicionais, adotam a lógica booleana para determinação dos conjuntos matemáticos, sendo esta, configurada pela lógica dicotômica, ou seja, de modo não haver dúvida sobre os valores de um determinado elemento em relação ao pertencimento ou não a um conjunto booleano (Zimmermann, 2010). No entanto, muitas situações reais nas quais baseiam-se os modelos matemáticos, são dotadas de incertezas e imprecisão, resultado do processo de interpretação do raciocínio humano frente a percepção das emoções (Janarthanan, Balamurali, Annapoorani & Vimala, 2020).

Nesse sentido, a lógica fuzzy foi introduzida no meio científico em meados da década de 1960, quando da primeira publicação em periódico da área sobre o assunto, escrito pelo então matemático Lotif Asker Zadeh. Seu conceito baseia-se na abordagem do princípio da incerteza não probabilística, composta de subjetividade e imprecisão nos termos linguísticos da informação (Zadeh, 1965).

A metodologia fuzzy permite atribuir valores de pertinência aos elementos de cada conjunto quanto ao grau de pertencimento à esses conjuntos, variando entre 0 e 1, de modo que o grau de pertinência igual a 0,5, condiz com o conceito de meia verdade, já por sua vez, valores próximos à 1 ou 0, assume-se como quase verdade ou quase falso, respectivamente (Slavyanov, 2018).

Dessa maneira, a lógica fuzzy está presente nos mais diversos campos de atuação, as quais necessita-se de tomadas de decisões baseadas nas interpretações do raciocínio humano, sendo uma de suas primeiras aplicações realizadas em estradas de ferro pelos japoneses no ano de 1985 (Rignel, Chenci & Lucas, 2011).

Desde então, a lógica fuzzy vem sendo aplicada nas mais diferentes áreas, por meio dos sistemas inteligentes, aplicados em máquinas de lavar roupas, helicópteros não tripulados, até na área médica, como na previsão de pacientes dependentes da administração de vasopressores em risco cirúrgico, ou mesmo para seleção de medicamentos para pacientes da COVID-19 (Phuong & Kreinovich, 2001; Ren, Liao & Liu, 2020; Salgado, Vieira, Mendonça, Finkelstein & Souza, 2016).

Na área das ciências agrárias, é comum a utilização de modelos estatísticos e matemáticos para expressar resultados sobre o comportamento de experimentos agrônômicos, investigando as causas e efeitos decorrente de testes na aplicação de novas tecnologias no campo (Viais Neto et al., 2019). No entanto, essas técnicas estatísticas, por meio de modelos de regressão, baseiam-se em valores intermediários não testados experimentalmente, e como em qualquer modelagem de dados, são dotados de erros para ajustes desses modelos (Putti, 2015).

Nesse sentido, a lógica fuzzy, utiliza-se de recursos computacionais para criação dos modelos matemáticos, sendo estes, dotados de menores erros de ajustes desses modelos, representando com maior precisão e exatidão os resultados obtidos durante a realização dos experimentos (Viais Neto, 2016).

O uso de modelagens fuzzy nas ciências agrárias está sendo cada vez mais utilizado, em decorrência da evolução do grau de inovação tecnológica na agricultura, decorrente do processo da agricultura 4.0, refletindo no crescimento contínuo da produtividade das culturas agrícolas (Anjos, 2001). Nessa vertente, vários trabalhos exploram o uso da lógica fuzzy na agronomia, a exemplo, no trabalho de Prabakaran, Vaithyanathan e Ganesan (2018) que utiliza a ferramenta como apoio para tomada de decisão no melhoramento da produtividade na aplicação de fertilizantes; como também para o melhor manejo de irrigação de culturas agrícolas, nos trabalhos de Li et al. (2019), Viais Neto et al. (2019), ou então para determinação de produtividade do trigo sob diferentes doses de lodo e efluentes de esgoto (Putti, Kummer, Grassi Filho, Gabriel Filho & Cremasco, 2017).

A sua aplicabilidade, estende-se para além dos limites de dentro da porteira, podendo ser utilizada ao longo de toda cadeia produtiva do agronegócio, como no uso de comparação de massa corporal de bovinos para abate, realizado por Gabriel Filho et al. (2016); e na avaliação de consumo de energia elétrica em empresa de avicultura de postura (Cremasco, Gabriel Filho & Cataneo, 2010).

Nesse sentido, a aplicação da lógica fuzzy mostra-se eficiente em vários campos de atuação da ciência, em especial, na área agrônômica como fator determinante no uso de tecnologias da agricultura de precisão, aumentando ao longo dos anos, a produtividade das safras agrícolas no campo.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi realizar uma descrição didática da metodologia fuzzy utilizada para construção de um sistema fuzzy aplicado na cultura da soja cultivada em sistema plantio direto de coberturas vegetais de milho e sorgo, por meio de ferramentas do Fuzzy Logic Toolbox, do MATLAB.

2. Metodologia

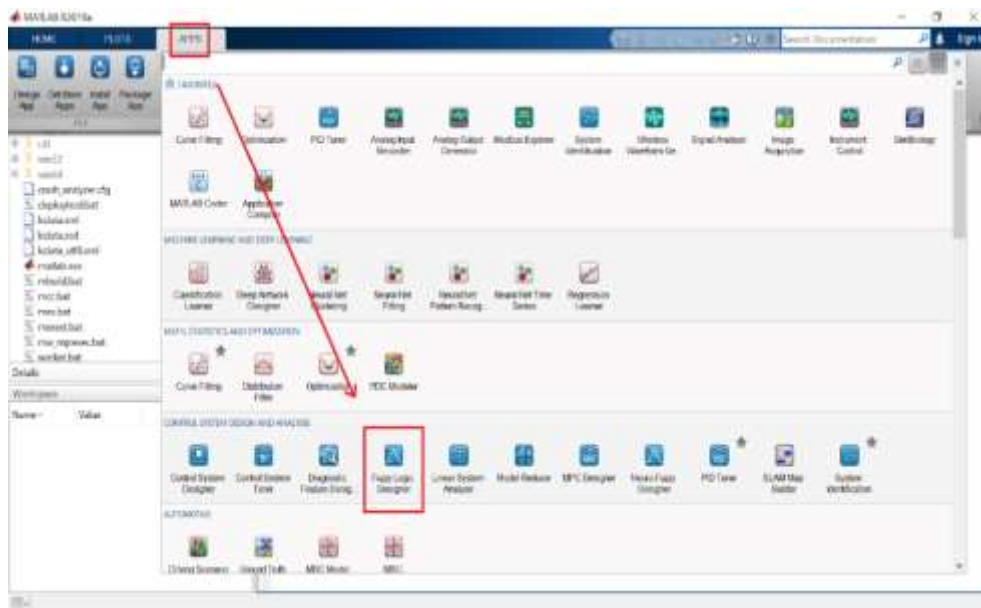
Foram consultados livros, tutoriais e manuais de ensino pedagógico de aplicação da lógica fuzzy para elaboração do material didático que se segue. Nesse sentido, foi utilizado a versão do software MATLAB R2019a, licenciado pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, no desenvolvimento do sistema fuzzy, juntamente com o recurso de edição de imagens do Sistema Operacional Windows para construção do passo a passo das funções de adesão.

A metodologia utilizada para este trabalho, é similar a metodologia adotada nos trabalhos de Cremasco, Gabriel Filho e Cataneo (2010), Gabriel Filho, Cremasco, Putti e Chacur (2011), Gabriel Filho, Piggato e Lourenzani (2015), Gabriel Filho et al. (2016), Pereira, Bigli, Gabriel Filho e Cremasco (2008), Putti, Gabriel Filho, Silva, Ludwig e Cremasco (2014), Putti et al. (2017a), Putti et al. (2017b), Viais Neto et al. (2019a, 2019b) e Martínez et al. (2020).

Foi utilizado o método de inferência proposto por Mamdani e Assilian (1975), sendo este, adotado como modelo padrão pelo MATLAB e mais utilizado na elaboração das modelagens fuzzy. Por sua vez, o método de defuzzyficação adotado para elaboração do sistema fuzzy, foi o método proposto por Cremasco (2008), com base pela determinação do centro de gravidade.

Para acessar as ferramentas do Fuzzy Logic Toolbox, o usuário deve acessar a janela de comandos no painel de extensões e aplicativos do MATLAB R2019a, localizado na barra de ferramentas, na parte superior da janela (APPS), conforme é possível observar na Figura 1.

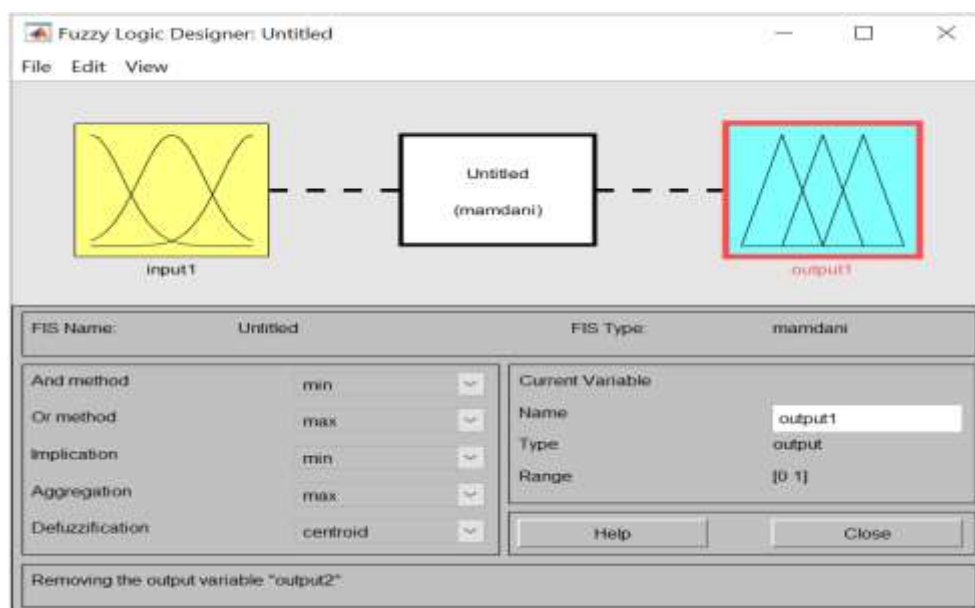
Figura 1. Acesso as ferramentas do Fuzzy Logic Toolbox.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Após acessar as ferramentas do Fuzzy Logic Toolbox, dá-se entrada no painel de visualização de ferramentas fuzzy, no qual dará início à configuração da geração do sistema fuzzy por meio dos incrementos de parâmetros de variáveis de entrada e saída, além da definição do método de inferência e defuzzificação utilizado para criação do modelo. Segue na Figura 2, a ilustração do painel, denominado “Fuzzy Logic Designer”.

Figura 2. Painel de entrada do Fuzzy Logic Toolbox.

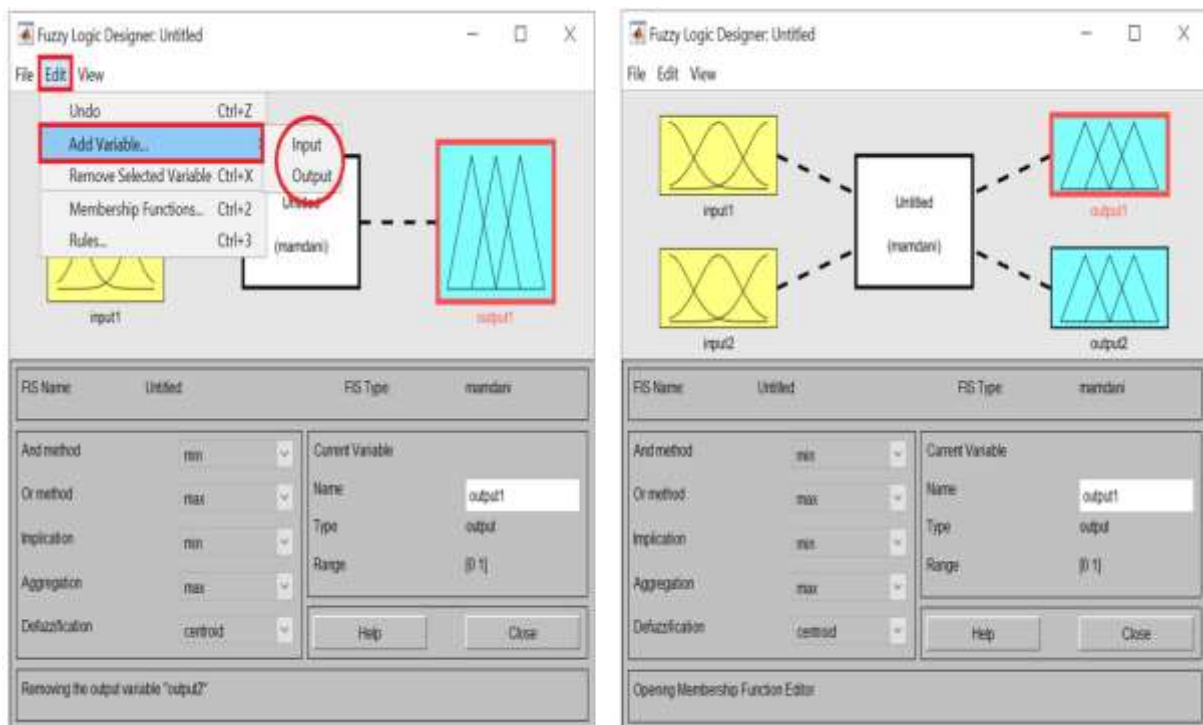


Fonte: Elaborada pelos autores.

No painel do “Fuzzy Logic Designer” será inserida informações para definição dos operadores do método de inferência de Mamdani, como o método de defuzzificação, o intervalo de arranjo das variáveis de entrada e de saída, como também o nome dado a essas variáveis.

Para inclusão de novas variáveis, tanto de entrada (caixa amarela) quanto de saída (caixa azul), o acesso se dá por meio da barra de ferramentas, no item “Edit”, selecionando a opção “Add Variable”, conforme exemplificado na Figura 3.

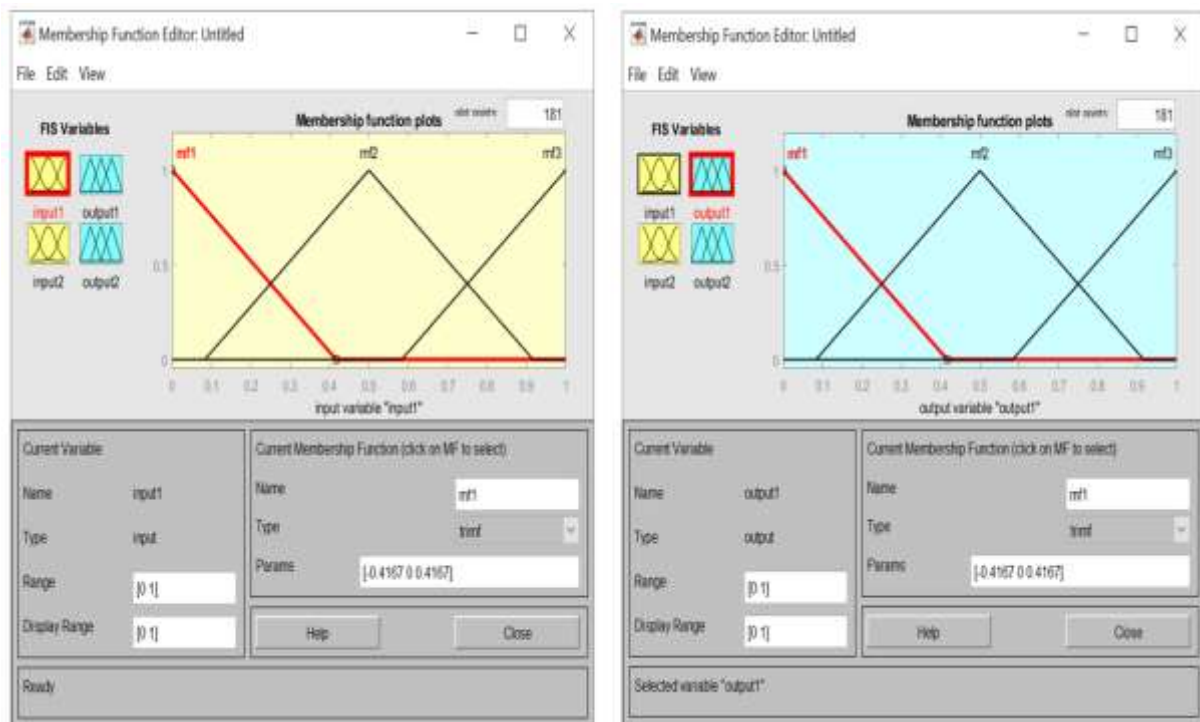
Figura 3. Painel Logic Designer para inserir novas variáveis.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a inserção das novas variáveis, é possível fazer a edição, definindo os parâmetros de cada uma das variáveis de entrada (caixa amarela) e das variáveis de saída (caixa azul). Nessa seção do Painel Logic Designer, será definido intervalo das variáveis, bem como o limite superior e limite inferior, para que se estabeleça a base de regras do sistema fuzzy. Tal procedimento será realizado para cada variável, conforme pode ser observado na Figura 4.

Figura 4. Definição dos parâmetros de novas variáveis de entrada e de saída.



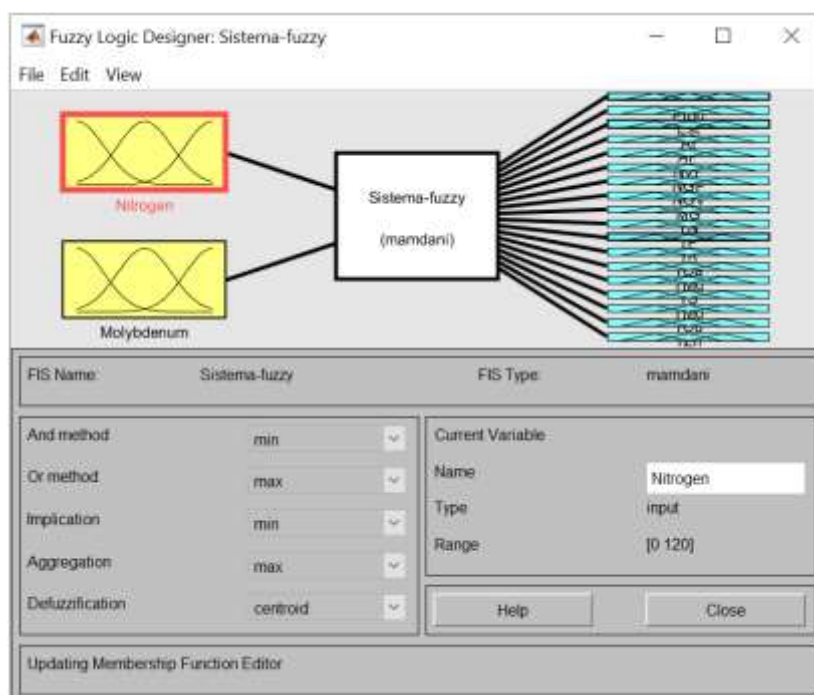
Fonte: Elaborada pelos autores.

3. Resultados e Discussão

Para realização do sistema fuzzy, foi utilizado dados experimentais do estudo realizado por Goes (2016) sobre o desenvolvimento da cultura da soja cultivada sob sistema plantio direto para diferentes doses de adubação nitrogenada e aplicação de molibdênio via foliar, com finalidade de avaliar o desempenho nutricional e biométrico da cultura.

Para esse sistema fuzzy, foi considerada duas variáveis de entrada, doses de nitrogênio e doses de molibdênio, e avaliado 18 variáveis de saída, sendo elas: produtividade; variáveis biométricas: estante, altura de inserção da primeira vagem, altura da planta, número de vagens por planta, número de grãos por planta, número de grãos por vagem e massa de 1000 grãos, variáveis nutricionais da folha: teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, manganês e molibdênio. Conforme representado o modelo na Figura 5.

Figura 5. Modelo fuzzy das variáveis de entrada e saída.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para este modelo, em relação às variáveis de entrada, foi adotada quatro doses diferentes de adubação nitrogenada (0; 40; 80 e 120 kg ha⁻¹) e quatro doses de aplicação de molibdênio (0; 12,5; 25 e 50 kg ha⁻¹), originando quatro conjuntos fuzzy de entrada com seus respectivos delimitadores, sendo considerado também, o modelo das funções de pertinência do tipo triangular, conforme descrito na Tabela 1.

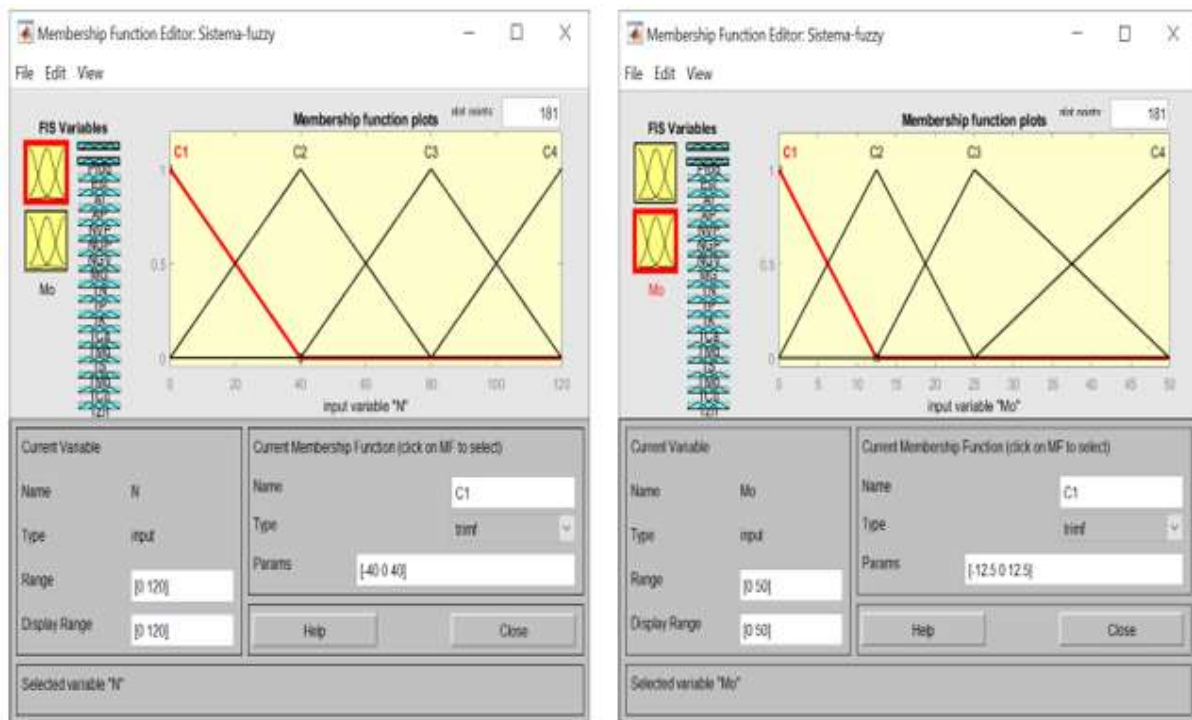
Tabela 1. Definição da função de pertinência da variável de entrada nitrogênio.

Entrada	Conjunto Fuzzy	Tipo	Delimitadores
Nitrogênio	C_1	Triangular	$[-40, 0, 40]$
Nitrogênio	C_2	Triangular	$[0, 40, 80]$
Nitrogênio	C_3	Triangular	$[40, 80, 120]$
Nitrogênio	C_4	Triangular	$[80, 120, 160]$
Molibdênio	C_1	Triangular	$[-12,5; 0; 12,5]$
Molibdênio	C_2	Triangular	$[0; 12,5; 25]$
Molibdênio	C_3	Triangular	$[12,5; 25; 50]$
Molibdênio	C_4	Triangular	$[25; 50; 75]$

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os delimitadores das funções de pertinência de entrada foram inseridos no campo “Range”, no qual o intervalo da variável nitrogênio é compreendido entre 0 e 120, já por sua vez, para variável molibdênio, o intervalo é compreendido entre 0 e 50, conforme representado na Figura 6.

Figura 6. Definição dos parâmetros das variáveis de entrada, nitrogênio e molibdênio.

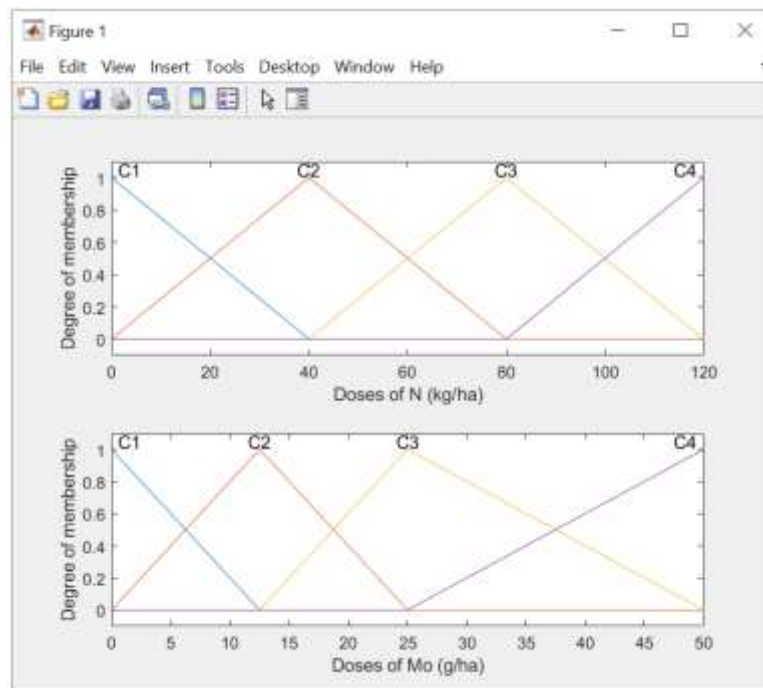


Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a inclusão dos parâmetros de definição das funções de pertinência das variáveis de entrada, nitrogênio e molibdênio, define-se o intervalos dos 4 conjuntos formados, para ambas as variáveis, no qual tem-se para a variável nitrogênio, o conjunto C1 entre -40 e 40; C2 entre 0 e 80, C3 entre 40 e 120 e o conjunto C3, compreendido entre 80 e 160, obtendo como valor de máximo de cada conjunto, os valores de 0; 40; 80 e 120 para os conjuntos C1, C2, C3 e C4, respectivamente. Da mesma maneira a variável de entrada doses de molibdênio, tem-se para o conjunto C1, o intervalo entre -12,5 e 12,5; para C2, o intervalo entre 0 e 25, C3 entre 12,5 e 50 e para o conjunto C4, entre 25 e 75, sendo o valor de máximo para cada conjuntos, as medidas de 0; 12,5; 25 e 50, para os conjuntos C1, C2, C3 e C4 respectivamente.

Concluído essa etapa, foi realizada a exportação da imagem da função de pertinência dos conjuntos fuzzy de entrada, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7. Exportação da imagem das funções de pertinência dos conjuntos fuzzy de entrada.



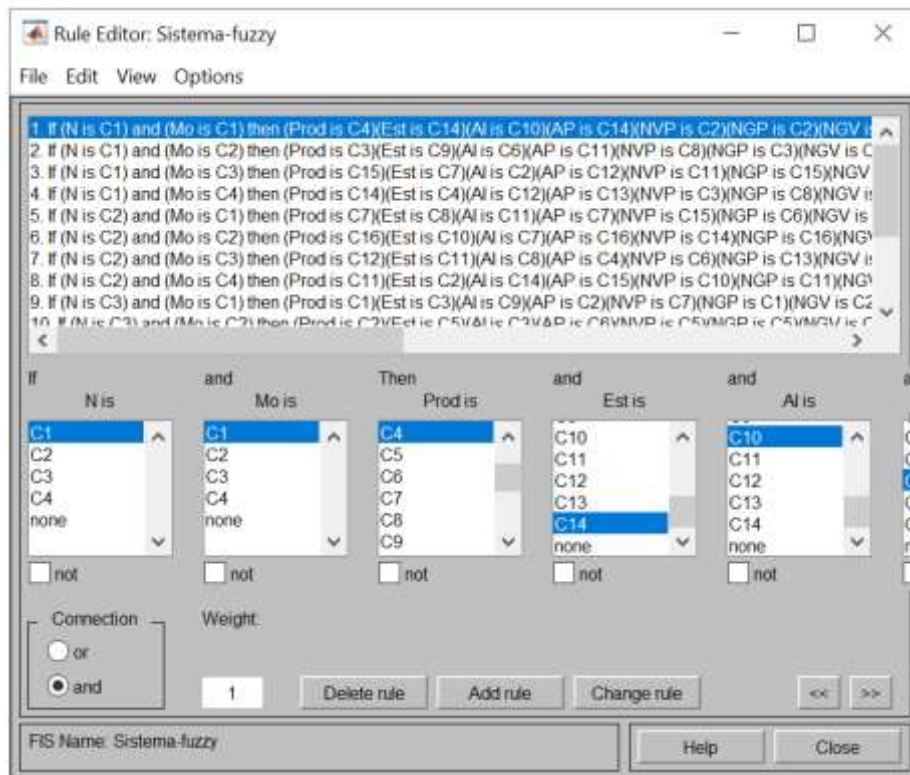
Fonte: Elaborada pelos autores.

De maneira análoga a inserção das variáveis de entrada, foram introduzidas as 18 variáveis de saídas analisadas no experimento agrônomo, de modo que foi elaborada uma base de regras para cada variável de saída associada com os valores respectivos aos conjuntos de entrada, conforme a dosagem de nitrogênio e molibdênio.

A base de regras foi realizada conforme a ordenação crescente dos valores obtidos pelas variáveis de saída associada aos conjuntos fuzzy de entrada, por exemplo, considerando a adubação nitrogenada de 0 kg ha⁻¹ e adubação com molibdênio também a 0 kg ha⁻¹, o resultado obtido de produtividade for o quarto em escala crescente, considerado no intervalo, logo associa-se o conjunto fuzzy de entrada C1 para nitrogênio, C1 para molibdênio com o conjunto fuzzy de saída C4 para produtividade, e dessa forma associa-se todas as outras variáveis de saídas para associação com a combinação dos valores de entrada.

Dessa maneira, foi realizada todas as combinações das variáveis de entrada, associando-se aos conjuntos de saída das variáveis analisadas, conforme a ordenação crescente dos valores obtidos. Verifica-se na Figura 8, o exemplo de demonstração da construção da base de regras.

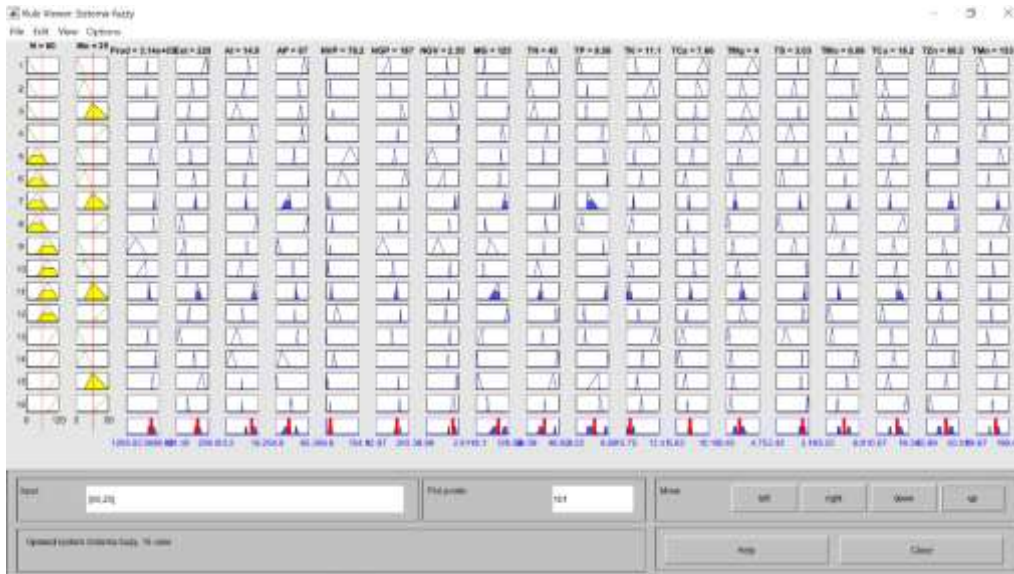
Figura 8. Construção da base de regras.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Após estabelecidas todas as bases de regras, o software realiza a simulação de interação entre todas as combinações possíveis para todas as variáveis de saída, de acordo com as dosagens combinadas de nitrogênio e molibdênio, permitindo a simulação para valores não testados experimentalmente por meio do painel de visualização interativa, conforme pode ser observado na Figura 9.

Figura 9. Visualização interativa da base de regras.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Com o painel de visualização da base de regras de maneira interativa, é possível realizar a previsão das variáveis de saídas de maneira instantânea com base em diferentes doses de adubação com nitrogênio nas coberturas vegetais e diferentes doses de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja, tornando mais eficiente a tomada de decisão, além de reduzir os custos com fertilizantes, aplicando doses exatas para melhor rendimento da cultura da soja, tanto em valores nutricionais quanto biométricos.

4. Considerações Finais

Visto a ampla utilização dos sistemas fuzzy nas mais diferentes áreas do conhecimento, o seu uso nas ciências agrárias, contribui para aumento de produtividade no campo, fruto da agricultura de precisão juntamente com o avanço das tecnologias, presente nessa era de transição da agricultura 4.0 para a agricultura 5.0.

Dessa forma, é imprescindível a divulgação de trabalhos metodológicos, com o intuito de divulgar e ampliar o uso dos modelos fuzzy nas ciências agrárias, dado o maior grau de acerto dos modelos, em comparação com outros modelos estatísticos, de experimentos agrônômicos.

Com base neste trabalho, sugere a publicação de mais trabalhos didáticos de modelagem fuzzy relacionados à área das ciências agrárias, para contribuir com divulgação e ampliação do alcance do conhecimento, para geração de modelos que contribuam para redução de custos para

os agricultores, otimizando os recursos produtivos.

5. Agradecimentos

Este trabalho teve o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) na forma de bolsa de produtividade em pesquisa (Processo nº 313570 / 2017-5).

Referências

Anjos, J. C. A (2001). *Um sistema de avaliação de produtividade em assentamentos rurais utilizando lógica fuzzy*. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina.

Cremasco, C. P.; Gabriel Filho, L. R. A., & Cataneo, A. (2010) Methodology for determination of fuzzy controller pertinence functions for the energy evaluation of poultry industry companies. *Energia na Agricultura*, 259(3):21-39.

Gabriel Filho, L. R. A.; Cremasco, C. P.; Putti, F. F., & Chacur, M. G. M. (2011) Application of fuzzy logic for the evaluation of livestock slaughtering. *Engenharia Agrícola*, 31(4):813-825.

Gabriel Filho, L. R. A.; Pigatto, G. A. S., & Lourenzani, A. E. B. S. (2015) Fuzzy rule-based system for evaluation of uncertainty in cassava chain. *Engenharia Agrícola*, 35(2):350-367.

Gabriel Filho, L. R. A.; Putti, F. F.; Cremasco, C. P.; Bordin, D.; Chacur, M. G. M., & Gabriel L. R. A. (2016) Software to assess beef cattle body mass through the fuzzy body mass index. *Engenharia Agrícola*, 36(1): 179-193.

Goes, R. J. (2016). *Doses de Nitrogênio em Coberturas Vegetais e Molibdênio Foliar na Soja em Sucessão*. 77 f. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Agronomia (Sistemas de Produção), Universidade Estadual Paulista.

Janarthanan, R.; Balamurali, R.; Annapoorani, A., & Vimala, V. (2020). Prediction of rainfall using fuzzy logic. *Materials Today: Proceedings*, S2214785320346332.

Li, M.; Sui, R.; Meng, Y., & Yan, H. (2019). A real-time fuzzy decision support system for alfalfa irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104870.

Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1–13.

Martínez, M. P.; Cremasco, C. P.; Gabriel Filho, L. R. A.; Braga Junior, S. S.; Bednaski, A. V.; Quevedo-Silva, F.; Correa, C. M.; Silva, D., & Padgett, R. C. M. L. (2020) Fuzzy inference system to study the behavior of the green consumer facing the perception of greenwashing. *Journal of Cleaner Production*, 242: 116064.

Pereira, D. F.; Bigli, C. A.; Gabriel Filho, L. R. A., & Cremasco, C. P. C. (2008) Sistema fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. *Engenharia Agrícola*, 28(4):624-633.

Phuong, N. H., & Kreinovich, V. (2001). Fuzzy logic and its applications in medicine. *International Journal of Medical Informatics*, 62(2–3), 165–173.

Prabakaran, G.; Vaithiyanathan, D., & Ganesan, M. (2018). Fuzzy decision support system for improving the crop productivity and efficient use of fertilizers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 150, 88–97.

Putti, F. F.; Gabriel Filho, L. R. A.; Cremasco, C. P.; Bonini Neto, A.; Bonini, C. S. B., & Reis, A. R. (2017a) A Fuzzy mathematical model to estimate the effects of global warming on the vitality of *Laelia purpurata* orchids. *Mathematical Biosciences*, 288:124-129.

Putti, F. F.; Gabriel Filho, L. R. A.; Silva, A. O.; Ludwig, R., & Cremasco, C. P. (2014) Fuzzy logic to evaluate vitality of *Catasetum fimbriatum* species (Orchidaceae). *Irriga*, 19(3):405-413.

Putti, F. F.; Kummer, A. C. B.; Grassi Filho, H.; Gabriel Filho, L. R. A., & Cremasco, C. P. (2017b) Fuzzy modeling on wheat productivity under different doses of sludge and sewage effluent. *Engenharia Agrícola*, 37(6):1103-1115.

Putti, F. F. (2015). *Análise dos indicadores biométricos e nutricionais da cultura da alface (Lactuca sativa L.) irrigada com água tratada magneticamente utilizando modelagem fuzzy*. 186 f. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Paulista.

Ren, Z.; Liao, H., & Liu, Y. (2020). Generalized Z-numbers with hesitant fuzzy linguistic information and its application to medicine selection for the patients with mild symptoms of the COVID-19. *Computers & Industrial Engineering*, 145, 106517.

Rignel, D. G.; Chenci, G. P., & Lucas, C. A. (2011). Uma introdução a lógica fuzzy. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica*, 1(1), 12.

Salgado, C. M.; Vieira, S. M.; Mendonça, L. F.; Finkelstein, S., & Sousa, J. M. C. (2016). Ensemble fuzzy models in personalized medicine: Application to vasopressors administration. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 49, 141–148.

Slavyanov, K. (2018). An algorithm of fuzzy inference system for human resources selection tools. *Society Integration Education*. Proceedings of the International Scientific Conference, 5, 445–454.

Viais Neto, D. S.; Cremasco, C. P.; Bordin, D.; Putti, F. F.; Silva Junior, J. F., & Gabriel Filho, L. R. A. (2019a) Fuzzy modeling of the effects of irrigation and water salinity in harvest point of tomato crop. Part I: description of the method. *Engenharia Agrícola*, 39(3):294-304.

Viais Neto, D. S.; Cremasco, C. P.; Bordin, D.; Putti, F. F.; Silva Junior, J. F., & Gabriel Filho, L. R. A. (2019b) Fuzzy modeling of the effects of irrigation and water salinity in harvest point of tomato crop. Part II: application and interpretation. *Engenharia Agrícola*, 39(3):305-14.

Viais Neto, D. S. (2016). *Modelagem fuzzy para avaliação do desenvolvimento do tomate em tensões de água no solo e doses de salinidade na irrigação*. 70 f. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Paulista.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.

Zimmermann, H. J. (2010). Fuzzy set theory: Fuzzy set theory. Wiley Interdisciplinary Reviews: *Computational Statistics*, 2(3), 317–332.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Bruno César Góes – 50%

Renato Jaqueto Góes – 10%

Camila Pires Cremasco – 10%

Luís Roberto Almeida Gabriel Filho – 30%