

Utilização da lógica *fuzzy* na otimização da aplicação de fertilizantes no capim brizantha

RESUMO

A braquiária é considerada fundamental volumoso para alimentação bovina. Portanto, produtor busca encontrar as melhores dosagens de fertilizantes para altas produtividades. O objetivo geral deste trabalho foi apresentar um modelo, baseado em indicadores e na lógica *fuzzy*, para otimizar as dosagens de dois fertilizantes em um cultivar da braquiária. Para a entrada deste sistema foram utilizadas as variáveis relacionadas aos fertilizantes (mineral e orgânico) e para saída à altura da planta (em cm). Os melhores resultados após otimização das regras de entrada para a aplicação dos fertilizantes mineral e orgânico estiveram entre 0 a 20 e 150 a 200 com 130 a 150 e 180 a 200, respectivamente em g/m², respectivamente. Com a aplicação de regras difusas utilizando dados reais, pode-se apresentar grandes benefícios aos envolvidos na cadeia produtiva da pecuária, podendo assim, reduzir as dosagens nas aplicações e melhorando sua rentabilidade final.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade. *Brachiaria brizantha*. Aplicação Lógica Nebulosa.

Emmanuel Zullo Godinho

Doutor em Agronomia – Energia na Agricultura. Universidade Estadual Paulista – FCA/UNESP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5281-6608>. E-mail: profemmanuelzullo@gmail.com

Fernando de Lima Caneppele

Doutor em Agronomia – Energia na Agricultura. Docente Universidade de São Paulo – FZEA/USP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4498-8682>. E-mail: caneppele@usp.br

Helio Vagner Gasparotto

Bacharelado em Ciências Contábeis. Universidade Estadual Paulista – UNESP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0421-7090>. E-mail: helio.vagner@unesp.br

INTRODUÇÃO

A pecuária nacional brasileira vem se destacando ano a ano no cenário mundial com altas taxas nas exportações e com isso apresenta grande representatividade no Valor Bruto de Produção da Agropecuária, obtendo o primeiro lugar no ranking geral com R\$ 406,2 bilhões (carne bovina, leite, frango, suínos e ovos) (CNA, 2021).

Estes números crescem ano a ano com a aplicação de novas tecnologias principalmente no uso de cultivares com grandes benefícios nas respostas alimentares (EUCLIDES et al., 2009). A *Brachiaria brizantha* é um capim com alto valor nutricional principalmente para a alimentação de vacas leiteiras (PEZZOPANE et al., 2015). Por responder bem a altas dosagens de fertilizantes, o capim brizantha é muito utilizado na alimentação animal, pois apresenta grande volume de massa seca (BISERRA et al., 2017).

Por isso, as empresas de fertilizantes juntamente com os produtores montam campos de testes como forma de encontrar a melhor dosagem para uma produtividade que aumente a rentabilidade do produtor. Além dos experimentos de campo, o agronegócio também trabalha com algumas ferramentas como a lógica *fuzzy* que possibilita apresentar resultados otimizados de uma operação, objetivando uma produtividade ideal com uma redução nos custos indiretos (GODINHO & CANEPPELE, 2021).

A lógica *fuzzy* também chamada de lógica nebulosa, essa se diferencia de outros sistemas lógicos tradicionais por se basear em uma extensão da lógica de valores, com objetivos e usos diferentes (GODINHO, CANEPPELE, GASPAROTTO (2021a); CANEPPELE et al. (2021)). Nessa lógica, uma proposição pode se dar como verdadeira, falsa ou até intermediária, ainda podendo possuir valores finitos e infinitos (GODINHO, CANEPPELE, GASPAROTTO, 2021b).

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi apresentar um modelo, baseado em indicadores e na lógica *fuzzy*, para otimizar as dosagens de dois fertilizantes em um cultivar da braquiária.

METODOLOGIA

O artigo foi baseado em um experimento a campo, onde foi realizado aplicações de dois fertilizantes sólidos, sendo um mineral (5-10-10) e um orgânico a base de compostagem bovina, via solo antes do plantio da cultura. Foi avaliado altura de planta em (cm) da *Brachiaria brizantha* cv. Marandú no campo experimental do Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo.

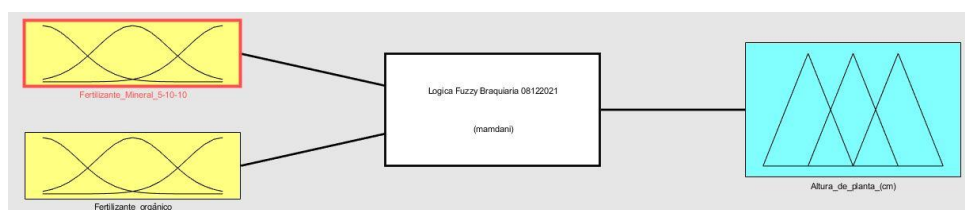
Posterior coletado os resultados, os pesquisadores desenvolveram um sistema baseado em regras difusas foi estabelecido para encontrar a melhor dosagem dos fertilizantes como as principais características para uma gestão adequada.

A partir daí foi desenvolvido um processador de entrada, chamado de fuzzificador, um conjunto de regras linguísticas, um método de inferência difusa e um processador de saída, chamado de defuzzificador para a geração de um número real como saída, foram definidos.

Neste sistema utilizou-se as mesmas variáveis aplicados a campo, onde determinou-se que as variáveis de entrada do sistema seriam os fertilizantes: mineral de concentração 5-10-10, sendo 5% de nitrogênio, 10% fosforo e 10% potássio e o orgânico, produzido de uma compostagem bovina produzida no próprio colégio, para as melhores condições de produção da braquiária.

A Figura 1, apresenta o sistema baseado em regras *fuzzy* desenvolvido para a otimização dos fertilizantes no capim brizantha.

Figura 1 – Sistema baseado em regras *fuzzy* para a otimização na aplicação de fertilizantes no capim brizantha.



Source: Autores (2021)

Existem diversas formas associadas as funções de pertinências que podem ser utilizadas para os dados de entrada, ou input e os dados de saída output. Conforme Godinho, Caneppele e Gasparotto (2021a) a forma mais comum é a triangular, entretanto o modelo utilizado depende muito da preferência e experiência do projetista.

As funções de pertinência triangulares são caracterizadas por uma operacionalização simples utilizando siglas, podendo ser a, b e c. Sendo, o intervalo de a e c aplicados a valores diferentes de zero, e b é o ponto onde a função de pertinência é máxima (CANEPPELE et al., 2021).

Com isso, foi definido as principais funções de pertinência para o Fertilizante Mineral e o Fertilizante Orgânico para o processo de avaliação de altura de planta da braquiária. Para cada variável de entrada foi desenvolvido 7 (sete) graus de adesão. Onde os intervalos de ambas as variáveis estão entre 0 a 200, ou seja, [0 200].

Os graus de pertinências para os Fertilizantes: Mineral e Orgânico sendo apresentados no Quadro 1 e nas Figuras 1 e 2.

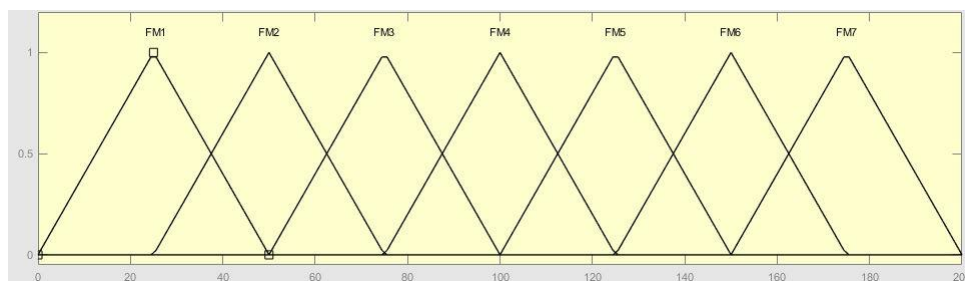
Quadro 1 - Definições dos graus de pertinência para as variáveis de entrada Fertilizante Mineral 5-10-10 e do Fertilizante Orgânico.

Tipo	Conjunto Difuso	FM	Conjunto Difuso	FO
Triangular	FM1	[0 25 50]	FO1	[0 25 50]
Triangular	FM2	[25 50 75]	FO2	[25 50 75]
Triangular	FM3	[50 75 100]	FO3	[50 75 100]
Triangular	FM4	[75 100 125]	FO4	[75 100 125]
Triangular	FM5	[100 125 150]	FO5	[100 125 150]
Triangular	FM6	[125 150 175]	FO6	[125 150 175]
Triangular	FM7	[150 175 200]	FO7	[150 175 200]

FM: Fertilizante Mineral 5-10-10 (g/m²); FO: Fertilizante Orgânico (g/m²).

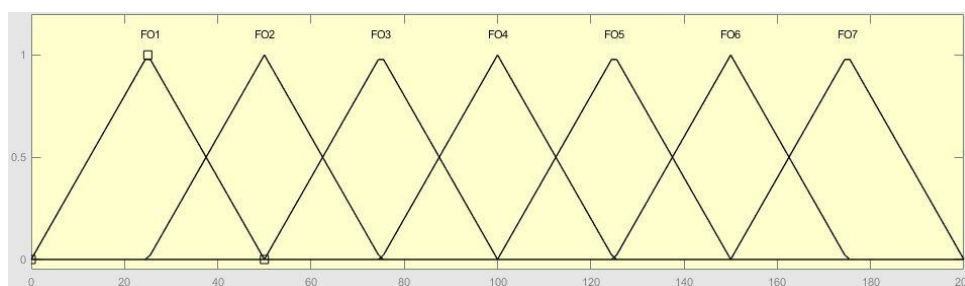
Source: Autores (2021)

Figura 2 – Grau de associação para conjuntos difusos da variável da entrada – Fertilizante Mineral 5-10-10.



Source: Autores (2021)

Figura 3 – Grau de associação para conjuntos difusos da variável da entrada – Fertilizante Orgânico.



Source: Autores (2021)

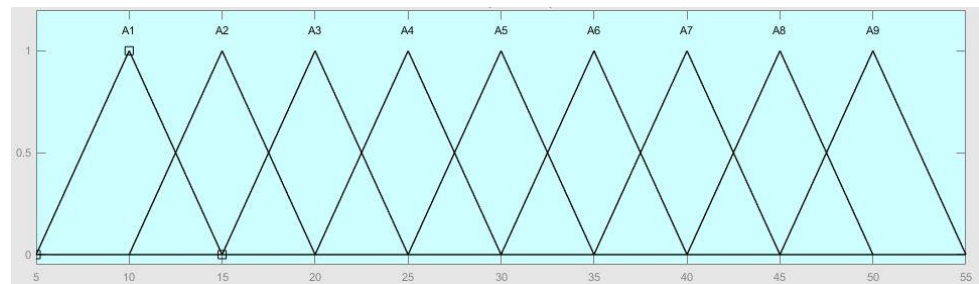
A variável de saída foi chamada de Altura de planta (cm), gerando assim um número real o intervalo [5 55]. Os graus de pertinência da variável foram nomeados de A1 a A9, com seus respectivos dados numéricos, conforme o Quadro 2 e a Figura 4.

Tabela 2 - Definições dos graus de pertinência para a variável de saída Altura de planta.

Tipo	Conjunto Difuso	Altura de planta (cm)
Triangular	A1	[5 10 15]
Triangular	A2	[10 15 20]
Triangular	A3	[15 20 25]
Triangular	A4	[20 25 30]
Triangular	A5	[25 30 35]
Triangular	A6	[30 35 40]
Triangular	A7	[35 40 45]
Triangular	A8	[40 45 50]
Triangular	A9	[45 50 55]

Source: Autores (2021)

Figura 4 – Grau de associação para conjuntos difusos da variável de saída – Altura de planta.



Source: Autores (2021)

O sistema foi baseado em regras difusas de computador foi estabelecido pela Fuzzy Logic Toolbox de MATLAB® 7.0 (MathWorks Inc. Copyright 1984-2004), acoplado à superfície e do mapa de contorno.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com este modelo aplicado, foram realizadas nove combinações distintas (7 × 7) levadas em consideração entre os conjuntos confusos das duas variáveis de entrada para obter a base de regras do sistema *fuzzy*, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - Combinações das variáveis de entrada e a saída com escalas para grau de adesão 1 associados aos conjuntos *fuzzy* para a geração da base de regras.

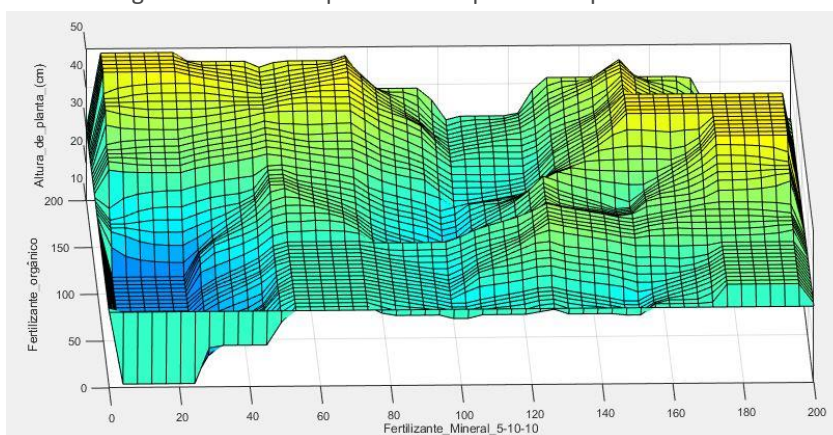
FM 5-10-10 (g/m ²)	FO (g/m ²)	Altura planta (cm)
FM1	FO1	A1
FM1	FO2	A2
FM1	FO3	A2
FM1	FO4	A2
FM1	FO5	A6
FM1	FO6	A7
FM1	FO7	A9
FM2	FO1	A5
FM2	FO2	A5
FM2	FO3	A5
FM2	FO4	A7
FM2	FO5	A7
FM2	FO6	A8
FM2	FO7	A8
FM3	FO1	A5
FM3	FO2	A5
FM3	FO3	A5
FM3	FO4	A5
FM3	FO5	A6
FM3	FO6	A8
FM3	FO7	A9
FM4	FO1	A4
FM4	FO2	A4

FM 5-10-10 (g/m ²)	FO (g/m ²)	Altura planta (cm)
FM4	FO3	A5
FM4	FO4	A3
FM4	FO5	A4
FM4	FO6	A5
FM4	FO7	A5
FM5	FO1	A5
FM5	FO2	A7
FM5	FO3	A7
FM5	FO4	A7
FM5	FO5	A5
FM5	FO6	A5
FM5	FO7	A6
FM6	FO1	A4
FM6	FO2	A6
FM6	FO3	A6
FM6	FO4	A5
FM6	FO5	A9
FM6	FO6	A9
FM6	FO7	A9
FM7	FO1	A6
FM7	FO2	A6
FM7	FO3	A7
FM7	FO4	A9
FM7	FO5	A9
FM7	FO6	A9
FM7	FO7	A6

Source: Autores (2021)

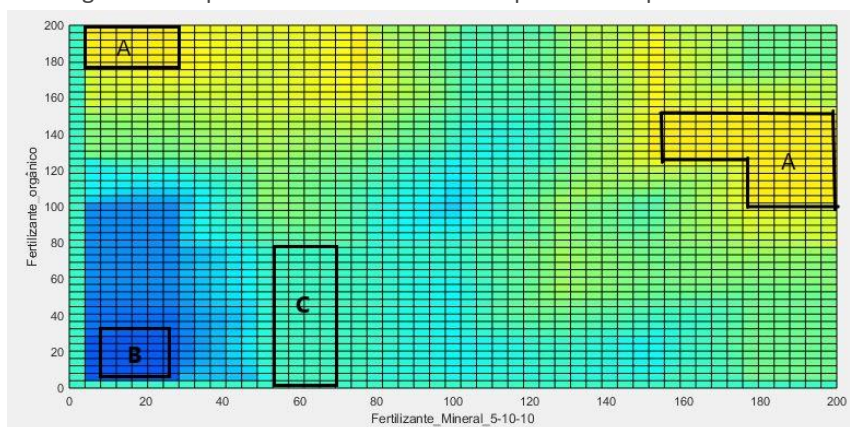
A Figura 5 mostra a superfície em 3D como uma solução do sistema difuso pela Inferência de Método de Mamdani, com mapa de contorno ilustrado na Figura 6.

Figura 5 - Altura de planta difusa para a braquiária em 3D.



Fonte: Os autores, 2021.

Figura 6 - Mapa de contorno da altura de planta da superfície difusa.



Fonte: Os autores, 2021.

A Figura 5 identifica a região no plano com as variáveis Fertilizante mineral x Fertilizante orgânico, onde estabelece as taxas mais altas e mais baixas para *fuzzy* na altura de planta, o que apresenta uma excelente ferramenta para os especialistas em plantio de braquiária aumentando assim, sua produtividade e, principalmente o volume de capim para o rebanho.

As Regiões A representam as melhores condições para altas produtividades da braquiária, sendo os dois intervalos: FM de 0 a 20 x FO de 180 a 200 g/m² e FM 150 a 200 x FO 130 a 150 g/m², proporcionando as melhores dosagens dos fertilizantes para obter altas respostas em altura de planta.

Estes resultados estão de acordo com a literatura, podem ser atribuídos às dosagens da matéria orgânica no fertilizante orgânico, onde a mesma possui benefícios para o solo como aumento na disponibilidade de nutrientes, melhora na disponibilidade hídrica, porosidade, etc. (BISERRA et al., 2017; OURIVES et al., 2010).

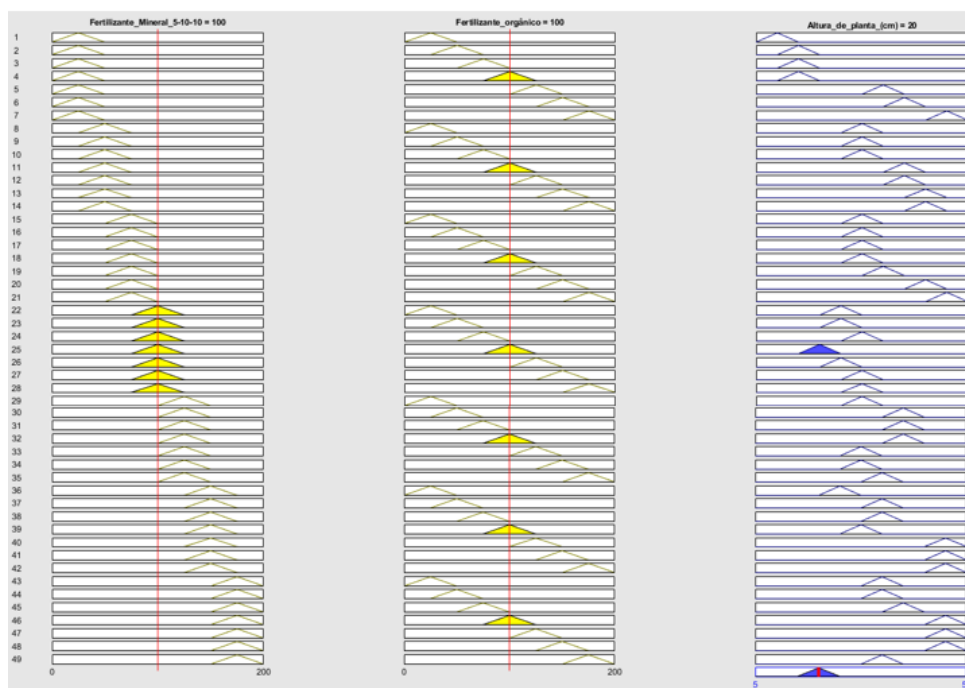
Segundo Costa, Silva e Ribeiro (2013), a matéria orgânica tende a aumentar a capacidade de retenção de água no solo, aumentando a porosidade total do solo; minimiza a erosão do solo e, aumenta a capacidade de troca catiônica, por isso deixa o solo mais fértil.

Além do uso de nutrientes na forma de fertilizante mineral, onde os teores de nitrogênio, fósforo tendem a aumentar a disponibilidade de outros nutrientes do solo, principalmente o Cálcio (LIMA et al., 2010). Silva et al. (2017), apresentam resultados satisfatórios na aplicação de fertilizante mineral para aumentar a disponibilidade de folhas no decorrer do manejo integral do capim braquiária como forma de volumoso para o gado de corte. Por fim, Bernardino e Garcia (2009), demonstraram grandes respostas quando aplicado fósforo via solo para aumento de produtividade para ao capim braquiária.

A região C apresenta condições menos favoráveis para as dosagens dos fertilizantes, isto em relação a região B, mesmo que esta área possua um sombreamento de coloração menos intenso. Sendo que a região B nas condições aplicadas não apresentam boas respostas para se ter um bom volume de folhas com as aplicações dos fertilizantes nas dosagens recomendadas.

A Figura 7 simula o resultado final das aplicações dos fertilizantes via Método de Mandani. Comprovando a alta eficiência no corte do capim a uma altura de 20 cm com dosagens de ambos os fertilizantes a 100 g/m².

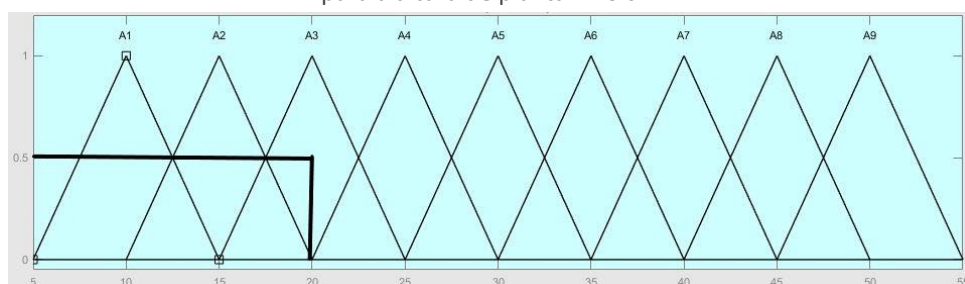
Figura 7 - Método de inferência de Mandani para o Fertilizante Mineral = 100 g/m² e Fertilizante Orgânico = 100 g/m², com a altura do capim = 20 cm.



Fonte: Os autores, 2021.

Associando as variáveis de entrada com a saída, foi reconhecido que o ponto de maior grau de pertinência dentro deste conjunto difuso foi para uma valores em ponto médio para ambos os Fertilizantes, resultando em uma média produção, como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Indicação de maior grau de pertinência para o conjunto difuso no ponto médio para a altura de planta = 20 cm.



Fonte: Os autores, 2021.

Bernardino e Garcia (2009), recomendam aplicações em doses médias de aplicações de fertilizantes a base de N e K, pois são responsáveis pelo incremento na produção de matéria seca, entretanto é importante observar a análise de solo do local, para que seja bem respondido o aglomerado de nutrientes.

Entretanto, caso tenha aconteça de ter uma aplicação em uma dosagem alta de um fertilizante, a produtividade da braquiária pode não obter a resposta desejada, tendo em vista que ao manejar erroneamente uma dosagem de um

nutriente, pode por si próprio reduzir a absorção de outro nutriente tão importante quanto os aplicados pela borra, este fator é chamado de lei do mínimo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A interpretação do uso da lógica *fuzzy* neste experimento utilizando dados reais de campo, conseguiu otimizar as melhores dosagens dos fertilizantes, sendo para o fertilizante mineral 5-10-10 em duas faixas distintas entre 0 a 20 e 150 a 200 g/m² e para o fertilizante orgânico entre 130 a 150 e 180 a 200 g/m².

Uma significativa inovação dentro dos sistemas baseados em regras difusas, pois as regras foram estabelecidas a partir de um experimento real a campo e, além de utilizar uma revisão literatura como um primeiro plano teórico.

Com esta aplicação de regras difusas com dados reais e de fácil entendimento, pode-se trazer muitos benefícios aos envolvidos na cadeia produtiva da pecuária, principalmente na questão de aumento de produtividade mantendo um bom fluxo de caixa.

Use of *fuzzy* logic to optimize fertilizer application on brizantha grass

ABSTRACT

Brachiaria is considered essential for bovine feeding. Therefore, the producer seeks to find the best fertilizer dosages for high yields. The general objective of this work was to present a model, based on indicators and *fuzzy* logic, to optimize the dosages of two fertilizers in a Brachiaria cultivar. Variables related to fertilizers (mineral and organic) and to the height of the plant (in cm) were used to enter this system. The best results after optimizing the entry rules for the application of mineral and organic fertilizers were between 0 to 20 and 150 to 200 with 130 to 150 and 180 to 200, respectively in g/m^2 , respectively. With the application of *fuzzy* rules using real data, it can present great benefits to those involved in the livestock production chain, thus being able to reduce the dosages in the applications and improving its final profitability.

KEYWORDS: Sustainability. *Brachiaria brizantha*. Fuzzy Logic Application.

NOTAS

¹ O trabalho foi apresentado no IV SIMDAQBi – Simpósio do Departamento de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus Curitiba e selecionado para publicação pelo comitê editorial do Simpósio composto por Dra. Carla B. Vidal; Dra. Juliana R. Kloss; Msc. Maria Teresa Garcia Badoch; Dra Marlene Soares e Dra. Sônia Zanello Broska.

REFERÊNCIAS

- BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas Silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 77-87, 2009. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/48>. Acesso em: 12/12/2021.
- BISERRA, T. T. et al. Utilização de biofertilizante e adubação química em capim-piatã (*Brachiaria brizantha*). **Rev. de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 2, p. 31-41, 2017. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/7450#:~:text=A%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20biofertilizante%20pode,BRS%20Piat%C3%A3%3B%20desenvolvimento%20sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 12/12/2021.
- CANEPPELE, F. L.; GODINHO, E. Z.; ZUIN, L. F. S.; FILHO, L. R. A. G. Aplicação da lógica *fuzzy* no desenvolvimento do morango no Oeste do Paraná. **SODEBRÁS**, v. 16, p. 06 - 09, 2021. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.16.2021.184.06>.
- CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA. **Panorama do Agro**, 2021. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro>. Acesso em: 10/12/2021
- COSTA, E. M. da; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. de A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 9, n. 17; p. 1842-1860, 2013. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3167>. Acesso em: 12/12/2021.
- EUCLIDES, V. P. B. et al. Valor nutritivo da forragem e produção animal em pastagens de *Brachiaria brizantha*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online], v. 44, n. 1, p. 98-106, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/SwtX5wxJrr9qfLTMWFNyr8D/?lang=pt#ModalArticles>. Acesso em: 12/12/2021.

FERNANDES, C. D. et al. Controle químico da mela-das-sementes e do carvão em cultivares de *Brachiaria brizantha*. **Summa Phytopathologica** [online]. 2017, v. 43, n. 2, p. 136-144. Disponível em: <https://www.readcube.com/articles/10.1590%2F0100-5405%2F2102>. Acesso em: 12/12/2021.

GODINHO, E. Z.; CANEPPELE, F. L.; GASPAROTTO, H. V. Use of *fuzzy* logic to optimize fertilizer application in the radish. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas** (Tupã), v. 15, p. 270 - 282, 2021b. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/1017>. Acesso em: 12/12/2021.

GODINHO, E. Z.; CANEPPELE, F. de L. Lógica *fuzzy* aplicada ao pré-tratamento do capim-elefante: uma revisão bibliográfica sistemática. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e439101523302, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/356629177_Logica_fuzzy_aplicada_a_o_pre-tratamento_do_capim-elefante_uma_revisao_bibliografica_sistemica. Acesso em: 12/12/2021.

GODINHO, E. Z.; CANEPPELE, F. de L.; GASPAROTTO, H. V. Aplicabilidade da lógica nebulosa no processo de deslignificação do capim-elefante no pré-tratamento com NaOH. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas** (Tupã), v. 15, n. 3, p. 497 - 510, 2021a. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/1048>. Acesso em: 11/03/2022.

KROTH, B. E. et al. Cultivares de *Brachiaria brizantha* sob diferentes disponibilidades hídricas em Neossolo Flúvico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online], v. 19, n. 5, p. 464-469, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/L69sQHKcWrMYXBPdP8tvXcD/?lang=pt>. Acesso em: 12/12/2021.

LIMA, E. do V. et al. Mistura de sementes de *Brachiaria brizantha* com fertilizante NPK. **Ciência Rural** [online], v. 40, n. 2, p. 441-444, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000003>.

OURIVES, O. E. A. et al. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 126–132, 2010. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/5138#:~:text=Os%20resultados%20revelaram%20que%20o,a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20massa%20seca>. Acesso em: 12/12/2021.

PEZZOPANE, C. de G. et al. Estresse por deficiência hídrica em genótipos de *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural** [online], v. 45, n. 05, p. 871-876, 2015.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/5bqrGZsWLZT9sC4HPZz3vCd/?lang=pt>. Acesso em: 12/12/2021.

SILVA, B. P. A. da et al. Efeito residual de doses de nitrogênio aplicadas em pastos de capim-braquiária sobre a produção de milho para silagem em sistemas integrados. **Ciência Animal Brasileira** [online], v. 18, e23909, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1079820/efeito-residual-de-doses-de-nitrogenio-aplicadas-em-pastos-de-capim-braquiaria-sobre-a-producao-de-milho-para-silagem-em-sistemas-integrados>. Acesso em: 12/12/2021.

Recebido: 22/02/2022

Aprovado: 10/03/2022

DOI: 10.3895/rts.v18n51.15202

Como citar: GODINHO, E.Z.; CANEPPELE, F.L.; GASPAROTTO, H.V. Utilização da lógica fuzzy na otimização da aplicação de fertilizantes no capim brizantha. **Rev. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 18, n. 51, p.301-313, abr./jun., 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15202>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

