

ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DO TRIGO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE LODO DE ESGOTO E EFLUENTE DE ESGOTO UTILIZANDO UM SISTEMA BASEADO EM REGRAS FUZZY

Luís Roberto Almeida Gabriel Filho¹, Fernando Ferrari Putti², Ana Carolina Kummer Barbosa³, Hélio Grassi Filho⁴, Camila Pires Cremasco Gabriel⁵

¹ 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

² 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

³ Graduada e Mestre em Engenharia Agrícola, Doutora em Agronomia, Pós-Doutora em Engenharia Civil, UEPG – Univ. Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Engenharia Civil, Ponta Grossa PR, ackummer@hotmail.com

⁴ Graduada e Mestre em Matemática, Doutora em Agronomia, Pós-Doutora em Biometria, Professor Assistente Doutor, UNESP – Univ. Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Engenharia, UNESP - Univ Estadual Paulista, Tupã - SP, camila@tupa.unesp.br

⁵ Graduado, Mestre, Doutor e Livre Docente em Agronomia, Prof. Adjunto, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP - Univ Estadual Paulista, Botucatu - SP, heliograssi@fca.unesp.br

Apresentado no
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da adubação com lodo de esgoto compostado e irrigação com efluente tratado na cultura do trigo 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, 50, 100, 200 e 250% da recomendação de Nitrogênio) 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 adotadas foram o número de espigas por planta; massa de grãos por espiga e rendimento de grãos. Pode-se observar que o lodo de esgoto e o efluente contribuíram para o maior incremento da produção, sendo que na dose de lodo de 150% ocorreu a maior produção.

PALAVRAS-CHAVE: reúso de água, nitrogênio, modelagem matemática

ANALYSIS OF WHEAT PRODUCTIVITY SUBMITTED TO SLUDGE DIFFERENT DOSES OF SEWAGE AND WASTEWATER SEWAGE USING A FUZZY RULES BASED SYSTEM

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the effects of fertilization with composted sewage sludge and irrigation with treated wastewater in wheat crop using fuzzy rule-based system. 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, 50, 100, 200 and 250% of the nitrogen 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 immediately doses of sewage water and types and output variables used were the number of ears per plant; mass of grains per spike and grain yield. It can be seen that the sewage sludge and the effluent contributed to the greater increase of production, and at 150% sludge dose increased production occurred.

KEYWORDS: water reuse, nitrogen, mathematical modeling.

INTRODUÇÃO

O aumento da poluição no Brasil, faz com que a rede de saneamento básico esteja presente em todas as cidades, assim o tratamento dos efluentes da população deva ser cada vez mais eficiente, afim de reduzir o número de doenças transmissíveis e a contaminação da água (VILANI & MACHADO, 2015). A partir do tratamento, o resíduo é denominado lodo de esgoto, o qual é destinado em aterros sanitários, sendo que o custo total para destinação do lodo pode chegar a 50% do custo operacional de uma estação de tratamento de efluente (ETE) (LOBO et al., 2014).

O uso do lodo de esgoto é altamente promissor para os fins agrícolas, pois trata-se de um adubo orgânico e sua utilização pode reduzir a aplicação da adubação mineral e fornecer matéria orgânica (LOBO et al., 2015).

As águas residuária oriundas de tratamentos são ricas em nutrientes essenciais para a planta, e também apresenta um potencial sustentável, devido a possibilidade de racionalização do uso da água, redução da poluição e da degradação ambiental, econômica de fertilizantes, preservação e conservação do solo e aumento da produção agrícola (SILVA et al., 2014). Deve-se ressaltar que atualmente o Brasil não apresenta legislações pertinentes para o reaproveitamento de águas residuária para fins agrícolas.

Para verificar os efeitos do lodo de esgoto e efluente de esgoto, seria conveniente a utilização de modelos estatísticos, entretanto devido a sua impressão torna-se mais interessante a modelagem baseada em regras fuzzy, em que PUTTI (2015) constatou que os modelos fuzzy foram mais precisos que os modelos de regressão. A modelagem baseada em regras fuzzy visa contribuir na apresentação de generalizações de resultados, bem como a modelagem entre os intervalos pontuais analisados (BLANCO-FERNÁNDEZ et al., 2014; ROSS, 2010; COPPI et al., 2006). O objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos da aplicação de água residuária via irrigação e lodo esgoto na cultura do trigo utilizando sistema baseado em regras fuzzy.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do experimento

O experimento foi desenvolvido por KUMMER (2013) o qual conduziu-se em vasos arranjados em estufa agrícola, no Departamento de Solos e Recursos Ambientais, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCA/UNESP, Campus de Botucatu/SP. O solo utilizado no experimento é originalmente classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (SANTOS, 2013). Antecedendo a instalação do experimento, nos mesmos vasos foram cultivados dois ciclos consecutivos com trigo e soja, semeados em maio e novembro de 2011, respectivamente, com aplicações de lodo de esgoto compostado (LEC) e irrigação com água potável (AP) e efluente de esgoto tratado (EET), seguindo o mesmo o mesmo arranjo experimental e estrutura de pesquisa. Portanto este estudo teve início a partir da terceira aplicação de lodo compostado.

A semeadura ocorreu em maio de 2012, o qual semearam-se 30 sementes por passo da cultivar CD150. No momento da semeadura utilizou um gabarito afim de proporcionar a distribuição correta no vaso. Após a emergência, foi realizado o desbaste, deixando 24 plantas por vaso.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em que foram utilizados dois tipos de água (Água Potável e Água Residuária) e 6 níveis de adubação nitrogenada, totalizando 12 tratamentos com 10 repetições. A adubação nitrogenada foi baseada na dose de N recomendada para o pleno desenvolvimento da cultura (RAIJ et al., 1997). Nos tratamentos que receberam lodo de esgoto, os níveis de adubação foram definidos em função da substituição parcial, total ou

superior da dose de N recomendada, pelo equivalente deste elemento presente no lodo de esgoto compostado.

A distribuição dos tratamentos nas parcelas experimentais seguiu o princípio da aleatorização e foram assim definidos: N1 = sem adubação nitrogenada; N2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado – LEC (totalizando 80 kg de N ha⁻¹); N3 = 100% de adubação nitrogenada proveniente do LEC (80 kg de N ha⁻¹ via lodo); N4 = 150% de adubação nitrogenada proveniente do LEC (120 kg de N ha⁻¹ via lodo); N5 = 200% de adubação nitrogenada proveniente do LEC (160 kg de N ha⁻¹ via lodo); N6 = 250% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado (200 kg de N ha⁻¹ via lodo).

As quantidades de lodo de esgoto compostado foram calculadas em função do teor de nitrogênio presente no material orgânico e da fração mineralizável de N que foi de 30%, uma vez que as taxas estabelecidas pela resolução do CONAMA n°375/2006 são baseadas em valores norte-americanos, específica para solos de clima temperado diferente das condições tropicais (ANDRADE, et al., 2010). Considerou que para 100 kg de lodo na base seca tem-se 1,1 kg de N e que 30% desse N será mineralizado no primeiro ano.

Todos os tratamentos receberam adubações químicas complementares com P₂O₅ e K₂O (RAIJ et al., 1997) de maneira a uniformizar o solo em 150 mg dm⁻³ de P e 80 mg dm⁻³ de K.

O lodo de esgoto compostado teve por origem a estação de tratamento de esgotos – ETE da cidade de Jundiaí/SP, e o efluente de esgoto tratado foi proveniente da estação de tratamento de esgotos - ETE da cidade de Botucatu/SP. O fornecimento de água às plantas foi realizado via irrigação localizada por gotejamento, diariamente, de maneira a repor a quantidade de água utilizada pelas plantas devido à evapotranspiração da cultura, estimada diariamente a partir da evaporação da água do Tanque Classe A, instalado na parte central da estufa agrícola.

Foram avaliados os seguintes parâmetros dos componentes de produtividade: massa seca da parte aérea, representada pela somatória da massa do colmo + massa das folhas excluindo-se as espigas e raízes (g vaso⁻¹); número de espigas por planta; comprimento da espiga (cm); número de espiguetas por espiga; número de grãos por espiga; massa de grãos por espiga, corrigida para 13% de umidade (g).

Método de elaboração do sistema fuzzy

A modelagem matemática *fuzzy* proposta no presente trabalho buscou explicar as características da produtividade da cultura do trigo quando submetido a diferentes doses de lodo de esgoto e irrigado com água residuária e potável nos intervalos intermediários aos dos níveis dos fatores do experimento agrônomico realizado, a saber [0%, 50(k + 1)%], 1 ≤ k ≤ 4. Nos níveis 50k%, 1 ≤ k ≤ 4, e para os dois tipos de água, sendo água potável (A.P.) e água residuária (A.R.) E as variáveis de saída foram número de perfilho, número de espigas por planta, comprimento de espiga, número de espiguetas por espiga, massa de grãos por espiga, massa seca por vaso da parte aérea, número de grãos por espiga e massa de 100 grãos.

Considerando-se um modelo de características agrônomicas, desta forma tem-se $f: X_1 \times X_2 \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^7$ onde X_1 é “Tipo de Água” e X_2 é “Doses de N” com $y = f(\bar{x})$, em que \mathbb{R} é o conjunto dos números reais; em que $x = (x_1, x_2)$ é definido por $x_1 =$ “Tipo de água” $x_1 \in X_1 = \{0,1\}$; e $x_2 =$ “Doses de N”, com $x_2 \in X_2 = \{0,250\}$; e $y = (y_1, \dots, y_5)$, é definido pelas médias dos valores das características biométricas, a saber $y_1 = \overline{TI}$, $y_2 = \overline{NEP}$, $y_3 = \overline{EL}$, $y_4 = \overline{NSP}$, $y_5 = \overline{GWP}$, $y_6 = \overline{SDW}$ e $y_7 = \overline{W}$

Este sistema baseado em regras *fuzzy* representa a função $F: [0,1] \times [0,250] \rightarrow \mathbb{R}^7$, $F(x, y) = (f_1(x, y), f_2(x, y), f_3(x, y), f_4(x, y), f_5(x, y), f_6(x, y), f_7(x, y))$, em que o produto cartesiano que representa o domínio das avaliações tipo de água (Água potável ou Água residuária) e dos Níveis de N (0 a 250%), no qual o contradomínio \mathbb{R}^7 representa as sete variáveis de resposta avaliadas no experimento. A Figura 1 representa o modelo proposto em que observa as entradas e saídas.

Conjuntos *fuzzy* desenvolvidos

Variáveis de entrada

Para a definição da variável de entrada “Levels of N % de” foi adotado os conjuntos *fuzzy* do tipo trapezoidal, pois de acordo com YET (2009), por se tratar de um conjunto que apresenta uma varável contínua, o modelo de conjunto trapezoidal se adapta melhor na resposta do modelo, já para a variável “Water” adotou os conjuntos triangulares, pois as variáveis são *crisp*. Assim, adotou-se 2 conjuntos, sendo “Água Potável” e “Água Residuária”, sendo possível realizar a elaboração da Tabela 1.

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

Conjunto <i>Fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores
Wastewater	Triangular	[-0.5 1 0.5]
Potable Water	Triangular	[0.5 1 1.5]

Para a variável de entrada “Levls of N (%)”, foram considerados seis conjuntos *fuzzy* denotados por $L_i, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$. Tal definição deve-se ao fato de, no experimento agrônômico realizado, existiu seis níveis de nitrogênio dimensionadas de acordo com a necessidade da cultura do trigo, a saber $(50i)\%, i = 1, 2, 3, 4, 5$. Foram adotadas as funções de pertinência (trapezoidais) dos conjuntos L_i , pois de acordo com Yet (2009), por se tratar de um conjunto que apresenta uma variável contínua, o modelo trapezoidal adapta-se melhor na resposta do modelo. 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* ($u_{L_i}(50i\%) = 1$) 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 a Tabela 4. 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:

$$k = \frac{x_{max} - x_{min}}{2n-1} \Rightarrow k = \frac{250\% - 0\%}{11} \Rightarrow k = 22,73\%, \quad (1)$$

em que x_{max} é o ponto máximo avaliado; x_{min} é o ponto mínimo avaliado e n é o número de conjuntos *fuzzy*.

Para a variação da “Level N%” foram adotados 6 conjuntos, a partir dos níveis estabelecidas no experimento conduzido. Sendo eles denominados de “L1”, “L2”, “L3”, “L4”, “L5” e “L6”, referente aos níveis de 0%, 50%, 100%, 150%, 200%, 250% da dose de Nitrogênio.

Variáveis de saída

As variáveis de saída foram escolhidas elegendo-se as apresentaram diferenças significativas ($p < 0.001$). Assim, para a determinação dos conjuntos *fuzzy*, foi baseada em Cremasco et al., (2010), Gabriel Filho et al. (2011, 2016) Putti et al., (2014, 2015), que definiram dez conjuntos *fuzzy* $C_n, n = 1, 2, \dots, 10$, com funções de pertinência trapezoidais. Calculando-se os diversos delimitadores que possibilitou definir a forma trapezoidal dos dez conjuntos de pertinência, foram necessários 19 delimitadores que se adotaram como sendo os percentis dos conjuntos de dados mensurados de cada variável de saída. Tais percentis em $x\%$, denotados por $P(x\%)$, dependem de uma constante k , uma vez que os 19 delimitadores necessários são da forma $P(mk), 0 \leq m \leq 18$. A constante k é calculada de forma:

$$k = \frac{x_{max} - x_{min}}{2m - 1} \Rightarrow k = \frac{100\% - 0\%}{19} \Rightarrow k = 5,26\% \quad (2)$$

em que x_{max} é o ponto máximo observado para as variáveis de saída; x_{min} é o ponto mínimo observado para a variável de saída e n é o número de conjuntos *fuzzy*.

Assim, adotou-se o mesmo procedimento das variáveis de entrada, em que com o objetivo de ajustar o modelo, foi adotado no primeiro ponto do conjunto “C1” o valor $P_1 - k$, e no ponto 4 do conjunto “C10”, o valor $P_{19} + k3$.

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. (2010) e Gabriel Filho et al. (2011; 2016), nos quais, após a elaboração 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 (*Type of Water* × *Levels of N%*) e associada as 7 variáveis de saída.

Método de inferência e Defuzzyficação

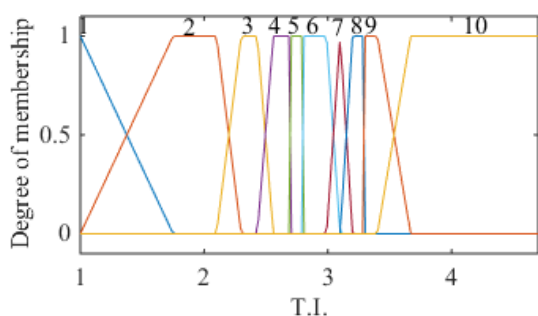
O método de inferência adotado no modelo, foi o proposto por Mamdani e Assilian (1975), visto que no presente trabalho, as proposições do antecedente e do consequente são proposições *fuzzy*, e que de acordo com Ross (2010) é o método mais comum praticado na literatura.

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 (ROSS, 2010; LABADIDI e BAKER, 2006).

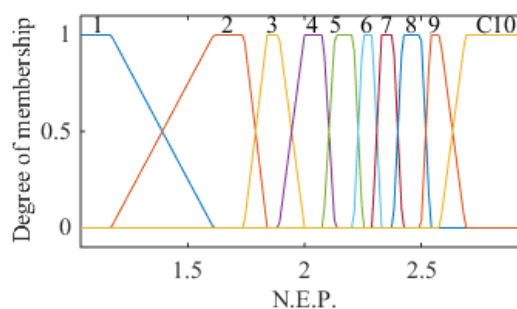
Resultado e Discussões

Após o desenvolvimento do SBRF obteve-se os conjuntos *fuzzy* para as variáveis de saída, em que representava os componentes de produtividade do trigo (Figura 1).

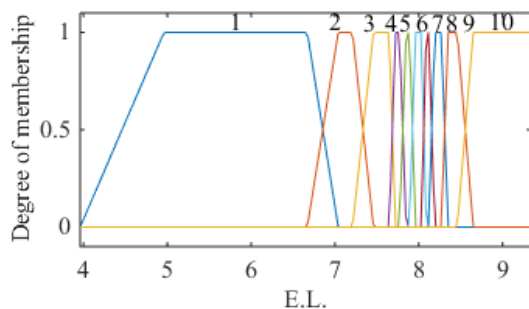
A base de regra do sistema *fuzzy* proposto, foi desenvolvida a partir da metodologia, em que determinou o maior grau de pertinência da variável analisada dentro da condição verificado experimentalmente, por exemplo para o tratamento em que adotou a água residuária e a dose 0 de N, obteve os valores para os componentes de produção (Tabela 2).



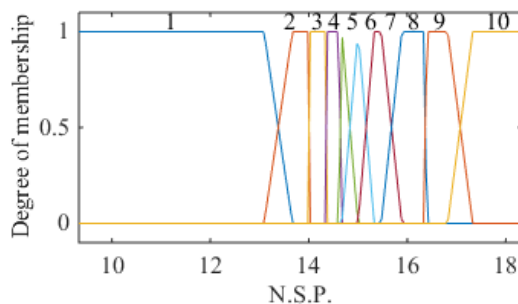
(a) Número de perfilhos por planta [-]



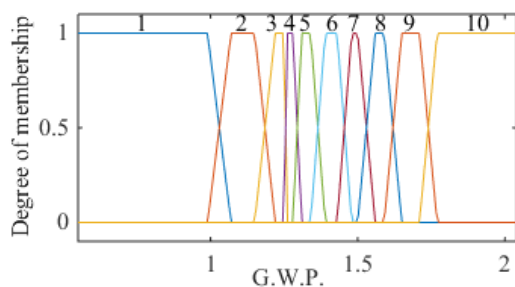
(b) Número de espiga por planta [-]



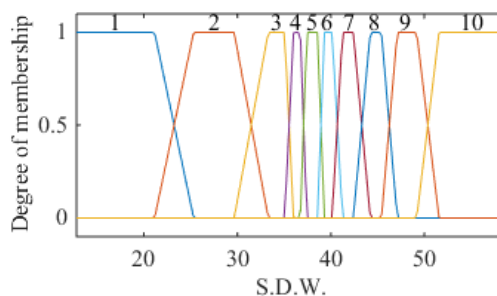
c) Comprimento de espiga [mm]



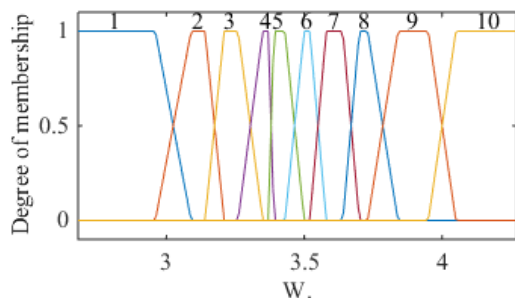
d) Número de espigueta por planta [-]



e) Massa de grão por espiga [g]



f) Massa seca da parte aérea (g)



g) Massa de 100 grãos (kg)

FIGURA 1. Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* para as variáveis de saída da cultura do trigo irrigado com água residuária e potável e com diferentes doses de nitrogênio. **Membership functions of fuzzy sets for the output variables of irrigated wheat production with wastewater and drinking water and different doses of nitrogen.**

TABELA 2. Base de regras do sistema fuzzy para a avaliação dos componentes de produção do trigo submetido a diferentes doses de N e tipos de água. **Basic rules of the fuzzy system for the evaluation of the wheat production of components subjected to different N types and water.**

Tipo de água	Doses de N	TI.	NEP	C.E.	N.E.E.	M.G.E	MSV	M100
AR	0	C3	C3	C3	C4	C4	C2	C5
AR	50	C6	C8	C7	C7	C5	C8	C4
AR	100	C7	C7	C5	C6	C4	C6	C6
AR	150	C6	C6	C6	C7	C5	C6	C4
AR	200	C8	C8	C6	C6	C5	C8	C4
AR	250	C8	C8	C8	C7	C7	C7	C9
AP	0	C2	C2	C2	C2	C3	C2	C6
AP	50	C4	C5	C4	C6	C6	C5	C7
AP	100	C3	C3	C7	C7	C9	C4	C7
AP	150	C7	C6	C10	C10	C9	C8	C4
AP	200	C8	C7	C8	C9	C8	C9	C7
AP	250	C8	C9	C6	C6	C9	C8	C9

Simulação do modelo

Na análise do número de espigas e de perfilhos por planta pode-se observar que as doses de N proporcionado pelo lodo de esgoto até 150% de N apresentaram maior quantidade quando irrigado com água residuária (Figura 2).

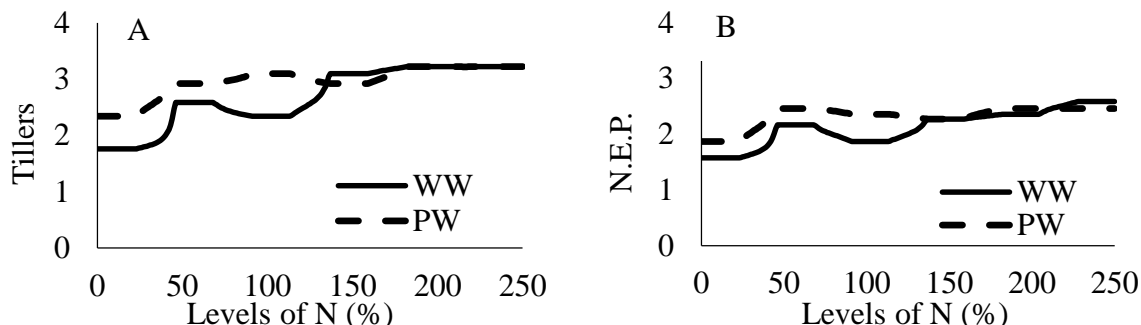


FIGURA 2. Número de perfilhos por planta (A) número de espigas por planta (B) para a cultura do trigo submetida em diferentes doses de N e tipos de água. **Number of tillers per plant (A) number of ears per plant (B) for the wheat crop under different N rates and types of water.**

A irrigação utilizando água potável até a dose 150% de N proporcionou maior número de perfilhos e conseqüentemente de espigas por planta, a partir desta dose não foi constatado diferença e atingindo o maior valor observado para as ambas as variáveis. O nitrogênio é o elemento mais exigido para o desenvolvimento das plantas, em que o excesso pode causar acamamento na cultura do trigo devido ao crescimento e assim reduzir a produtividade (ZHANG et al., 2014; CORMIER et al., 2013).

Relacionou o comprimento da espiga do trigo e do número de espiguetas por planta, e verificou a correlação significativa ($R^2 = 0,55$; $P < 0,001$) entre as variáveis e ambas apresentam o mesmo comportamento em função das doses de nitrogênio (Figura 3).

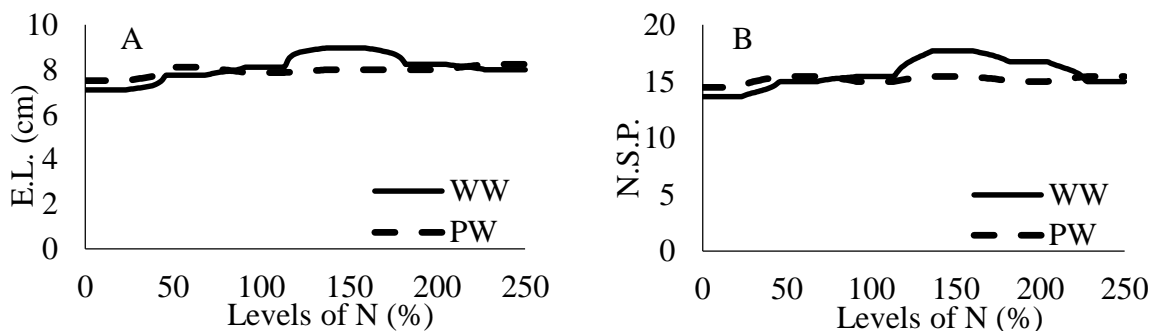


FIGURA 3. Comprimento de espiga (A) e número de espiguetas por espiga (B) para a cultura do trigo submetida em diferentes doses de N e tipos de água. **Ear length (A) and number of spikelets per spike (B) for the wheat crop under different N rates and types of water.**

O comprimento de espiga e o número de espiguetas apresentaram comportamento similar, em que até a dose de 100% de N irrigado com água potável foi constatado que ocorreu maior produção, a partir dessa dose a água residuária contribuiu para o maior desenvolvimento desses componentes. Tais resultados são oriundos devido ao fato do alto teor de N contido no lodo e água residuária (DUARTE et al., 2008). Constatou que ocorreu a maior massa de grão por espigas e de 100 grãos para a cultura do trigo quando submetida a irrigação com água residuária e que as doses de lodo também contribuem para o aumento da massa dos componentes (Figura 4).

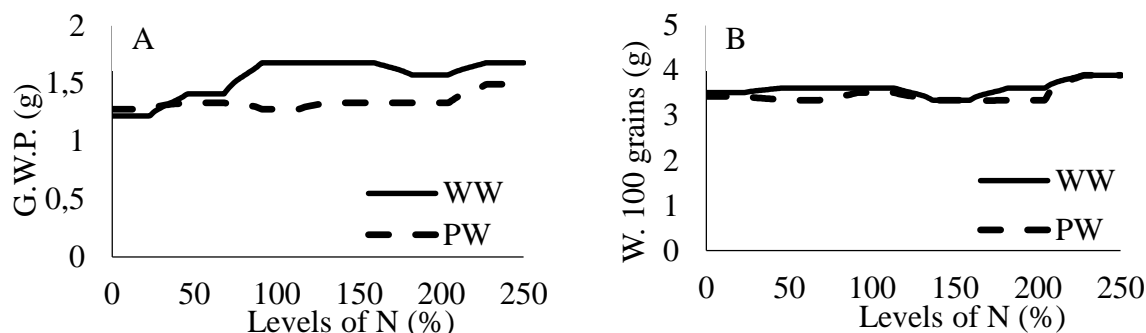


FIGURA 4. Massa de grão por espiga (A) e peso de 100 grãos (B) para a cultura do trigo submetida em diferentes doses de N e tipos de água. **Bulk grain per spike (A) and weight of 100 grains (B) for the wheat crop under different N rates and types of water.**

A massa de grãos por espiga foi maior na faixa de 100% a 200% de N, sendo este intervalo que ocorreu maior comprimento de espiga, em que tais variáveis apresentaram correlação significativa ($R^2 = 0,725$ $P < 0,001$), deste modo podendo afirmar que o comprimento de espiga proporcionou maior quantidade de grãos e não maiores grãos. Tal fato explica por que a massa de 100 grãos não apresentou correlação significativa com os demais componentes de produção, em que não observou grande variação de massa neste componente.

PICOLO et al. (2013) observaram para a cultura do milho houve maior massa de grãos por espiga da cultura, pois ocorreu maior comprimento e largura da espiga, tal fato ocorreu devido à maior disponibilidade de N devido a água residuária. Quando aplicado de efluente da manipueira proporcionou maior desenvolvimento para cultura do milho, pois foi constatado que ocorreu maior disponibilização de N para a planta, proveniente do efluente (BARRETO et al., 2014).

A massa seca da parte aérea por vaso da cultura do trigo apresentou maior acúmulo após a dose 100% de N e irrigada com água residuária (Figura 5).

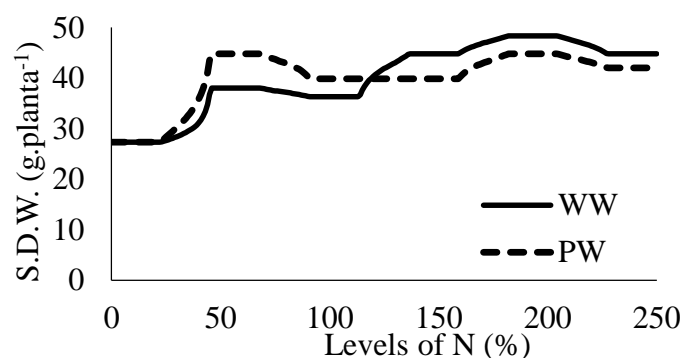


FIGURA 5. Massa seca da parte aérea por vaso da cultura do trigo. **Shoot dry mass for wheat crop vessel.**

A aplicação da água potável apenas influenciou até a dose de 100% de N, após esta dose a água residuária contribuiu para o maior acúmulo de massa seca. Tal fato é devido concentrações mais elevadas de N no solo proporcionado pelo lodo de esgoto e a água residuária, pois devido à não volatilização e a lixiviação do nitrogênio, ao contrário que ocorre quando aplicada a ureia, pode ter provocado maior acúmulo de massa seca. O nitrogênio proporcionado por diferentes efluentes apresentam o mesmo comportamento, em proporcionaram acúmulo de matéria seca assim como constatado por SANTOS JÚNIOR et al., (2015) e ORRICO JUNIOR et al., (2012).

Conclusão

Pode-se concluir que a partir do modelo *fuzzy* desenvolvido é possível observar o comportamento da cultura do trigo quando submetido a diferentes doses de nitrogênio e tipos de água. Também observou que a disponibilidade de nitrogênio a partir da aplicação de lodo de esgoto contribui para maior desenvolvimento dos componentes de produção. Deve-se destacar que não ocorreu maior massa de 100 grãos, mas assim a maior quantidade de grãos por espiga, pois ocorreu maior comprimento de espiga. Tal fato foi proporcionado pela liberação de nitrogênio ao longo do ciclo e não ocorrendo a volatilização e/ou lixiviação.

Agradecimentos

The authors are grateful to the CNPq (National Counsel of Technological and Scientific Development) by the assistance in the Project Process 480985/2008-1/Edital Universal. A Bolsa de Recém Doutor concedida pela Pró-Reitora de Pesquisa (Processo 408/2015).

Referencias

- ANA, M. A. P. O. J.; ORRICOLL, C. A.; SILVA, S. R. C. N.; VARGAS JUNIOR, S. F. M. Características morfogênicas do capim-piatã submetido à adubação com efluentes de abatedouro avícola. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, 2013.
- 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.
- BARRETO, M. T.; MAGALHÃES, A. G.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M.; DUARTE, A. D. S.; TAVARES, U. E. Desenvolvimento e acúmulo de macronutrientes em plantas de milho biofertilizadas com manipueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 5, p. 487-494, 2013.
- BLANCO-FERNÁNDEZ, A. CASALS, M.R.; COLUBI, A.; CORRAL, N.; GARCÍA-BÁRZANA, M.; GIL, M. A.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, G.; LÓPEZ, M.T.; LUBIANO, M.A.; M. MONTENEGRO, M.; RAMOS-GUAJARDO, A. B.; LA ROSA DE SÁ, A. S.; SINOVA, B. A distance-based statistical analysis of fuzzy number-valued data. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 55, p. 1487-1501, 2014.
- COPPI, R.; GIL, M.A.; KIERS, H. A. L. The fuzzy approach to statistical analysis. **Computational statistics & data analysis**, v. 51, p. 1-14, 2006.
- 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.
- DÍAZ-ROJAS, M.; AGUILAR-CHÁVEZ, Á.; DEL ROSARIO CÁRDENAS-AQUINO, M.; RUÍZ-VALDIVIEZO, V. M.; HERNÁNDEZ-VALDEZ, E.; LUNA-GUIDO, M.; OLALDE-PORTUGUAL, V.; L. Effects of wastewater sludge, urea and charcoal on greenhouse gas emissions in pots planted with wheat. **Applied Soil Ecology**, v. 73, p. 19-25, 2014.
- DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2008.
- 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.
- HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; McCORMICK, L.; NELSON, P. F. Wastewater sludge and sludge biochar addition to soils for biomass production from *Hyparrhenia hirta*. **Ecological Engineering**, v. 82, p. 345-348, 2015.
- JÚNIOR, J. A. S.; SOUZA, C. F.; PÉREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. R.; MEDEIROS, S. D. S. Interação urina e efluente doméstico na produção do milho cultivado em solos do semiárido paraibano. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 456-463, 2015.

KUMMER, A. C. B. **Efeito de efluente de esgoto tratado e lodo de esgoto compostado no solo e nas culturas de trigo e soja.** 2013. 194 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu. 2013.

LABABIDI, H. M. S.; BAKER, C. G. J. **Fuzzy modelling.** In: CÁNOVAS, G. V. B. et al. Handbook of Food and Bioprocess Modeling Technique, 2006, p. 452-494.

LATARE, A. M.; KUMAR, O.; SINGH, S. K.; GUPTA, A. Direct and residual effect of sewage sludge on yield, heavy metals content and soil fertility under rice-wheat system. **Ecological Engineering**, v. 69, p. 17-24, 2014.

LI, H.; QU, R.; YAN, L.; GUO, W.; MA, Y. Field study on the uptake and translocation of PBDEs by wheat (*Triticum aestivum* L.) in soils amended with sewage sludge. **Chemosphere**, v. 123, p. 87-92, 2015.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BÜLL, L. T. Efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto nos fatores produtivos do feijoeiro. **Ceres**, v. 59, n. 1, 2015.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; KUMMER, A.C.B. Aplicações sucessivas de lodo de esgoto no girassol e efeito residual no trigo e triticale. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 881-886, 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.

PÍCCOLO, M. A.; COELHO, F. C.; AMARAL GRAVINA, G.; MARCIANO, C. R.; RANGEL, O. J. P. Production of hydroponic maize forage using organic substrates and cattle wastewater. **Revista Ceres**, v. 60, n. 4, p. 544, 2013.

PUTTI, F. F. **Análise dos indicadores biométricos e nutricionais da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) irrigada com água tratada magneticamente utilizando modelagem fuzzy.** 2015.202f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 2015.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; SILVA, A. O.; 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

RAIJ, B. Van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC. 1997. 285p

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

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

SILVA, K. B.; SILVA JÚNIOR, M. J.; BATISTA, R. O.; SANTOS, D. B.; BATISTA, R. O.; LEMOS FILHO, L. C. A. Irrigação por gotejamento com água residuária tratada da indústria da castanha de caju sob pressões de serviço. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 695-706, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology.** 4º ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc. Publishers, 2009. 848p.

VILANI, R. M.; MACHADO, C. J. S. The impact of sports mega-events on health and environmental rights in the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 31, p. 39-50, 2015.

YET, C. T. Weighted trapezoidal and triangular approximations of fuzzy numbers. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 160, p. 3059-3079, 2009.