

## **PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA LARANJA IRRIGADA COM ÁGUA DE REÚSO E LODO DE ESGOTO UTILIZANDO SISTEMAS BASEADOS EM REGRAS FUZZY**

**FERNANDO FERRARI PUTTI<sup>1</sup>, LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO<sup>5</sup>,  
MÁRCIO HENRIQUE LANZA<sup>3</sup>, HÉLIO GRASSI FILHO<sup>3</sup>, ANA CAROLINA  
KUMMER BARBOSA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Bacharel em Administração, Doutor em Agronomia, Prof. Assistente Doutor, Faculdade de Ciências e Engenharia, UNESP - Estadual Paulista, Tupã - SP; UNIFENAS - Univ José do Rosário Vellano, Alfenas - MG, [fernandoputti@tupa.unesp.br](mailto:fernandoputti@tupa.unesp.br)

<sup>2</sup> Graduado, Mestre e Livre-Docente em Matemática, Doutor em Agronomia, Prof. Adjunto, Faculdade de Ciências e Engenharia, UNESP - Univ Estadual Paulista, Tupã - SP, [gabrielfilho@tupa.unesp.br](mailto:gabrielfilho@tupa.unesp.br)

<sup>3</sup> Graduado, Mestre e Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Prof. Adjunto, Faculdade de Ciências e Engenharia, UNESP - Univ Estadual Paulista, Tupã - SP, [lanzamarcio@gmail.com](mailto:lanzamarcio@gmail.com)

<sup>4</sup> Graduado, Mestre, Doutor e Livre Docente em Agronomia, Prof. Adjunto, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP - Univ Estadual Paulista, Botucatu - SP, [heliograssi@fca.unesp.br](mailto:heliograssi@fca.unesp.br)

<sup>5</sup> Graduada e Mestre em Engenharia Agrícola, Doutora em Agronomia, Pós-Doutor em Engenharia Civil, UEPG – Univ. Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Engenharia Civil, Ponta Grossa PR, [ackummer@hotmail.com](mailto:ackummer@hotmail.com)

Apresentado no

XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016  
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

**RESUMO:** A crise hídrica vivenciada nos últimos anos, está levando produtores a adotarem a irrigação para suprir a demanda hídrica das culturas, entretanto os produtores estão tendo dificuldade de utilizar água de boa qualidade devido a poluição dos mananciais. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da adubação com lodo de esgoto compostado e irrigação com efluente de esgoto tratado na cultura da laranja “Valência” utilizando sistema baseado em regras *fuzzy*. O experimento foi conduzido no Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da FCA, UNESP – Campus de Botucatu, em que o delineamento experimental adotado foi em fatorial 6 x 2, em que foram aplicados 6 doses de lodo de esgoto (0, 25, 50, 75, 100 e 125% da recomendação de N) e dois tipos de água residuária (água tratada e efluente de esgoto). No desenvolvimento do sistema baseado em regras *fuzzy*, utilizou-se o método de inferência de Mandani, em que as variáveis de entrada foram doses de lodo de esgoto e tipos de água e as variáveis de saída foram produtividade, peso do suco e número de frutos. Pode-se observar que o lodo de esgoto e o efluente contribuíram para o maior incremento da produção e número de frutos, sendo que na dose de lodo de 100% ocorreu a maior produção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade, residuária, nitrogênio, Mandani

### **ORANGE CROP PRODUCTIVITY IRRIGATED WITH REUSE OF WATER AND SEWAGE SLUDGE USING BASED SYSTEMS FUZZY RULES**

**ABSTRACT:** The water crisis experienced in recent years is leading producers to adopt irrigation to meet the water demand of crops, but producers are having difficulty using good quality water due to pollution of water sources. Thus, this study aimed to evaluate the effects of fertilization with composted sewage sludge and irrigation with treated sewage effluent in the culture of orange "Valencia" using system based on fuzzy rules. The experiment was conducted in the Department of Soil and Environmental Resources, FCA, UNESP - Botucatu, where the experiment was a factorial 6 x 2, which were applied 6 doses of sewage sludge (0, 25, 50, 75, 100 and 125% of N recommendation) and two types of wastewater (treated water and sewage effluent). In developing fuzzy rules based system, we used the Mandani inference method, where the input variables were dose just sewage and water types and output variables were productivity juice weight and number

of fruit. It can be seen that the sewage sludge and the effluent contributed to the greater increase of production and fruit number, and the 100% dose sludge increased production occurred.

**KEYWORDS:** Sustainability, wastewater, nitrogen, Mamdani

## INTRODUÇÃO

O aumento da população nos últimos anos vem ocasionado a intensificação do uso do solo, para aumentar a produção de alimentos. Assim, diversas são as consequências que vem ocorrendo, entre elas destacamos a salinização do solo, empobrecimento de matéria orgânica, erosão entre outras. Muitos produtores estão adotando a irrigação afim de suprir a demanda hídrica das culturas, mas vem ocasionando outra consequência ainda mais preocupante, que é o problema hídrico. Deste modo o uso indiscriminado pelos produtores pode levar a determinado afluentes a secarem ou mesmo prejudicar o abastecimento de água em certas regiões.

Outro fato que vem chamando a atenção é a questão da poluição dos rios, devido a aplicação de agrotóxicos próximos as margens (DELLAMATRICE & MONTEIRO, 2014). Também ocorre o lançamento indevido de esgoto sem tratamento direto nos rios, assim agravando ainda mais a qualidade de água nos afluentes (BAKER et al, 2015).

Deste modo, muitos produtores aplicam essa água sem prévio tratamento, e podem levar a contaminação por patógenos (ORLOFSKY et al., 2016; SCHOEN & GARLAND, 2015) ou químicos (CHONG et al., 2013).

Além da contaminação do solo que pode levar a inapropriação para o cultivo, também pode ocasionar a contaminação das plantas (JENSEN et al., 2014), sendo pelo acúmulo de metais tóxicos (MZINI & WINTER, 2015) ou a contaminação por patógenos (JONES et al., 2014).

A água sem prévio tratamento ocasiona graves problemas para a saúde, assim o governo por meio da Resolução CONAMA 357 e 430 dispõe sobre as condições em que o efluente deve ser lançado, assim buscando evitar o despejo de efluente sem tratamento.

O tratamento do efluente realizado nas estações de tratamento de esgoto (ETE) busca remover parte as cargas de poluentes contida no efluente, por meio de processos químicos, físicos ou biológicos (ZOPPAS et al., 2016). Entretanto após o processo de tratamento nas ETE, além do efluente com menor carga de matéria orgânica e poluentes, outro subproduto é o lodo de esgoto que contém alta carga de nutrientes e matéria orgânica (NANSUBUGA et al., 2015).

Assim vem chamando a atenção na área agrícola a utilização desses subprodutos, principalmente a questão do lodo de esgoto que além de conter alta carga de matéria orgânica, que é de fundamental importância para o solo, também contém boa porcentagem dos elementos necessários para o desenvolvimento das plantas (SANTOS et al., 2014).

Também deve destacar que a sua utilização é regulamentada pela Resolução do CONAMA 375 que define sobre os critérios e procedimentos para a utilização do lodo. Bonini et al. (2015) inferem sobre os possíveis malefícios que pode ocorrer com a aplicação inadequada do lodo de esgoto, como causar danos à saúde humana e ao meio ambiente e também prejuízos financeiros.

A aplicação do lodo de esgoto apresenta um forte potencial para a recuperação de solos degradados devido a sua alta concentração de matéria orgânica e assim podendo novamente se tornar agricultável (BONINI et al., 2015).

Deve-se atentar que o lodo de esgoto apresenta teores de metais tóxicos, assim devendo ser monitorado antes da aplicação. Um dos fatores limitantes é o nitrogênio devido à mineralização de sua forma orgânica e subsequente à lixiviação de nitrato (OLIVEIRA, 2001).

Os nutrientes contidos no lodo de esgoto encontram-se, em sua maioria, na forma orgânica (Carvalho et al., 2015). Deve-se destacar que cerca de 30-50% do N é disponível no primeiro ano de acordo com Pires et al., (2015).

Assim torna-se uma fonte de nitrogênio para suprir as necessidades das culturas, além disso por apresentar um custo relativamente baixo, destaca-se pelo apelo sustentável na reutilização de subprodutos.

Estudos vem mitigando o efeito da aplicação de lodo de esgoto e água residuária nos mais tipos de culturas e assim verificar os efeitos no solo e principalmente nas plantas, em que a maior preocupação é a questão de metais tóxicos, em que os estudos ainda são preliminares e demandam muitos estudos ainda para poder disponibilizar a sua utilização.

Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo verificar os efeitos da aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto baseado na demanda de Nitrogênio da cultura da laranja e irrigado com água residuária e potável.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi no Departamento de Solos e Recursos Ambientais, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCA/UNESP, campus de Botucatu/SP. O solo utilizado no experimento é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (SANTOS et al., 2013).

Utilizou-se no experimento a cultivar de laranja “Valência”, sendo seu porta-enxerto o limoeiro “Swingle”, pois apresenta alta comercialização, além de ser resistente a pragas e doenças.

O experimento foi conduzido em recipientes com capacidade de 500 L de solo, sendo o espaçamento entre linhas de 5 m e de 4 m entre plantas. Aplicou-se seis doses de lodo de esgoto (0, 25, 0, 75, 100 e 125% da recomendação de Nitrogênio) e dois tipos de água para a irrigação (Água potável e Residuária), em esquema fatorial 6 x 2, com 6 repetições. Sendo que as doses completares de nitrogênio para atender 100% da necessidade foi utilizado N mineral. Realizou-se a adubação complementar de cobertura.

Para o cálculo do N disponível no lodo de esgoto compostado a Resolução do CONAMA nº 375/2006 estabelece uma taxa de mineralização para o lodo de esgoto compostado de 10%. Entretanto, foi considerada uma taxa de mineralização de 30% pois a taxa estabelecida pela resolução é específica para solos de clima temperado que se difere das condições tropicais (ANDRADE et al., 2010). Considerando a umidade do lodo compostado de 37%, adotou-se o seguinte cálculo para definição da quantidade de lodo compostado a ser aplicado ao solo: Considerando a necessidade da cultura de 300 g de N planta<sup>-1</sup>, segundo recomendação de Quaggio et al. (1997), considerou que 100 kg de lodo de esgoto compostado na base seca possui 1,07 kg de N. Considerando que 30% do N presente no lodo, será mineralizado, temos doses aproximadas de 0; 24; 48; 72; 96 e 120 kg de lodo (base seca) por planta, correspondendo a 0; 25; 50; 75; 100 e 125%, respectivamente da recomendação de N para a cultura, as doses recomendadas foram divididas em duas aplicações espaçadas de 90 dias (agosto e novembro).

A irrigação foi realizada diariamente, afim de repor a perda por evapotranspiração da cultura, a qual era mensura por meio do tanque classe A. E foi determinada através da seguinte equação:

$$L_{ap} = \frac{EC \times Kp \times Kc}{Ef}$$

em que,  $L_{ap}$  é a lâmina aplicada,  $Ec$  é a evaporação obtida pelo tanque Classe A,  $Kp$  é o coeficiente do Tanque Classe A,  $Kc$  é o coeficiente da cultura e  $Ef$  é a eficiência do sistema.

Considerou-se sendo a eficiência de 95%, pois a irrigação utilizou-se um sistema por gotejamento e o  $Kc$  de 0,65. Os efeitos dos tratamentos foram analisados através das variáveis biométricas das plantas e produção.

A modelagem matemática fuzzy proposta no presente trabalho buscou explicar as características da agrônomicas da cultura da laranja quando irrigada água residuária e doses de lodo de esgoto. De acordo com Lanza (2014), o manejo foi realizado utilizando-se diferentes doses

de lodo de esgoto (0, 25, 50,75, 100, 125% da dose recomenda de N) e tipos de água (água potável e residuária). E as características da produtividade agrônômica a serem utilizados neste trabalho foram as variáveis da produtividade.

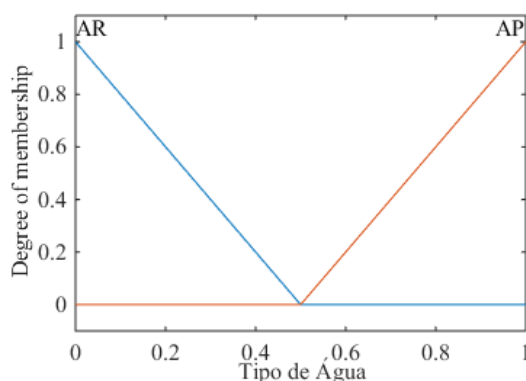
A partir da metodologia desenvolvida por Putti (2015), considerando-se um modelo de características agrônômicas desta forma, tem-se  $f: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$ , com  $y = f(x)$ , onde  $\mathbb{R}$  é o conjunto dos números reais; onde  $x = (x_1, x_2)$  é definido por  $x_1 =$  doses de lodo de esgoto (% do N recomendado) e  $x_2 =$  Tipo de água adotado na irrigação (Água Potável (0) ou Água Residuária (1)), com  $x_2 \in \{0,1\}$ ; e  $y = (y_1, y_2, y_3)$ , é definido pelas médias dos valores das características biométricas, à saber  $y_1 =$  Produção,  $y_2 =$  Número de frutos,  $y_3 =$  Suco.

Para a definição das variáveis de entrada “Doses de Lodo de Esgoto (% de N)” e “Tipo de água” foram adotados os conjuntos fuzzy do tipo trapezoidal, pois de acordo com Yet (2009), trata-se de um conjunto que apresenta variável contínua e as funções de pertinência do tipo trapezoidal se adaptam melhor a resposta do modelo.

Para a variável tipo de água, adotou-se 2 conjuntos para a sendo “Água Residuária” e “Água Potável”. Deste modo foi possível realizar a elaboração da Tabela 1 e a Figura 1.

**Tabela 1.** Definições dos conjuntos fuzzy com suas respectivas funções de pertinência da variável de entrada “Tipo de Água”. **Definitions of fuzzy sets with their respective membership functions of the input variable "Type of Water."**

Conjunto Fuzzy	Tipo	Delimitadores
Água Residuária (AR)	Triangular	[-0,5 0 0,5]
Água Potável (AP)	Triangular	[0,5 1 1,5]



**Figura 1.** Funções de pertinência definidas para os conjuntos fuzzy da variável de entrada “Tipo de Água”. **Membership functions defined for the fuzzy sets of the input variable "Type of Water."**

Para a variação da “Doses de Lodo de Esgoto (% de N)” foram adotados 6 conjuntos, a partir dos níveis estabelecidos no experimento conduzido. Sendo eles denominados de “L1”, “L2”, “L3”, “L4”, “L5”, referente aos níveis de 0%, 25%, 50%, 75%,100% e 125% da dose de Nitrogênio.

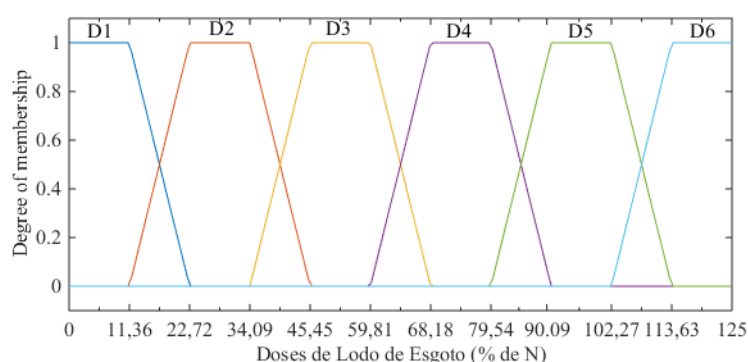
Para o cálculo dos delimitadores, foi baseado em Putti (2015) em que as funções foram definidas de modo que cada nível de nitrogênio testado tenha grau de pertinência igual a 1 ao seu respectivo conjunto fuzzy ( $u_{L_i}(25i\%) = 1$ ) e, além disto,  $u_{L_i}(x) = 1, x_{i-1} \leq x \leq x_{i+1}$ , com  $x_{i+1} - x_{i-1} = k$ , para um certo  $k$ , no qual  $11k = 250\%$ , uma vez que adotou-se neste trabalho funções de pertinência. Deste modo, para a determinação dos onze delimitadores dos conjuntos de pertinência e objetivando uma variação simétrica entre os delimitadores, utilizou-se a seguinte equação:

$$k = \frac{x_{max} - x_{min}}{2n - 1} \Rightarrow k = \frac{125\% - 0\%}{11} \Rightarrow k = 11,36\%, \quad (1)$$

em que  $x_{max}$  é o ponto máximo avaliado;  $x_{min}$  é o ponto mínimo avaliado e  $n$  é o número de conjuntos *fuzzy*. A partir do método desenvolvido foi possível elaborar a Tabela 2 e a Figura 2.

**Tabela 2.** Definições das funções de pertinência da variável de entrada “Doses de Lodo de Esgoto”. **Definitions of membership functions of the input variable " Sewage Sludge Levels ".**

Conjunto Fuzzy	Tipo	Delimitadores
“L1”	Trapezoidal	[-1 0 11,36 22,72]
“L2”	Trapezoidal	[11,36 22,72 34,09 45,45]
“L3”	Trapezoidal	[34,09 45,45 56,81 68,18]
“L4”	Trapezoidal	[56,81 68,18 79,54 90,9]
“L5”	Trapezoidal	[79,54 90,9 102,27 113,63]
“L6”	Trapezoidal	[102,27 113,63 125 126]



**Figura 2.** Funções de pertinência definidas para os conjuntos fuzzy da variável de entrada “Doses de Lodo de Esgoto”. **Membership functions defined for the fuzzy sets of the input variable "Sewage Sludge Levels".**

As variáveis de saída foram determinadas a partir das análises realizadas, em que foram elencadas para o modelo as que apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,005$ ).

Porém, afim de determinar os conjuntos *fuzzy*, foram adotadas as funções de pertinência do tipo trapezoidal. Porém, buscando a generalização do método, devido a cada variável de saída apresentar uma amplitude, considerou-se como sendo 100% o conjunto de cada variável. Assim, utilizou-se o percentil do valor de  $P_x$  para a determinação dos vértices dos conjuntos (). Tal método proposto pode Cremasco et al., (2009) Gabriel Filho et al., (2011), Putti et al., (2014, 2015) possibilita a criação da base de regras do sistema *fuzzy* sem a necessidade do especialista. Assim, A Tabela 3 apresenta os delimitadores que foram determinados pelos valores do quartis Q1, Q2, Q3 e também valores máximos e mínimos, assim como também os limites superior e inferior para a elaboração das funções de pertinência, que foram denominados “Muito Baixa”, “Baixa”, “Média”, “Alta”, “Muito Alta” de acordo com Gabriel Filho et al., (2011, 2016).

**Tabela 3.** Definições das funções de pertinência da variável de entrada “Lâminas de irrigação”.

Conjunto Fuzzy	Tipo	Delimitadores
“Muito Baixa” (MB)	Trapezoidal	[ Limite inferior - 1, Limite inferior, Mínimo, Q1 ]
“Baixa” (B)	Triangular	[Mínimo, Q1, Q2 ]
“Media” (M)	Triangular	[ Q1, Q2, Q3 ]
“Alta”(A)	Triangular	[ Q2, Q3, Máximo ]
“Muito Alta” (MA)	Trapezoidal	[ Q3, Máximo, Limite Superior, Limite Superior + 1 ]

Fonte: Gabriel Filho et al. 2011 e 2016.

A partir da base de regra elaborado do sistema *fuzzy*, no qual demonstra como o sistema modela os resultados. Partindo da premissa da regra fuzzy em que:

- Se “premissa (antecedente)” então “conclusão (consequente)”

foi possível calcular os outputs do modelo, a partir da combinação dos fatores estabelecidos como inputs.

Tal expressão é referida como sendo a forma da regra baseada em causa e consequência. A base de regras criadas para o modelo fuzzy proposto, foi baseado no desenvolvidos por Cremasco et al. (2009) e Gabriel Filho et al. (2011), Putti et al. (2014; 2015) nos quais, após a construção dos conjuntos *fuzzy* de saída, foram calculados os maiores graus de pertinência de cada mediana dos tratamentos, associando assim as variáveis de entrada com as de saída. A partir das variáveis de entrada foi possível a criação de 12 pares de regras (*Tipo de Água* × *Doses de Lodo de Esgoto* (%N)) e associada as 3 variáveis de saída.

### Método de inferência e Defuzzyficação

O método de inferência adotado no modelo, foi o proposto por Mamdani e Assilian (1975), visto que no presente trabalho, as proposições do antecedente e do consequente são proposições fuzzy, e que de acordo com Ross (2010) é o método mais comum praticado na literatura.

Para o cálculo da defuzzyficação do sistema foi considerado o método centro de área ou centroide, que é a técnica mais comumente utilizada e apresenta os resultados mais próximos aos observados (YEN e LANGARI, 1999; ROSS, 2010;), tal método pode ser calculado da seguinte forma:

$$y = \frac{\sum_x \mu_a(x)x}{\sum_x \mu_a(x)} \quad (1)$$

### Método de validação do modelo

A partir da verificação dos pressupostos, foi possível realizar a análise de regressão múltipla. Assim, adotou-se como variáveis da equação o tipo de água e a dose de lodo de esgoto, gerando o modelo genérico:

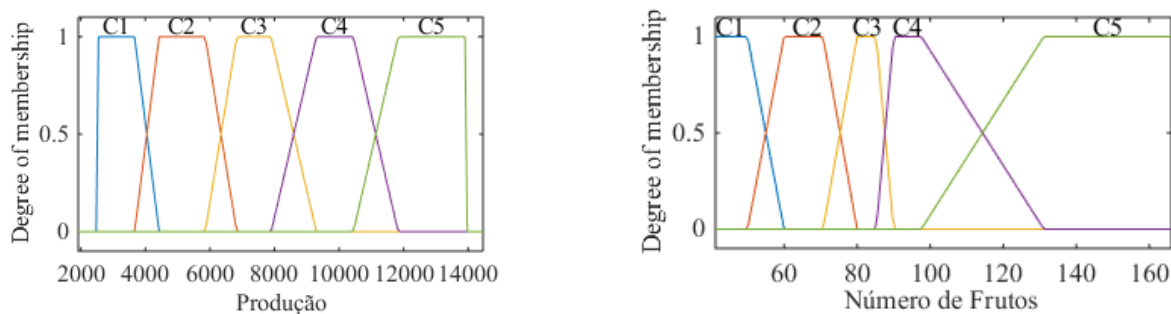
$$y = a_1 \cdot DL + a_2 \cdot DL + a_3 \cdot DL^2 + a_4 \cdot DL^3, \quad (2)$$

com  $a_i \in \mathbb{R}$   $1 \leq i \leq 4$ , em que,  $y$  é variável biométrica analisada;  $DL$  é a Dose de lodo de esgoto (% de N) e  $TA$  é o tipo de água adotado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da elaboração da metodologia de construção das funções de pertinência foi possível determinar os vértices para as funções de pertinência das variáveis número de frutos, produção, e suco para a cultura da laranja submetido em diferentes doses de lodo de esgoto e tipos de água.

Assim foi possível determinar a classificação de cada tratamento (maior grau de pertinência), e pode-se realizar o desenvolvimento da base de regras (Figura 3).



(a) Produção [g].

(b) Número de frutos (NF) [-].

**FIGURA 3.** Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* para o número de frutos (NF), produção (Prod) e suco (S) da cultura da laranja submetido em diferentes doses de lodo de esgoto e tipos de água. **Membership functions of fuzzy sets to the number of fruits (NF), Production (Prod) and juice (J) of the culture of orange submitted to different doses of sewage sludge and water types.**

Após definidas as funções de pertinência, foi possível elaborar a base de regras do sistema *fuzzy*. Para isso, associou-se o maior grau de pertinência para a variável biométrica referente ao tipo de tratamento que foi aplicado para a cultura da alface. Assim, verificou em que situação se encontrava a variável em análise comparando-a com os demais tratamentos. Deste modo, elaborou-se a Tabela 4, que apresenta a base de regras do sistema *fuzzy*.

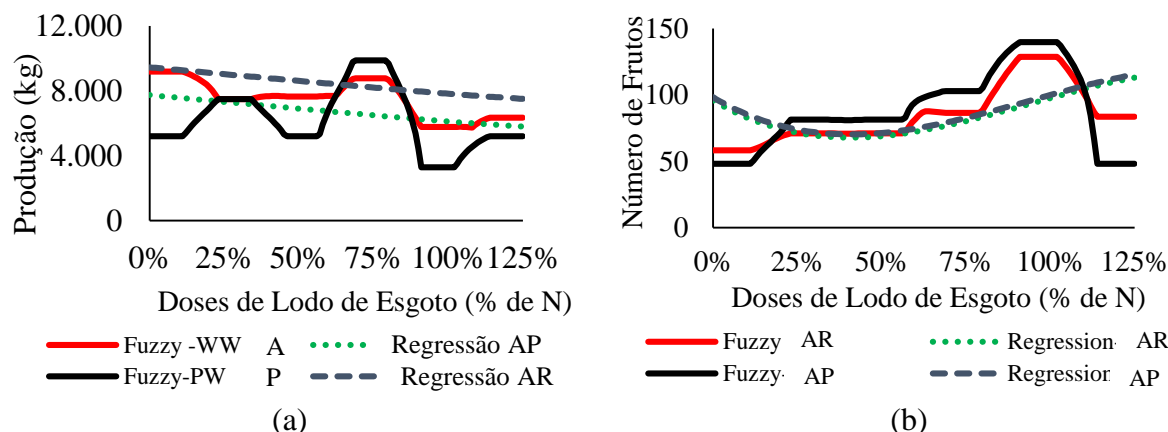
**TABELA 4.** Base de regras do sistema baseado em lógica *fuzzy* para a cultura da laranja submetida em diferentes doses de lodo de esgoto e tipos de água. **Based on rules of the fuzzy logic-based system for the culture of orange subjected to different rates of sewage sludge and types of water**

Variáveis de saída		Variáveis de saída		
Tipo de Água	Lâmina de irrigação	Ponto com grau de pertinência associado a 1	Produção (kg)	N. Frutos
AR	D1	0%	B	MB
AR	D2	25%	M	M
AR	D3	50%	B	M
AR	D4	75%	A	A
AR	D5	100%	MB	MA
AR	D6	125%	B	MB
AP	D1	05	MA	MA
AP	D2	25%	M	B
AP	D3	50%	A	B
AP	D4	75%	M	B
AP	D5	100%	M	M
AP	D6	125%	M	A

Legenda: D0: Doses de 0% de N; D1: dose de 25% de N; D2: dose de 50% de N; D3: dose de 75% de N; D4: Dose de 100% de N; D5: dose de 125% de N; AR: água residuária; AP: água potável.

Após desenvolvidos dos modelos *fuzzy* foi possível determinar o comportamento da cultura da laranja em função das doses de lodo de esgoto e a irrigação utilizando água residuária. Também foi determinado os modelos de regressão, e assim sendo possível determinar a sensibilidade de cada modelo.

Para as variáveis analisadas produção e número de frutos da laranja, pode-se observar que a aplicação da água residuária junto com o lodo de esgoto obtiveram um aumento da produção, enquanto o número de frutos foi maior quando irrigado com água potável, como pode-se observar na Figura 4.



**Figura 4.** (a) Produção da cultura da laranja submetida em diferentes doses de lodo de esgoto e irrigado com água residuária e potável utilizando modelagem *fuzzy* e regressão. (b) Produção da cultura da laranja submetida em diferentes doses de lodo de esgoto e irrigado com água residuária e potável utilizando modelagem *fuzzy* e regressão. (a) **Orange crop production subjects in different doses of sludge and sewage irrigated with wastewater and drinking water using fuzzy modeling and regression.** (B) **orange crop production subjects at different doses of sewage sludge and irrigation with wastewater and drinking water using fuzzy modeling and regression.**

A aplicação do lodo de esgoto é uma alternativa afim de suprir parte da exigência das culturas por alguns elementos essenciais para o seu desenvolvimento, principalmente nitrogênio. Assim, pode-se constatar que a produção de laranja, mesmo com doses menores (50% do N) e associada a irrigação com AR obtiveram produção próxima ao máximo atingido. Entretanto doses altas de lodo de esgoto provocaram fitotoxicidade, pois a liberação lenta do amônio, contido no lodo, que ocorre devido a hidrólise da ureia (CARMO & LAMBAIS, 2013). Ao absorver o amônio em excesso ele se torna tóxico a planta, pois dissipa o gradiente do pH por meio da membrana citoplasmática (FERREIRA et al., 2001). E assim provocando a queda das folhas, que provavelmente levou a redução da atividade fotossintética e consequentemente a redução da produção.

O número de frutos apresentou a maior quantidade quando aplicado dose de lodo de esgoto próximo a 100% do N e irrigado com água residuária e após apresentou o efeito de fitotoxicidade. Mas deve ressaltar que a quantidade de frutos produzidos não interferiu na produção.

## CONCLUSÕES

A utilização do lodo de esgoto e água residuária é uma fonte sustentável e econômica frente a aplicação de nitrogênio comercial. Entretanto deve-se ressaltar que a aplicação em excesso pode causar fitotoxicidade na cultura da laranja e levar a redução na produção.

A utilização da modelagem *fuzzy* nos permitiu inferir sobre situações em que a análise estatística não permitiu, assim enriquecendo a discussão e os resultados.

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação/Drenagem) da FCA/UNESP, Botucatu-SP, ao Programa em Agronomia (Agricultura Sustentável) da UNIFENAS, Alfenas-MG pelo suporte científico, o CNPq pela concessão das bolsas de produtividade em pesquisa do quinto autor (Processo 306964/2014-7). Pelo suporte financeiro que permitiu a participação neste evento, a FAPEMIG e a FAPESP.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C.A., BOEIRA, R.C., PIRES, A.M.M. Nitrogênio presente em lodo de esgoto e a resolução n. 375 do Conama. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. Uso agrícola de lodo de esgoto: Avaliação após a resolução no. 375 do Conama. Botucatu: Editora FEPAF, 2010. p. 157-170.
- BAKER, A.; CUMBERLAND, S. A.; BRADLEY, C.; BUCKLEY, C.; BRIDGEMAN, J. To what extent can portable fluorescence spectroscopy be used in the real-time assessment of microbial water quality?. **Science of the Total Environment**, v. 532, p. 14-19, 2015.
- BONINI, C. S.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 388-393, 2015.
- CARMO, Janaina Braga do; LAMBAIS, Marcio Rodrigues. Transformações do nitrogênio em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 152-162, 2013.
- CARVALHO, C. S.; RIBEIRINHO, V. S.; ANDRADE, C. A., GRUTZMACHER, P.; PIRES, A. M. M. Composição química da matéria orgânica de lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 413-419, 2015.
- CHONG, M. N.; SIDHU, J.; ARYAL, R.; TANG, J.; GERNJAK, W.; ESCHER, B.; TOZE, S. Urban stormwater harvesting and reuse: a probe into the chemical, toxicology and microbiological contaminants in water quality. **Environmental monitoring and assessment**, v. 185, n. 8, p. 6645-6652, 2013.
- CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CATANEO, A. Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores *fuzzy* para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Revista Energia na Agricultura**, v. 25, p. 21-39, 2010.
- DELLAMATRICE, P. M.; MONTEIRO, R.T.R. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1296-1301, 2014.
- FERREIRA, V.P.; ROCIO, A.C.; LAUER, C.; ROSSONI, E.; NICOULAUD, B. A. L. Resposta de alface à fertilização nitrogenada. Horticultura Brasileira, Brasília, v.19, suplemento CD-ROM, julho 2001.
- GABRIEL FILHO, L. R. A; CREMASCO, C.P.; PUTTI, F.F.; CHACUR, M. G. M. Application of *fuzzy* logic for the evaluation of livestock slaughtering. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 4 p. 813-825, 2011.
- JENSEN, C. R.; ØRUM, J. E.; PEDERSEN, S. M.; ANDERSEN, M. N.; PLAUBORG, F.; LIU, F.; JACOBSEN, S. E. A short overview of measures for securing water resources for irrigated crop production. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 200, n. 5, p. 333-343, 2014.
- JONES, L. A.; WOROBO, R. W.; SMART, C. D. Plant-pathogenic oomycetes, *Escherichia coli* strains, and *Salmonella* spp. frequently found in surface water used for irrigation of fruit and vegetable crops in New York state. **Applied and environmental microbiology**, v. 80, n. 16, p. 4814-4820, 2014.

MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An Experiment in Linguistic Synthesis with a *Fuzzy Logic* Controller. **International Journal Man-Machine Studies**, v. 7, p. 1-13, 1975.

MZINI, L. L.; WINTER, K. Effects of irrigation water quality on vegetables Part 2: Chemical and nutritional content. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 32, n. 1, p. 33-37, 2015.

NANSUBUGA, I., BANADDA, N., RONSSE, F., VERSTRAETE, W., RABAEY, K.

Digestion of high rate activated sludge coupled to biochar formation for soil improvement in the tropics. **Water research**, v. 81, p. 216-222, 2015.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ABREU JUNIOR, C. H. Alterações em atributos químicos de um Latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 529-538, 2002.

ORLOFSKY, E.; BERNSTEIN, N.; SACKS, M.; VONSHAK, A.; BENAMI, M.; KUNDU, A.; MAKI, M.; SMITH, W.; WUERTZ, S.; SHAPIRO, K.; GILLOR, O. Comparable levels of microbial contamination in soil and on tomato crops after drip irrigation with treated wastewater or potable water. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 215, p. 140-150, 2016.

PIRES, A. M. M.; ANDRADE, C. A. D.; SOUZA, N. A. P. D.; CARMO, J. B. D.; COSCIONE, A. R.; CARVALHO, C. S. Disponibilidade e mineralização do nitrogênio após aplicações sucessivas de lodo de esgoto no solo, estimadas por meio de incubação anaeróbica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 4, p. 333-342, 2015.

PUTTI, F. F. **Produção da cultura de alface irrigada com água tratada magneticamente**. 2014. 123 f. Dissertação (Mestrado - Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP. 2014.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; GABRIEL, C. P.; KLAR, A.E. **Fuzzy Modeling of Development of Sheets Number in Different Irrigation Levels of Irrigated Lettuce with Magnetically Treated Water**. 7th International Conference on Fuzzy Computation Theory and Applications, p. 162-169, 2015.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; SILVA, A. O. da; LUDWIG, R.; GABRIEL, C. P. C. *Fuzzy logic* to evaluate vitality of *Catasetum fimbriatum* species (Orchidacea). **Irriga**, v. 19, n. 3, p. 405-413, 2014

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications** CRC Press. 607p. 2010.

SANTOS, F. E.; KUNZ, S. H.; CALDEIRA, M. V.; AZEVEDO, C. H.; RANGEL, O. J. Chemical characteristics of substrates formulated with sewage sludge for production of seedlings of forest species. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 9, p. 971-979, 2014.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Solos, 2013. 353p.

SCHOEN, M. E.; GARLAND, J. Review of pathogen treatment reductions for onsite non-potable reuse of alternative source waters. **Microbial Risk Analysis**, 2015.

YEN, J.; LANGARI, R. Fuzzy logic. **Intelligence, Control, and Information**, 1999.

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, Á. Operating parameters on biological nitrogen removal of water by simultaneous nitrification and denitrification. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 29-42, 2016.