

SISTEMA BASEADO EM REGRAS FUZZY PARA A DETERMINAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DA ALFACE IRRIGADA COM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE AOS 35 DIAS

Fernando Ferrari Putti¹, Luís Roberto Almeida Gabriel Filho², Antônio Evaldo Klar³
Camila Pires Cremasco⁴, Ana Carolina Kummer Barbosa⁵

¹ 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

² 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

³ Graduado, Mestre, Doutor e Livre Docente em Agronomia, Prof. Titular Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP - Univ Estadual Paulista, Botucatu - SP, klar@fca.unesp.br

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 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.

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

RESUMO: A atual preocupação com a produção de alimentos e com níveis adequados de nutrientes e vitaminas motiva pesquisadores a otimizar recursos limitados de fertilizantes. A utilização de água tratada magneticamente na irrigação pode ser uma técnica capaz de atender tal demanda. Os objetivos do presente trabalho foram analisar os efeitos nos teores de macro e micronutrientes em folhas de alface quando utilizada água tratada magneticamente em diferentes lâminas de água na cultura da alface, por meio dos modelos fuzzy. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em que se adotou um delineamento em blocos inteiramente casualizados com cinco repetições, sendo cinco lâminas da água de irrigação e dois tipos de água. Para a determinação dos teores, foram coletadas amostras da alface, as quais foram lavadas e, em seguida, deixadas em estufa de circulação de ar forçada por 72 h a 65°C, depois de realizadas as determinações dos teores em laboratório. De forma geral, pode-se observar que ocorreu maior absorção para os tratamentos irrigados com água tratada magneticamente, e também que se observaram os efeitos das lâminas de irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: Regressão, alimentos, nebulosa

SYSTEM BASED ON FUZZY RULES FOR DETERMINING NUTRITIONAL CULTURE OF LETTUCE STATE IRRIGATED WITH TREATED MAGNETICALLY WATER TO 35 DAYS

ABSTRACT: Current concern in the production of food with the proper protein and vitamin levels has motivated researchers to optimize fertilizers' limited resources. Magnetically treated water in irrigation proved to be a technique that may attend to such demands. Current research analyzes the effects on macro and micro-nutrient rates when magnetically treated water is employed at different levels on lettuce crops, by fuzzy models, compared to statistical models. Results may be determined within the variations of irrigation levels. The totally randomized experiment with 5 replications, or rather, 5 irrigation levels and 2 types of water, was conducted in a greenhouse. Rates were determined by collecting lettuce samples, which were washed and kept in a forced-air buffer for 72 hours at 65°C, after rates were determined in the laboratory. A greater absorption occurred for the treatment irrigated with magnetic water. Likewise, the effects

on irrigation levels were also detected.

KEYWORDS: Regression, Food, Hazy

INTRODUÇÃO

A produção da alface (*Lactuca Sativa* L.) aumenta vem crescendo, principalmente pela expansão das lanchonetes fast-food e pelo aumento do consumo humano, e sabe-se que é fonte de vitaminas e sais minerais, e com baixo custo associado, acarretando em ter as características da folhosa mais consumida no Brasil (HIRATA et al. 2014; SALA; COSTA, 2009; ZIECH et al., 2014).

Os teores de nutrientes na alface variam de acordo com as condições em que ocorre o cultivo, tais como o pH, umidade do solo, temperatura, índice pluviométrico, teor de matéria orgânica, fertilidade do solo, entre outros que determinam a absorção (JONES, 2012; FAGERIA et al. 2011; FAGERIA, 1974).

Na absorção de nutrientes pelas plantas do solo é fundamental que o sistema apresente certa proporção de água para que ocorra a transferência de elementos químicos, nutrientes e entre outras substâncias pelas raízes (RAIJ, 2011).

Tais elementos em que as plantas necessitam para completar seu ciclo de vida são denominados essenciais, os quais se destacam: boro, cobre, ferro, manganês, zinco, enxofre, magnésio, cálcio, potássio, fósforo e nitrogênio e suas absorções são afetadas diretamente pelas condições do solo (RAIJ, 2011; FERNANDES, 2006).

De acordo com Raij (2011), a absorção pode ocorrer por três processos: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão. No desenvolvimento do sistema radicular, ao encontrar os nutrientes ocorre a absorção pelo processo de interceptação. Também ocorre a absorção de água, em que estão contidos os nutrientes; esta solução é absorvida pelo processo e fluxo de massa. Finalmente, pela absorção de nutrientes, cria-se um gradiente de concentração na solução do solo próximo à região das raízes, gerando o movimento por difusão dos nutrientes (FAQUIM, 1994; RAIJ, 2011; JONES, 2012; MENGEL et al., 2001). Para verificar a real situação da nutrição de plantas, é utilizada a parte aérea por apresentar maior homogeneidade nos teores dos nutrientes.

A absorção é influenciada diretamente pela tensão no solo, interferindo no desenvolvimento das plantas pelos baixos valores absorvidos de nutrientes. Deste modo, existem tecnologias que favorecem o aumento da umidade do solo ou a redução no volume de água aplicada e a manutenção da umidade ideal para o processo de absorção. Com isso, pesquisas que utilizam o tratamento magnético da água comprovam o efeito do aumento da umidade do solo e a redução no volume aplicado (MOSTAFAZADEH-FARD et al., 2011; KHOSHRAVESH et al., 2011).

As análises estatísticas para comprovações de experimentações vêm sendo aperfeiçoadas com a utilização de metodologias computacionais capazes de predizer com maior precisão valores estimados. Dentro das análises estatísticas mais comumente aplicadas nas ciências agrárias, destacam-se os modelos de regressões polinomiais múltiplas, os quais apresentam respostas em função das variáveis controladas no experimento. Entretanto, muitas vezes a imprecisão do modelo faz com que a resposta não reproduza de fato o que foi verificado. Buckley (2006) verificou que tal imprecisão poderia ser reduzida frente à aplicação da lógica fuzzy, em que as respostas seriam mais precisas.

Deste modo, técnicas matemáticas e computacionais devem ser empregadas para as análises de experimentos agrícolas, para que se possa diminuir e obter maior precisão nos resultados (MATT, 2011).

A modelagem fuzzy vem sendo estudada e aplicada em diversas áreas, sendo que seus resultados de forma geral proporcionam análises mais refinadas quando comparadas com os resultados obtidos por meio da estatística clássica (AKBARI; REZAEI 2010; LI et al., 2007; PITERBARG, 2011).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia e um modelo fuzzy visando estimar os valores das variáveis nutricionais da cultura da alface em tipos de água e em todos os valores intermediários entre as taxas mínima e máxima dos níveis de reposição hídrica adotadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação no Departamento de Engenharia Rural da Unesp, Faculdade Ciências Agrônômicas, Fazenda Experimental Lageado, localizada no município de Botucatu, São Paulo, a 786m de altitude. De acordo com classificação de Köppen (KÖPPEN; GEIGER, 1928), a região apresenta clima do tipo Cfa (clima subtropical úmido).

A casa de vegetação era caracterizada por ser do tipo túnel, com dimensões de 27 m de comprimento; 7 m de largura e altura das laterais de 1,7 m e no centro de 3 m, sendo a cobertura feita com filme de polietileno aditivado transparente, com 150µm de espessura. As laterais são de tela “sombrite” com 30% de sombreamento, objetivando a interceptação de insetos e animais. A estufa é posicionada, em seu comprimento, no sentido norte/sul.

Durante os meses de março e abril, período de realização do experimento, observou-se que a temperatura média foi de 23,6°C e 21,6°C, e a umidade relativa do ar de 75,4% e de 72,8%, respectivamente. De acordo com Embrapa (2006), o solo apresentou características moderadas da sua estrutura, sendo classificada como Nitossolo Vermelho Distrófico Latossólico.

Empregou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), sendo dez tratamentos com cinco repetições analisadas aos 35 dias após o transplante (DAT). Os tratamentos foram constituídos de cinco lâminas de irrigação, baseadas na evapotranspiração (ETc), L1, L3, L3, L4 e L5, referente a 25, 50, 75, 100 e 125% da ETc, respectivamente, e foram aplicados dois tipos de água, sendo um denominado água convencional (AC) e outra água tratada magneticamente (ATM).

No tratamento magnético da água foi utilizado o equipamento Sylocymol Rural da empresa Timol, o qual tinha a capacidade de realizar o tratamento para 5 m³ a cada 30 min, sendo possível atender a demanda da cultura.

As parcelas experimentais foram constituídas por canteiros, os quais apresentavam as dimensões 1,2 m de largura por 3 m de comprimento, totalizando 3,6 m², com quatro linhas de plantio, em que se adotou o espaçamento de 25 cm × 25 cm, totalizando 40 plantas; descartou-se a bordadura, perfazendo um total útil de 16 plantas.

O sistema de irrigação adotado foi por gotejamento, sendo as linhas principais constituídas por tubulações de 1 polegada, e as fitas gotejadoras foram inseridas diretamente, que apresentavam emissores com vazão de 1,47 L h⁻¹, quando submetido a uma pressão de 10 m.c.a., que era regulada por meio de uma válvula reguladora de pressão inserida na saída da bomba.

No cálculo da determinação da lâmina de irrigação aplicada diariamente, considerou-se a evaporação (ECA), medida por meio do tanque classe A, e aplicou-se o coeficiente de porcentagem para fracionar as lâminas (0,25; 0,50; 0,75; 1; 1,25) (*f*) e a eficiência do sistema de aplicação do sistema, assim se calcula pela seguinte equação:

$$LI = \frac{ECA \cdot f}{Ei} \quad (1)$$

em que, *LI* é a lâmina de irrigação aplicada para cada tratamento (mm); *ECA* é a evaporação do tanque “classe A” (mm dia⁻¹); *f* é a fração de evaporação de cada tratamento; *Ei* é a eficiência de irrigação (%).

Para determinar o tempo de irrigação para repor a evapotranspiração, na fração determinada para cada tratamento, deve-se conhecer espaçamento entre emissores e linhas e a vazão de cada emissor, assim se calcula por meio da seguinte equação:

$$Ti = \frac{LI \cdot EP \cdot EE}{q} \quad (2)$$

em que Ti é tempo de irrigação (h), LI é a lâmina de irrigação aplicada para cada tratamento (mm), EE é o espaçamento entre emissores (m), EP é o espaçamento entre plantas (m) e q é a vazão média dos emissores ($L h^{-1}$).

Os valores do Kc utilizados foram de acordo com a FAO (1998), em que se usa 0,7 no início, 1 na meia estação e 0,95 no final. No experimento foi utilizada a variedade Verônica, do tipo crespa.

O preparo das mudas ocorreu em badeiras de isopor de 128 células em que se semeou em substrato Tropstrato HA-Hortaliças, em que inseriu duas sementes por células e após a germinação ocorreu o desbaste. Após 30 dias, as mudas apresentaram cinco folhas definitivas e foram transplantadas nos canteiros, sendo que na primeira semana não foi realizada a diferenciação das lâminas.

Para a quantificação dos teores de macro e micronutrientes, todas as folhas foram lavadas com água destilada e secas em estufa de circulação forçada de ar por 72 h, a $65^{\circ}C$. Após a secagem, foram trituradas em um moinho, acondicionadas em sacos de papel devidamente identificadas e enviadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de plantas, no Departamento de Recursos Naturais, da Faculdade de Ciências Agrônomicas-Unesp/ Botucatu.

Quantificou-se aos 35 DAT o teor dos seguintes macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (F), potássio no tecido vegetal da parte aérea, de acordo com a metodologia de Malavolta et al. (1994) e Korndörfer et al. (2004).

Método de elaboração do sistema *fuzzy* e da análise de regressão

Para o desenvolvimento do sistema baseado em regra *fuzzy*, proposto neste trabalho, será adotada a metodologia elaborada por Putti et al. (2016), pelo fato de que as variáveis de entrada do sistema serem as mesmas (Lâmina de Irrigação e Tipo de Água).

As variáveis de resposta adotadas no sistema baseado em regras *fuzzy* proposto neste trabalho, foram os teores de macro e micronutrientes (fósforo (P), potássio (K)) que não apresentaram diferenças significativas frente aos tipos de águas e lâminas de irrigação.

A proposta do presente trabalho foi explicar características da quantificação de absorção de macro e micronutrientes absorvidos pela cultura da alface em função do manejo de irrigação na utilização do tratamento magnético da água por meio da modelagem matemática *fuzzy*, nos intervalos intermediários dos níveis de irrigação analisados no experimento agrônomicos realizado, a saber $[25k\%, 25(k + 1)\%]$, $1 \leq k \leq 4$. Sendo realizada uma modelagem de forma análoga para cada ciclo.

Realizou-se o manejo utilizando-se diferentes níveis de irrigação para cada tratamento de água (água tratada magneticamente (ATM) e água convencional (AC)) e diferentes lâminas de irrigação, dados pelo teor de macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (F), potássio (K), de acordo com Putti (2013).

O modelo considerado para as características agrônomicas desta forma tem a função que representa o modelo descrito que é a $f: X_1 \times X_2 \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$, com $y = f(\bar{x})$, em que \mathbb{R} é o conjunto dos números reais; e $x = (x_1, x_2)$ é definido por $x_1 =$ taxa de reposição hídrica (% da ETc) e $x_2 =$ tipo de água adotado na irrigação (água convencional (0) ou água tratada magneticamente (1)), com $x_1 \in X_1 = [25\%, 125\%]$ e $x_2 \in X_2 = \{0,1\}$; e $y = (y_1, y_2)$, é definido pelas médias dos valores das características biométricas, a saber, $y_1 = \bar{P}$, $y_2 = \bar{K}$. O sistema baseado em regras *fuzzy* representa a função $f: [25\%, 125\%] \times \{0,1\} \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^{10}$, $F(x, y) = (f_1, f_2, \dots)(x, y)$, em que o produto cartesiano que concebe o domínio dos tipos de água adotados (0 para água convencional e 1 para água tratada magneticamente) e das lâminas de irrigação (25 a

125% da ETc), em que o contradomínio é representado por \mathbb{R}^2 , sendo as dez variáveis de resposta avaliadas no experimento.

Para a variável de entrada Tipo de Água, adotaram-se dois conjuntos fuzzy com função triangular, porque o experimento desenvolvido utilizou dois tipos de água (água convencional e água tratada magneticamente); as funções de pertinência foram propostas no Putti et al., (2015).

Já para a variável de entrada Lâminas de Irrigação, foram considerados cinco conjuntos fuzzy, com funções trapezoidais, sendo denominados por L1, L2, L3, L4 e L5, referente às taxas de reposição de 25, 50, 75, 100 e 125% da ETc; tais lâminas foram consideradas pelo fato de serem testadas no experimento agrônomico realizado por Putti (2013). Os delimitadores das funções de pertinência foram desenvolvidos de forma análoga ao contido em Putti et al. (2015).

A partir das análises nutricionais realizadas, adotou-se a utilização de dez variáveis (P, K). Tais variáveis não apresentaram diferenças significativas entre os fatores testados (tipo de água e lâmina de irrigação). De forma semelhante ao contido em Putti et al., (2015) definiram-se dez conjuntos fuzzy $C_n = 1,2$, em que se adotaram as funções de pertinência trapezoidais. Pelas variáveis de saída apresentarem amplitudes diferentes, foi realizada de forma análoga ao contido no Capítulo 1 a determinação dos delimitadores utilizados para o desenvolvimento das funções de pertinência.

Para a determinação da base de regras do sistema fuzzy, foi adotada a metodologia proposta em Cremasco et al. (2010) e Gabriel Filho et al. (2011) e descrita em Putti et al. (2015), em que, após a construção dos conjuntos fuzzy, foi possível calcular o maior grau de pertinência de cada mediana dos tratamentos, associando as variáveis de entrada com as de saída. E para o cálculo da inferência foi aplicado o método desenvolvido por Mamdani e Assilian (1975) e para o cálculo da defuzzyficação do sistema foi considerado o método centro de área ou centroide.

Para o desenvolvimento dos sistemas baseados em regras fuzzy (SBRF) foi utilizado o software Matlab, versão 8.4 (2014). Por meio dele realizaram-se as simulações das variáveis de repostas. A partir das simulações realizadas, juntamente com os resultados dos modelos de regressões polinomiais múltiplos, foi possível a elaboração dos gráficos, os quais foram desenvolvidos em planilha eletrônica do pacote Microsoft Office. Para o cálculo dos modelos de regressões polinomiais múltiplos utilizou-se o software estatístico Minitab, versão 17.0 (2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante da verificação dos pressupostos para a determinação das regressões, observou-se que tanto a normalidade quanto a homocedasticidade foram atendidas para as variáveis que apresentaram ajustes. Nota-se que houve variáveis em determinados ciclos que as variáveis dependentes não se ajustaram às variáveis independentes. Os modelos estatísticos de regressão foram regidos por equações de 3º grau (Tabela 1).

TABELA 1. Coeficientes de regressão e determinação das equações de estimativa das variáveis biométricas da cultura alface submetida a diferentes lâminas de irrigação e tipo de água. **Coefficients of regression and determining the estimated equations of biometric variables lettuce crop under different irrigation and water type.**

Variável	Ciclo	$y = \beta_0 + ax_1 + a_1x_2 + a_2x_2^2 + a_3x_2^3$					R^2
		β_0	a	a_1	a_2	a_3	
P	1º	5,68*	0,32*	- 5,13*	7,48*	- 3,12	0,18*
	2º	4,44*	- 0,27	- 4,98*	6,73*	2,16	0,39*
K	1º	87,97*	6,82*	3,55*	- 5,14	- 4	0,23*
	2º	ns					

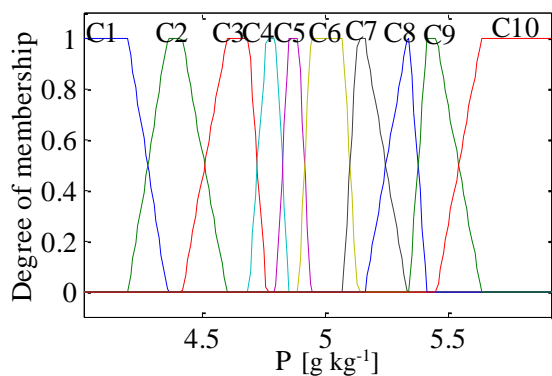
Legenda: N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; x_1 : tipo de água; x_2 : lâmina de irrigação e * significativo para $\alpha = 5\%$.

A partir da elaboração das funções de pertinências, foi possível realizar a construção das bases de regras de cada sistema baseado em regras *fuzzy*. Considerou-se a mediana de cada tratamento como sendo a representação das amostras, associando-se posteriormente ao conjunto de pertinência com maior grau. Deste modo, foi possível determinar o conjunto *fuzzy* associado ao tratamento, determinando em que condição que se encontra o tratamento dentro do todo. A Tabela 2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta as regras *fuzzy*, para o 1º ciclo, onde se constam as medianas que estão associadas a cada conjunto *fuzzy*

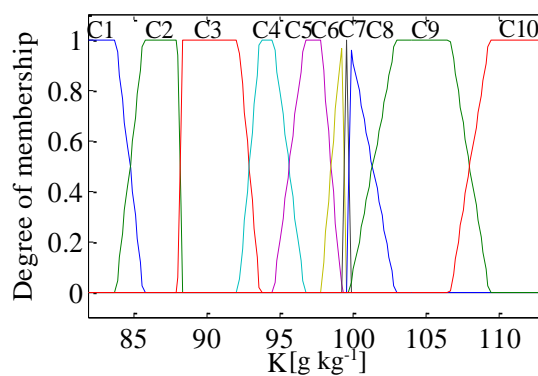
TABELA 2. Base de regras do sistema baseado em lógica *fuzzy*, para o 1º ciclo da cultura da alface submetida em diferentes taxas de reposição e tipo de água. **Basic rules of fuzzy logic-based system for the 1st lettuce crop cycle submitted at different rates of replacement and type of water.**

Variáveis de saída			Variáveis de saída					
Tipo de Água		Lâmina de irrigação	1º Ciclo			2º ciclo		
Tipo de água	Conjunt o <i>fuzzy</i>	Ponto com grau de pertinência associado a 1	P	CF	K	CF	P	CF
AC	L1	25%	4,46	C1	51,7	C7	4,46	C1
AC	L2	50%	3,33	C3	83	C2	3,33	C3
AC	L3	75%	3,28	C7	63	C9	3,28	C7
AC	L4	100%	3,60	C8	62	C8	3,60	C8
AC	L5	125%	4,85	C7	75,6	C6	4,85	C7
ATM	L1	25%	2,54	C9	72,7	C2	2,54	C9
ATM	L2	50%	3,03	C4	55,1	C10	3,03	C4
ATM	L3	75%	3,85	C4	75,2	C4	3,85	C4
ATM	L4	100%	4,11	C6	74,4	C4	4,11	C6
ATM	L5	125%	3,90	C10	71	C9	3,90	C10

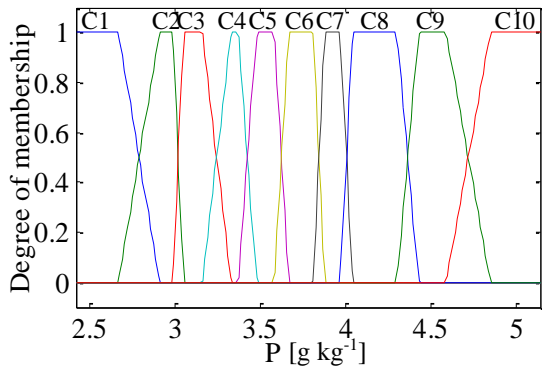
Legenda: L1: lâmina de 25% da ETc; L2: lâmina de 50% da ETc; L3: lâmina de 75% da ETc; L4: lâmina de 100% da ETc; L5: lâmina de 125% da ETc; ATM: água tratada magneticamente; AC: água convencional; P fósforo; K Potássio;



(a) Fósforo (F) [g kg⁻¹], 1º Ciclo.



(b) Potássio (K) [g kg⁻¹], 1º Ciclo.

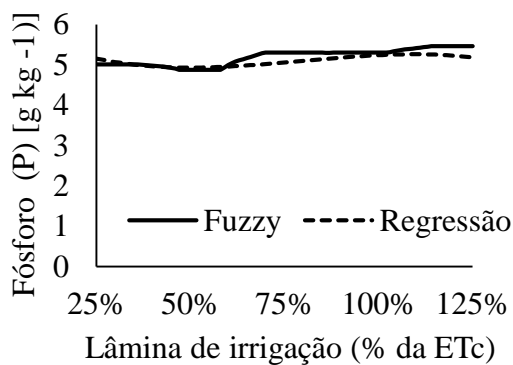


(c) Fósforo (P) [g kg^{-1}], 2º Ciclo.

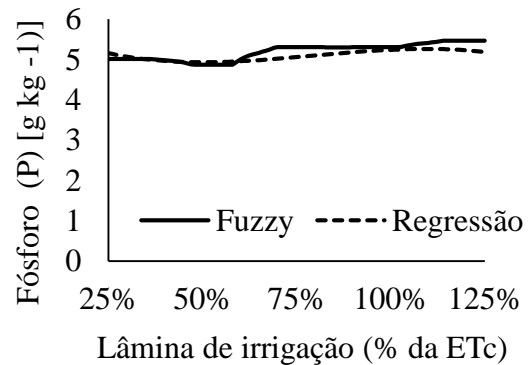
FIGURA 1. Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* para a concentração de fósforo e potássio da cultura da alface submetida a diferentes tipos de água e lâminas de irrigação.
membership functions of fuzzy sets for the concentration of phosphorus and potassium of lettuce under different types of water and irrigation.

Após a determinação das equações de ajustes dos dados observados em campo, foram realizadas as simulações para cada variável de saída. Também foi possível realizar simulações para os modelos fuzzy desenvolvidos, em que após implementados em ambiente computacional no Software Matlab, implementou-se a função *evalfis* que possibilitou gerar as combinações entre as variáveis de entrada (lâmina de irrigação e tipo de água), assim podendo observar os níveis intermediários, antes não observado experimentalmente.

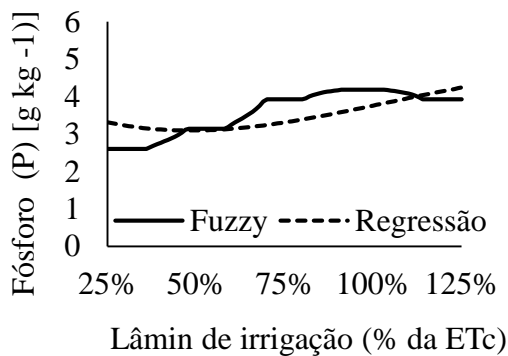
Na FIGURA 2, observa-se o comportamento do teor de fósforo em função da lâmina de irrigação. Nota-se, em relação ao tipo de água, que o comportamento do 1º ciclo é semelhante as encontradas na regressão, porém para o 2º ciclo constatou comportamento diferente.



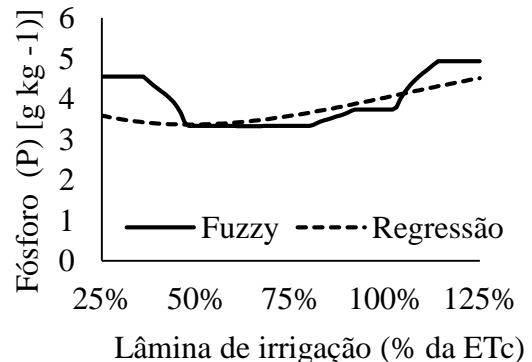
(a) 1º ciclo-ATM



(b) 1º ciclo-AC



(c) 2º ciclo-ATM



(d) 2º ciclo-AC

FIGURA 2. Modelos *fuzzy* e de regressão do fósforo da cultura da alface cultivada em diferentes taxas de reposição e com ATM no (a) 1º ciclo e no (c) 2º ciclo e com AC (b) 1º ciclo e no (d) 2º ciclo. **Fuzzy models and the lettuce crop of match regression grown in different replacement rates and ATM in (a) 1st cycle, and (c) 2nd cycle and AC (b) 1st cycle and (d) 2nd cycle.**

A partir da análise do modelo de regressão, é possível inferir que quando a cultura da alface foi submetida à irrigação com ATM, ocorre maior acúmulo de fósforo. Tal fato foi similar em ambos os ciclos, sendo que o máximo acumulado para o 1º ciclo ocorreu entre as lâminas de 113 a 125% da ETc, e para o 2º ciclo foi de 110 a 125% da ETc. Isso permite verificar que o aumento da umidade do solo favorece o fluxo de fósforo para as plantas, corroborando com Machado et al. (2011) e Costa et al. (2006), os quais constataram a alta correlação entre umidade do solo e processo de difusão do fósforo. Assim, por ATM proporcionar maior umidade do solo, acarreta em maior acúmulo de fósforo nas plantas.

Para o teor de potássio, verificou-se que para o 1º ciclo não houve diferença significativa em relação à lâmina de reposição hídrica, assim como o tipo de água adotado no manejo. Já para o 2º ciclo, houve maior acúmulo de potássio quando submetido à irrigação com AC (FIGURA 3).

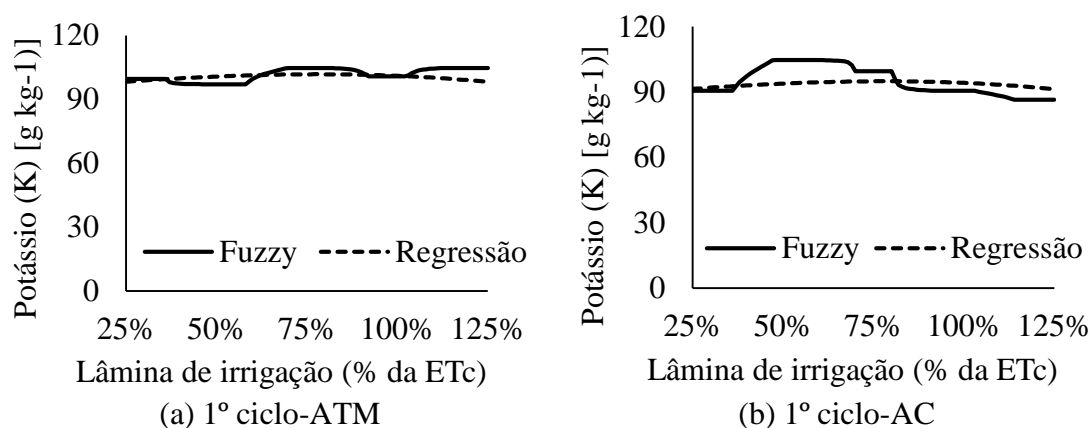


FIGURA 3. Modelos *fuzzy* e de regressão do potássio da cultura da alface cultivada em diferentes taxas de reposição e com ATM no (a) 1º ciclo e com AC (b) 2º ciclo. **Fuzzy models and the lettuce of potassium regression grown in different replacement rates and ATM in (a) 1st cycle and AC (b) 2nd cycle.**

O teor de potássio apresentou maior acúmulo para o tratamento irrigado com ATM entre as lâminas de 69,44 a 80,56 % da ETc, já quando irrigado com AC, obteve maior acúmulo entre a taxa de 47 a 58% da ETc, sendo superior. Isto pode ter ocorrido pela umidade do solo ser mais alta quando utilizada ATM, e consequentemente havido maior lixiviação, e reduzida a disponibilidade da absorção (WERLE et al., 2008). Esta interferência de absorção é pela redução do pH (WIETHÖLTER, 2007).

CONCLUSÕES

A irrigação utilizando ATM favoreceu a absorção dos macros e micronutrientes pelo proporcionalmente da maior umidade do solo, e a possível redução do pH do solo, deixando a planta em condições favoráveis para absorção. Também se pode ressaltar, que houve o efeito da variação da lâmina de irrigação, que proporcionando em muitos casos a redução da absorção e macro e micronutrientes, pois o aumento excessivo da umidade do solo pode ter contribuído para lixiviação, assim como a redução da aeração.

Pode-se concluir que a aplicação do modelo *fuzzy* apresenta um alto potencial na avaliação

do comportamento de experimentação na área de ciências agrárias, com ajustes melhores e com maior exatidão quando comparado com os resultados de ajuste da curva de regressão.

AGRADECIMENTO

REFERÊNCIAS

- AKBARI, M. B; REZAEI, A. Bootstrap testing fuzzy hypotheses and observations on fuzzy statistic. **Expert systems with applications**, v. 37, p. 5782-5787, 2010.
- BUCKLEY, J. J. **Fuzzy Probability and Statistics. Studies in Fuzziness and Soft Computing**. 1. ed. vol.196. New York: Springer, 2006, 270 p.
- COSTA, J. P.; DE BARROS, N. F.; DE ALBUQUERQUE, A. W.; FILHO, G. M. e SANTOS, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 828-835, 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.
- FAGERIA, N. K. Absorption of magnesium and its influence on the uptake of phosphorus, potassium, and calcium by intact groundnut plants. **Plant and Soil**, v. 40, n. 2, p. 313-320, 1974.
- FAGERIA, N. K; BALIGAR, V. C; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. Ed. 3, p.1- 564, 2011
- FAO (Food and Agriculture Organization of the united Nation). **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements - FAO - Irrigation and drainage**. Local: FAO, 1998. 56p.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994.
- FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, 432 p.
- 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.
- HIRATA, A C. S.; HIRATA, E. K.; GUIMARÃES, E. C.; RÓS, A. B.; MONQUERO, P. A. Plantio direto de alface americana sobre plantas de cobertura dessecadas ou roçadas. **Bragantina**, v. 73, n. 2, p. 178-183, 2014
- JONES JR, J. B. **Plant nutrition and soil fertility**. ed. 2, Boca Raton, FL, p.1-296, 2012
- JONES JR, J. B. **Plant nutrition and soil fertility manual**. CRC press, 2012.
- KHOSHRAVESH, M.; MOSTAFAZADEH-FARD, B.; MOUSAVI, S. F. e KIANI, A. R. Effects of magnetized water on the distribution pattern of soil water with respect to time in trickle irrigation. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 4, p. 515-522, 2011.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- LI, W.; ZHOU, J.; XIONG, X.; LU, J. A statistic-fuzzy technique for clustering load curves.

Transactions on power systems, v. 22, n. 2, 2007

MACHADO, V. J.; de SOUZA, C. H. E.; de ANDRADE, B. B.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H. Availability curves of phosphorus in soils with different textures after application of increasing doses of mono ammonium. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, 2011.

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

MENGEL, K. et al. (Ed.). **Principles of plant nutrition**. Springer Science & Business Media, 2001.

MOSTAFAZADEH-FARD, B.; KHOSHRAVESH, M.; MOUSAVI, S. F.; KIANI, A. R. Effects of magnetized water and irrigation water salinity on soil moisture distribution in trickle irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 137, n. 6, p. 398-402, 2010.

PITERBARG, L. I. Parameter estimation from small biased samples: Fuzzy Sets vs Statistics, v. 170, p. 1-21, 2011

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

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 (Orchidaceae). **Irriga**, v. 19, n. 3, p. 405-413, 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.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011, 420p.

SALA, F. C; COSTA, C. P. Gloriosa: cultivar de alface americana tropicalizada. **Horticultura Brasileira**. v. 26, p. 409-410, 2008.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.

WIETHOLTER, S. Bases teóricas e experimentais de fatores relacionados com a disponibilidade de potássio do solo às plantas usando trigo como referência. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1011-1021, 2007.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; PAULUS, D.; ZIECH, M. F. Cultivo de alface em diferentes manejos de cobertura do solo e fontes de adubação. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 18, n. 9, p. 948-954, 2014.