

AVALIAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO IRRIGADO COM LODO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM ÁREA CULTIVADA COM LARANJA UTILIZANDO MODELAGEM FUZZY

LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO¹, MICHELLE DA SILVA MARQUES², CAMILA PIRES CREMASCO³, HÉLIO GRASSI FILHO⁴, ANDRÉIA APARECIDA FERREIRA DA SILVA⁵, BRUNO CÉSAR GÓES⁶

¹ Matemático, Prof. Associado, Depto. de Gestão, Desenv. e Tecnologia, FCE/UNESP, Tupã - SP, gabriel.filho@unesp.br.

² Administradora, Doutora, Depto. de Agricultura Sustentável, UNIFENAS, Alfenas-MG.

³ Matemática, Prof. Associado, Depto. de Engenharia de Biosistemas, FCE/UNESP, Tupã-SP.

⁴ Agrônomo, Prof. Titular, Depto. de Solos e Recursos Ambientais, FCA/UNESP, Botucatu-SP.

⁵ Administradora, Doutora, Depto. de Engenharia Rural, FCE/UNESP, Tupã-SP.

⁶ Administrador, Prof. Assistente, Faculdade de Tecnologia, FATEC/CEETEPS, Adamantina-SP.

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: Considerando a crescente busca por alimentos e a crise hídrica dos últimos tempos, a utilização de águas residuárias tem sido apontada como boa alternativa para suprir esta demanda. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi desenvolver um modelo matemático *fuzzy* para avaliar a concentração de matéria orgânica em área cultivada com laranja, sob irrigação subsuperficial e superficial. Para tal, o modelo matemático teve como entrada, as variáveis profundidade do solo (0, 20 e 40) e período de coletas (0, 3, 6, 9 e 12 meses), obtendo como variável de saída, a concentração de matéria orgânica. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, da Unesp de Botucatu-SP. Pode se observar por meio da análise dos parâmetros químicos do solo que as maiores concentrações de matéria orgânica foram obtidas em camadas inferiores a 20 cm do solo, em ambos os tipos de irrigação. Por sua vez, em irrigação superficial, os maiores números foram obtidos nos períodos acima de 6 meses do experimento. O uso da modelagem *Fuzzy* permitiu analisar de forma mais abrangente que o tipo de irrigação superficial com esgoto doméstico tratado apresentou maiores concentrações com o decorrer dos meses de experimento em relação a irrigação subsuperficial.

PALAVRAS-CHAVE: inteligência artificial, água residuária, irrigação.

EVALUATION OF SOIL ORGANIC MATTER IRRIGATED WITH DOMESTIC SEWAGE SLUDGE IN ORANGE CULTIVATION AREA USING FUZZY MODELING

ABSTRACT: Considering the growing demand for food and the recent water crisis, the use of wastewater has been identified as a good alternative to meet this demand. In this sense, the objective of the work was to develop a fuzzy mathematical model to evaluate the concentration of organic matter in an area cultivated with orange, under irrigation of the subsurface and superficial types. For this, the mathematical model had as input, the variables soil depth (0, 20 and 40) and collection period (0, 3, 6, 9 and 12 months), obtaining as an output variable, the concentration of organic matter. The experiment was carried out at the Experimental Farm Lageado, at Unesp in Botucatu-SP. It can be seen through the analysis of soil chemical parameters that the highest concentrations of organic matter were obtained in layers below 20 cm from the soil, in both types of irrigation. In turn, in surface irrigation, the highest numbers

were obtained in periods above 6 months of the experiment. The use of Fuzzy modeling allowed to analyze more comprehensively that the type of surface irrigation with treated domestic sewage showed higher concentrations over the course of the months of de experiment in relation to subsurface irrigation.

KEYWORDS: artificial intelligence, wastewater, irrigation.

INTRODUÇÃO: Com a crescente demanda da produção agrícola e a crise da escassez hídrica, torna-se necessária a adoção de fontes de água de baixa qualidade para minimizar o problema da escassez, no qual o reuso de água assume posição de destaque (SANTOS et al., 2020). O efluente de esgoto tratado pode ser utilizado como fonte alternativa para irrigação e, de forma geral, melhora a fertilidade do solo bem como a nutrição das plantas devido à adição de nutrientes no solo (PEREIRA, 2010). O uso de sistemas inteligentes que sirvam de apoio à tomada de decisão na área das ciências agrárias tem despertado grande interesse dos produtores rurais. CAVICHIOLLI et al. (2015) descrevem a *Lógica Fuzzy* como sendo o estudo de meios de raciocínio aproximados desenvolvendo métodos e algoritmos para modelagem e controle de processos. Tais aplicações são amplamente utilizadas na área de ciências agrárias, a exemplo em trabalhos que foram avaliadas as aplicações quanto salinidade em irrigação (VIAIS NETO et al., 2019) e no manejo de orquídeas (PUTTI et. al, 2017). Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo avaliar a matéria orgânica do solo irrigado com EDT (esgoto doméstico tratado) comparando os diferentes tipos de irrigação (superficial e subsuperficial) por meio da modelagem *fuzzy* no cultivo da laranja.

MATERIAL E MÉTODOS: Para a avaliação da matéria orgânica do solo irrigado com EDT em área cultivada de laranja, sob dois tipos de irrigação (superficial e subsuperficial), foi conduzido um experimento no Departamento de Engenharia Rural da FCA-UNESP, na Fazenda Experimental Lageado, localizada no município de Botucatu-SP. Foram utilizados 3 níveis de profundidade do solo (0, 20 e 40 cm) e 5 períodos de coleta (0, 3, 6, 9 e 12 meses). Para tal, foi considerado o modelo agrônômico para representar a situação proposta por Silva (2018): $F: A \subset R^2 \rightarrow B \subset R^1$, tal que $x \mapsto F(x_1, x_2) = (y_1)$ sendo R o conjunto dos números reais; $A_1: [0, 60]$, $A_2: [0; 12]$, no qual A_1 representa a profundidade solo (cm) e A_2 o período de coleta (mês); e $B = B_1$, representando a variável de saída; Matéria Orgânica (g dm^{-3}) (Figura 1).

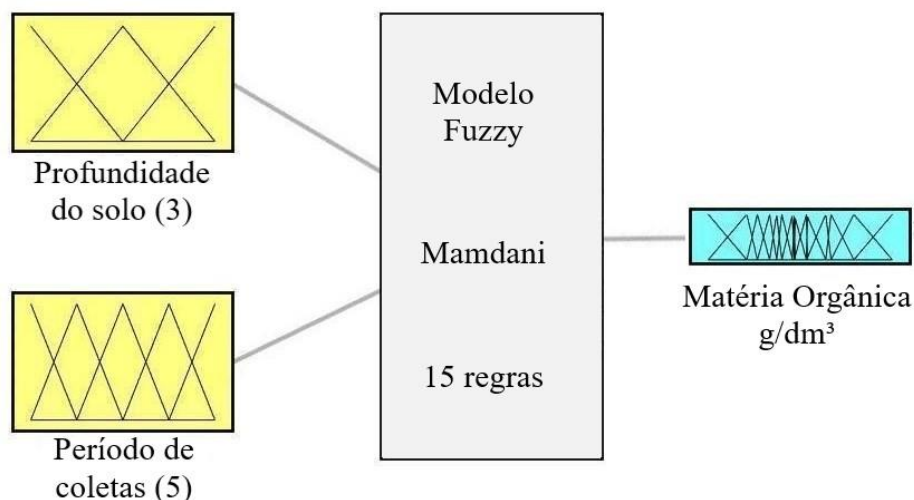


FIGURA 1. Sistema *fuzzy* com grandezas de entradas (Profundidade do solo e Período de coletas) e a saída (Matéria Orgânica).

O método de inferência utilizado para associação das variáveis de saída a um único valor real apresentado, foi o método de *Mamdani*. Dessa forma, com auxílio da ferramenta *Fuzzy Logic Software MATLAB*[®], foi possível a elaboração do SBRF e a geração dos mapas de contorno e de superfícies para representação do sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O sistema de irrigação superficial apontou a existência de maiores valores médios de matéria orgânica presentes no solo (identificados pela cor vermelha) nos últimos períodos de coleta, entre 6 e 12m e nas camadas mais superficiais do solo, entre 0 e 20mm. Regiões com a cor azul indicam as menores médias, como é possível observar na Figura 2. Isso pode ter acontecido em razão da concentração de matéria orgânica ser gradativa à medida que a decomposição acontece e com o passar do tempo/meses. No solo em questão, o tipo de irrigação utilizado possibilitou maior infiltração do efluente, melhoria das condições físicas o que aumentou a retenção de água/resíduo ocasionando nesse acúmulo de matéria orgânica ao solo. É importante considerar que a quantidade de matéria orgânica no solo depende da entrada de material orgânico, no caso aqui a quantidade e a qualidade do EDT utilizado contribuíram para esse resultado além da taxa de mineralização, a textura do solo e o clima. NASCIMENTO et al. (2009) em estudo realizado no solo irrigado com esgoto tratado no cultivo da mamona, com o uso de água residuária, provocou um aumento na matéria orgânica no solo em comparação com a água de abastecimento, mostrando a importância da irrigação, todavia ocorreu o aporte de matéria orgânica no solo.

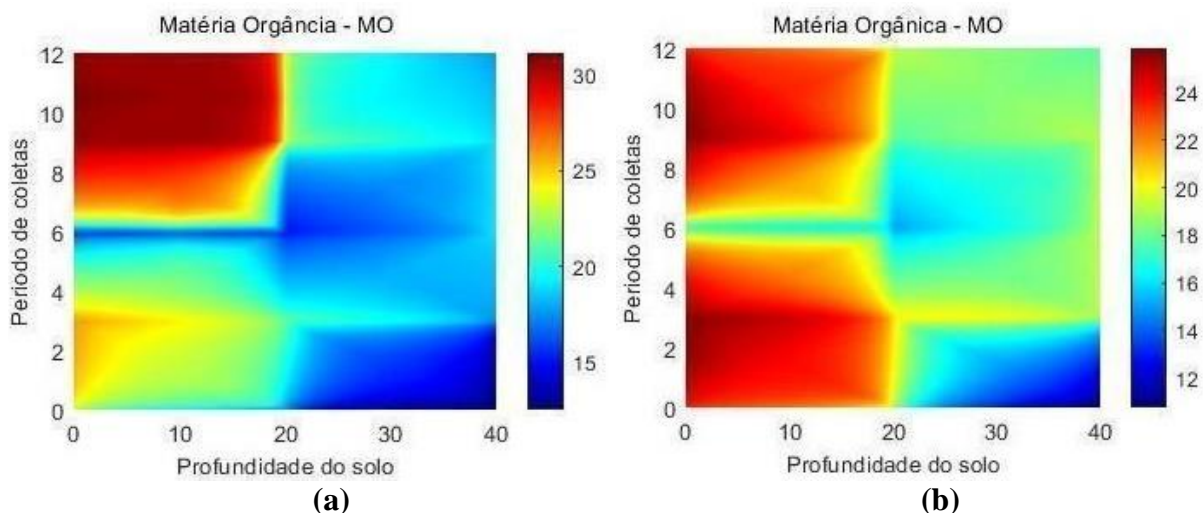


FIGURA 2. Gráficos de (A) irrigação subsuperficial e (B) irrigação superficial da matéria orgânica presente no solo irrigado com EDT em área cultivada com laranja.

CONCLUSÕES: O tratamento com esgoto doméstico tratado - EDT com uso do sistema de irrigação superficial apresentou médias superiores para a variável matéria orgânica. O uso da modelagem *Fuzzy* permitiu analisar de forma mais abrangente regiões intermediárias aos pontos específicos do experimento, garantindo uma maior precisão obtida por meio de regras que estabelecem parâmetros de ordenação dos valores para os resultados de saída, em relação à combinação dos níveis de tratamentos, podendo ser um importante mecanismo para uso dos pesquisadores e dos produtores rurais.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem o Programa de Pós-Doutorado da UNESP, e agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa produtividade de pesquisa concedidas ao primeiro autor (315228/2020-2).

REFERÊNCIAS:

- CAVICHIOLO, A.; et al. Software baseado em regras fuzzy para avaliação da vitalidade da orquídea. *Catasetum Fimbriatum*. **RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 1, n. 2, p. 13-24, jul./dez. 2015. ISSN: 2448-0452
- NASCIMENTO, M. et al. Propriedades químicas do solo cultivado com mamona, irrigado com água residuária tratada e adubado com bio sólido. **Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil)**. v. 4, n. 8, 2009.
- PEREIRA, B. F. F. **Alterações químicas no sistema solo-planta irrigado com efluente de esgoto tratado no cultivo dos citros**. 2009. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2010. doi:10.11606/T.11.2010.tde-15032010-150957.
- PUTTI, F. F. et al. A Fuzzy mathematical model to estimate the effects of global warming on the vitality of *Laelia purpurata* orchids. **Mathematical Biosciences**, v. 288, n. 1, p. 124-129, 2017.
- SANTOS, A. S. et al. Importância do reuso de água para irrigação no Semiárido. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 2, p. 15–20, 2020.
- SILVA, A. A. F. **Irrigação com esgoto doméstico tratado em área cultivada com laranja**. Botucatu: 2018 80 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018.
- VIAIS NETO, D. S. et al. Fuzzy modeling of the effects of irrigation and water salinity in harvest point of tomato crop. Part I: description of the method. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 3, p. 294-304, 2019.