

## SISTEMA BASEADO EM REGRAS *FUZZY* PARA AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA ALFACE SUBMETIDA A IRRIGAÇÃO ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE E EM DIFERENTES TAXAS DE REPOSIÇÃO

FERNANDO FERRARI PUTTI<sup>1</sup>, ANTÔNIO EVALDO KLAR<sup>2</sup>, LUÍS ROBERTO  
ALMEIDA GABRIEL FILHO<sup>3</sup>, CAMILA PIRES CREMASCO<sup>4</sup>, JOSUÉ FERREIRA DA  
SILVA JUNIOR<sup>5</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, Doutor e Livre Docente em Agronomia, Prof. Titular Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP - Univ Estadual Paulista, Botucatu - SP, [klar@fca.unesp.br](mailto:klar@fca.unesp.br)

<sup>3</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>4</sup> 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](mailto:camila@tupa.unesp.br)

<sup>5</sup> Graduado, Mestre e Doutorando em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP - Univ Estadual Paulista, Botucatu - SP, [josueferreira@fca.unesp.br](mailto:josueferreira@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 aumento da demanda por alimentos e a otimização do uso da terra está gerando certa preocupação. Porém, pela complexidade em avaliações estatísticas para a real demonstração dos efeitos observados, modelos matemáticos *fuzzy* estão sendo empregados para auxiliar os pesquisadores. Assim, o objetivo do presente trabalho foi verificar o efeito do tratamento magnético da água para a cultura da alface, utilizando modelos *fuzzy*, que foram comparados com os modelos de regressão. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, adotou-se um delineamento em blocos casualizados, onde foram adotadas cinco lâminas de irrigação (25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETc) e dois tipos de água (tratada magneticamente e convencional). De forma geral, observou-se que ocorreu maior desenvolvimento para os tratamentos irrigados com água tratada magneticamente. Os modelos matemáticos *fuzzy* desenvolvidos apresentaram ajuste mais refinado aos dados coletados a campo, quando comparados com os modelos de regressão. Desta forma, a aplicação da lógica *fuzzy* para avaliação de experimentação agrônômica apresentou modelos dos resultados mais próximos aos valores observados, demonstrando que tal metodologia de modelagem é mais eficiente que a análise de regressão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Regressão, alimentos, nebulosa

## SYSTEM BASED ON FUZZY RULES FOR EVALUATION OF LETTUCE PRODUCTIVITY POSTED IRRIGATION WATER TREATED MAGNETICALLY AND DIFFERENT SPARE FEES

**ABSTRACT:** Although increase in food demand and the optimization of soil use have been a great concern worldwide, researchers have developed techniques to enhance production indexes. However, due to complex statistical assessments for the true demonstration of effects, *fuzzy* mathematical models are being employed. Current analysis verifies the true benefits that water magnetic treatment provides for lettuce crops, through *fuzzy* models compared to regression ones. A randomized design experiment, conducted in a greenhouse, featured 5 irrigation levels (25%, 50%, 75%, 100% and 125% ETc) and 2 types of water (treated magnetically and conventional). As a rule, greater development occurred for treatments irrigated with magnetically treated water. *Fuzzy* mathematical models provided more refined adjustments to field-collected data when compared to regression models. Since the application of *fuzzy* logic to evaluate agronomic

experiments provided result models which were closer to observed rates, modeling methodology proved to be more efficient than the regression analysis.

**KEYWORDS:** Regression, Food, Hazy

## INTRODUÇÃO

Com uma expectativa populacional mundial em torno de 9,6 bilhões de pessoas (ONU, 2014), o aumento na produção alimentar, que deveria ocorrer concomitantemente a ela, tem gerado preocupações. Segundo a FAO (Food and Agriculture Organization) 2014, um aumento de 70% seria necessário na produção agrícola em relação aos níveis atuais, porém uma discussão recorrente é sobre o uso da terra. Para atingir tais índices, o uso do solo deve ser intensificado a fim de gerar consequências imensuráveis.

Portanto, com esta preocupação, os irrigantes vêm adotando técnicas mais sofisticadas para aumentar a eficiência na aplicação de água (LEVIDOW et al., 2014). Mostafazadeh-Fard et al. (2011) observaram que foi possível aumentar a eficiência da aplicação da água quando submetida ao campo magnético. Khoshravesh et al. (2011) inferiram que a frequência de irrigação foi alterada e houve redução na umidade do solo.

Para a análise de variáveis contínuas, é recomendada a análise por meio de regressão, que assim é possível observar o comportamento dentro da amplitude verificada no experimento. De forma genérica, o comportamento da variável dependente ( $y$ ) em relação às variáveis independentes ( $x$ ) apresenta-se de diversas maneiras: linear (1º grau), quadrática (2º grau), cúbica (3º grau), quártica (4º grau), exponencial, logarítmica etc. Há ainda quando ocorre o caso de existir mais de uma variável independente ( $x$ ) que interfere diretamente na variável dependente, neste caso as regressões lineares múltiplas e polinomiais múltiplas (LATTIN, 2008; PINHEIRO, 2008; PAGANO; GAUVREAU, 2008). A análise de regressão é uma forma de modelar matematicamente e de ajuste de curva em experimentação e utilizadas amplamente nas áreas de ciências agrônômicas para verificar os efeitos das variáveis dependentes (SVIERCOSKI, 2011).

Os experimentos realizados foram analisados diante de técnicas estatísticas para verificar as diferenças significativas. Da mesma forma, pela complexidade de analisar efeitos da experimentação, técnicas de modelagem matemática vêm sendo empregadas. Desde modo, a modelagem baseada em regras *fuzzy* vem contribuir para apresentar os resultados, bem como a modelagem entre os intervalos pontuais analisados (BLANCO-FERNÁNDEZ et al., 2014; COPPI et al., 2006; ROSS, 2010).

A modelagem *fuzzy* permite ao cientista verificar condições incertas e nebulosas, pela complexidade do entendimento do fato observado; a modelagem pode apresentar condições que tornem mais clara a compreensão. Neste caso, muitos experimentos são analisados pontualmente por meio de técnicas que não apresentam o comportamento entre os pontos analisados. Por isso, a modelagem permite o entendimento dos intervalos intermediários. Podem-se destacar diversas aplicações recentes nas ciências agrárias, tais como modelos na área de análise de condições para cultivo de orquídeas (PUTTI et al., 2014), crescimento de mosquitos (CASTANHO et al., 2014), sistema de suporte à adubação nitrogenada (PAPADOPOULOS et al., 2011) e crescimento dinâmicos de populações (BARROS et al., 2000). O objetivo do trabalho deste trabalho foi desenvolver uma modelagem *fuzzy* visando estimar os valores do número de folhas e fitomassa verde aérea 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 realizado durante os meses de janeiro a abril quando foram conduzidos dois ciclos com inícios subsequentes da cultura da alface em ambiente protegido, situado no

Departamento de Engenharia Rural da Unesp, Faculdade Ciências Agrônomicas, Fazenda Experimental Lageado, localizado no município de Botucatu, São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22° 51' S, longitude 48° 26' W e altitude de 786 m (ESCOBEDO et al., 2009). De acordo com a classificação de Köppen (KÖPPEN; GEIGER, 1928), a região apresenta clima do tipo Cfa (clima subtropical úmido).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com dez tratamentos em esquema fatorial  $5 \times 2$  e cinco repetições, sendo a repetição uma planta de alface. Os tratamentos foram constituídos das lâminas de irrigação correspondente à reposição de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da taxa de evaporação da cultura (ETc) e duas formas de irrigação, tratada magneticamente (ATM) e água convencional (AC).

Para a magnetização da água, utilizou-se o equipamento Sylocymol rural da empresa Timol. Foram implantados dois sistemas independentes de irrigação por gotejamento (1 para cada tipo de água), que era constituído de uma linha principal e fitas gotejadoras inseridas diretamente sendo as fitas do tipo Amandi, fabricado pela Petroísa Irrigações Ltda. A mangueira possuía espaçamento de 0,30 m entre gotejadores, sendo sua vazão média de 1,47 L.h<sup>-1</sup>, quando submetido a 10 m.c.a. de pressão. A irrigação e a aferição do tanque classe A foram realizadas diariamente às 8 h, sendo possível determinar o tempo de irrigação, utilizando-se a seguinte equação:

$$Ti = 6000 \cdot \frac{Kc \cdot Kp \cdot Eca \cdot Sl \cdot Sg \cdot TR}{Ei \cdot Vg}$$

em que  $Ti$  é o tempo de irrigação,  $Kc$  é o coeficiente de cultura,  $Kp$  é o coeficiente de tanque,  $Eca$  é a evaporação do tanque “Classe A” (mm.dia<sup>-1</sup>),  $Sl$  é o espaçamento entre laterais (m);  $Sg$  é o espaçamento entre gotejadores (m),  $Tr$  é o turno de irrigação,  $Ei$  é a eficiência de irrigação (%) e  $Vg$  é a vazão de gotejadores (L.h<sup>-1</sup>).

O cálculo da lâmina total de irrigação a ser aplicada foi realizado a partir do método proposto por Snyder (1992); deve-se ressaltar que foi desconsiderado o vento dentro da casa vegetação, em que é dado o coeficiente do tanque ( $Kp$ ) pela seguinte equação:

$$Kp = 0,0482 + 0,024 \ln(B) - 0,00376 \cdot V + 0,0045 \cdot UR,$$

em que  $Kp$  é o coeficiente de tanque,  $B$  é a bordadura da área de vegetação em torno do tanque (m),  $V$  é a velocidade do vento a 2 m de altura (m.s<sup>-1</sup>) e  $UR$  é a média da umidade relativa (%).

Os valores do  $Kc$  utilizados foram de acordo com a FAO (1998), em que é adotado 0,7 no início do ciclo 1, na meia estação do ciclo e 0,95 no final do ciclo. Foram avaliados o número de folhas (NF) e a fitomassa verde da parte aérea (FVA).

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

De acordo com Putti (2013), tal manejo foi realizado utilizando-se de diferentes níveis de irrigação para cada tratamento de água (ATM e AC) e diferentes lâminas de irrigação, enquanto que as características da produtividade agrônômica a serem utilizadas neste trabalho foram as variáveis biométricas, dados por NF, FVA.

Considerando-se um modelo de características agrônômicas desta forma, a função que representa o modelo descrito, é  $f: X_1 \times X_2 \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$ , com  $y = f(x)$ , em que  $\mathbb{R}$  é o conjunto dos números reais; em que  $x = (x_1, x_2)$  é definido por  $x_1$  = taxa de reposição hídrica (% da ETc) e  $x_2$  = tipo de água adotado na irrigação (água convencional (1) 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  $y_1 = \overline{NF}$  e  $y_2 = \overline{FVA}$ .

Este sistema baseado em regras fuzzy representa a função  $F: [25,125] \times \{0,1\} \rightarrow \mathbb{R}^2$ ,  $F(x, y) = (f_1(x, y), f_2(x, y))$ , em que o produto cartesiano que representa o domínio das lâminas de irrigação (25 a 125% da ETc) e dos tipos de água adotado (0 para água convencional

e 1 para água tratada magneticamente) e, no qual o contradomínio  $\mathbb{R}^2$  representam as cinco variáveis de resposta avaliadas no experimento.

Para a variável de entrada Lâminas de Irrigação, consideraram-se cinco níveis, referentes às taxas de reposição de 25, 50, 75, 100 e 125% da ETC, que foram representadas por cinco conjuntos *fuzzy* denominadas respectivamente por L1, L2, L3, L4 e L5. De forma análoga realizada por Putti et al. (2015), adotaram-se os delimitadores das funções de pertinência de cada conjunto.

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 por Putti et al. (2015).

Para as variáveis de saída do sistema *fuzzy* deste capítulo, adotou-se de forma análoga ao proposto por Putti et al., (2015) o método de determinação dos delimitadores de cada função de pertinência. Foram consideradas apenas as variáveis que apresentaram diferenças significativas frente a diferentes lâminas de irrigação e ao longo do ciclo. Diante do exposto foram consideradas as variáveis: número de folhas e fitomassa verde aérea. A base de regras do sistema *fuzzy* foi desenvolvida de forma análoga a de Putti et al. (2015), em que foram calculados os maiores graus de pertinência de cada mediana dos tratamentos, associando as variáveis de entrada com as de saída, como proposta por Cremasco et al. (2010) e Gabriel Filho et al. (2011) (TABELA 1).

**TABELA 1.** Combinações das variáveis de entrada com pontos de grau de pertinência 1 associados aos conjuntos fuzzy para a construção da base de regras. **Combinations of input variables with membership degree of 1 points associated with the fuzzy sets for the construction of the rule base.**

Tipo de água	Lâmina de irrigação	
	Conjunto <i>fuzzy</i>	Ponto com grau de pertinência 1 associado
AC	L1	25%
AC	L2	50%
AC	L3	75%
AC	L4	100%
AC	L5	125%
ATM	L1	25%
ATM	L2	50%
ATM	L3	75%
ATM	L4	100%
ATM	L6	125%

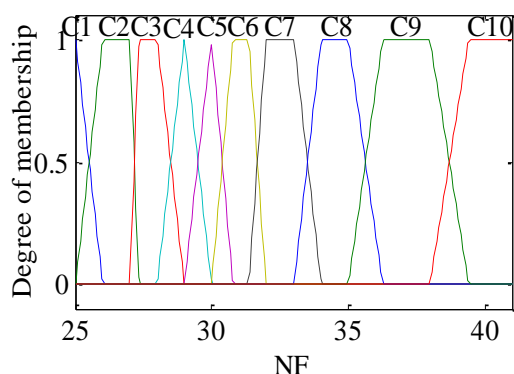
O método de inferência adotado no modelo foi análogo ao proposto no Capítulo 1, que foi o proposto por Mamdani e Assilian (1975), e para o cálculo da *defuzzificação* do sistema, foi considerado o método centro de área ou centroide. Utilizou-se o software Matlab, versão 8.4 (2014) para o desenvolvimento dos sistemas baseados em regras *fuzzy* (SBRF), por meio dele realizaram-se as simulações das variáveis de repostas.

Para o desenvolvimento das equações de regressão polinomiais múltiplas foram desenvolvidas de forma análoga ao Capítulo 1, em que previamente analisaram os pressupostos (normalidade, homocedasticidade), assim obtiveram as repostas dos modelos, que foram comparados com os dados coletados a campo.

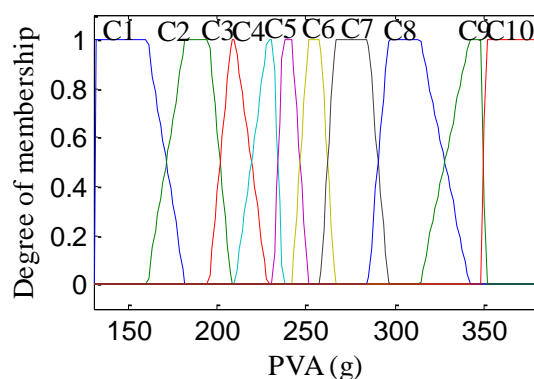
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da metodologia de elaboração das funções de pertinência das variáveis de saída, para cada ciclo, foram elaborados os conjuntos *fuzzy* que permitiram a classificação de cada

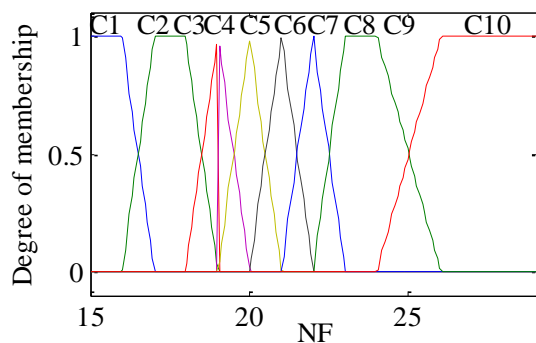
tratamento (maior grau de pertinência), assim podendo ser realizada a elaboração da base de regras (Figura 1). Em apêndice podem se observar os pontos que determinam os vértices de cada conjunto *fuzzy*.



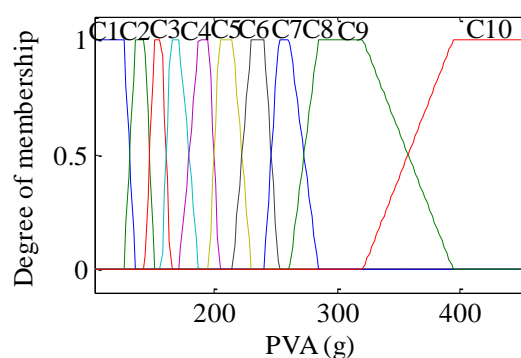
(a) Número de folhas (NF) [-], 1º Ciclo.



(b) Fitomassa verde aéreo (FVA) [g], 2º Ciclo.



(a) Número de folhas (NF) [-], 1º Ciclo.



(b) Fitomassa verde aéreo (FVA) [g], 2º Ciclo.

**FIGURA 1.** Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* para o número de folha e fitomassa verde aérea da cultura da alface submetida a diferentes tipos de água e lâminas de irrigação. **Membership functions of fuzzy sets to the number of leaf green and aerial phytomass of lettuce crop under different types of water and irrigation.**

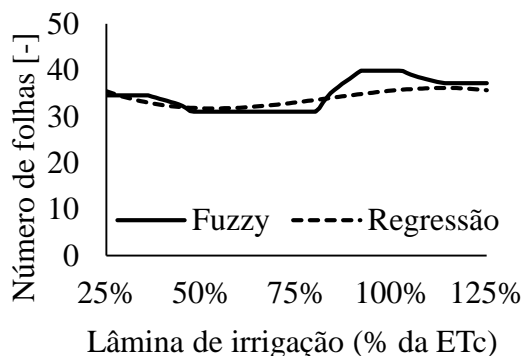
Após definidas as funções de pertinência, foi possível elaborar a base de regras do sistema *fuzzy*. Para isso, associou-se o maior grau de pertinência para a variável biométrica referente ao tipo de tratamento que foi aplicado para a cultura da alface. Assim, foi possível verificar em que situação se encontrava a variável em análise comparando-a com os demais tratamentos. As Tabelas 30 e 31 apresentam as regras *fuzzy*, para os 1º e 2º ciclos, respectivamente.

O resultado dos modelos de regressão, desenvolvido para o número de folha, é apresentado na FIGURA 2. Pode-se observar que, de forma geral, a irrigação utilizando água tratada magneticamente apresentou maior incremento.

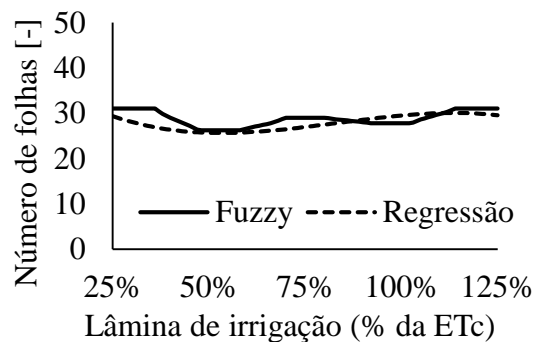
**TABELA 2.** Base de regras do sistema baseado em lógica *fuzzy*, para o 1º ciclo da cultura da alface submetida em diferentes taxas de reposição e tipo de água. **Basic rules of fuzzy logic-based system for the 1st lettuce crop cycle submitted at different rates of replacement and type of water.**

Variáveis de saída		Variáveis de saída				
Tipo de Água	Lâmina de irrigação	Ponto com grau de pertinência associado a 1				
Tipo de água	Conjunto <i>fuzzy</i>	NF	Conjunto <i>fuzzy</i>	FVA	Conjunto <i>fuzzy</i>	
AC	L1	25%	30	C6	236,2	C5
AC	L2	50%	25	C2	186,1	C2
AC	L3	75%	28	C4	234,6	C5
AC	L4	100%	27	C3	200,1	C3
AC	L5	125%	30	C6	291,5	C8
ATM	L1	25%	33	C8	266,3	C7
ATM	L2	50%	30	C6	217,1	C4
ATM	L3	75%	31	C6	294,6	C8
ATM	L4	100%	39	C10	351,3	C10
ATM	L5	125%	35	C9	292,2	C8

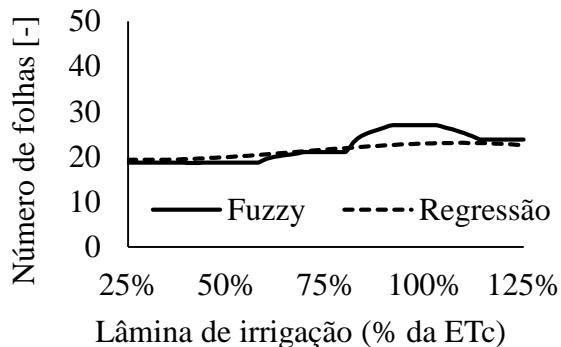
Legenda: L1: lâmina de 25% da ETc; L2: lâmina de 50% da ETc; L3: lâmina de 75% da ETc; L4: lâmina de 100% da ETc; L5: lâmina de 125% da ETc; ATM: água tratada magneticamente; AC: água convencional; NF número de folha; FVA fitomassa verde aéreo;



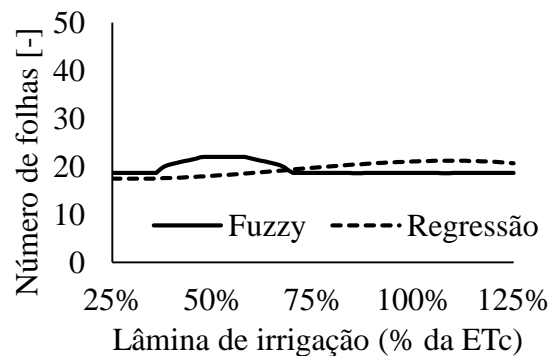
(a) 1º ciclo-ATM



(c) 1º ciclo-AC



(b) 2º ciclo-ATM



(d) 2º ciclo-AC

**FIGURA 2.** Modelos *fuzzy* e de regressão do número de folhas de plantas submetidas a diferentes níveis de reposição hídrica e com ATM (a) 1º ciclo, (b) 2º ciclo; AC (c) 1º ciclo e (d) 2º ciclo. **Fuzzy models and regression of the number of plant leaves under different levels of fluid replacement and ATM (a) 1st cycle, (b) 2nd cycle; AC (c) 1st cycle and (d) the 2nd cycle.**

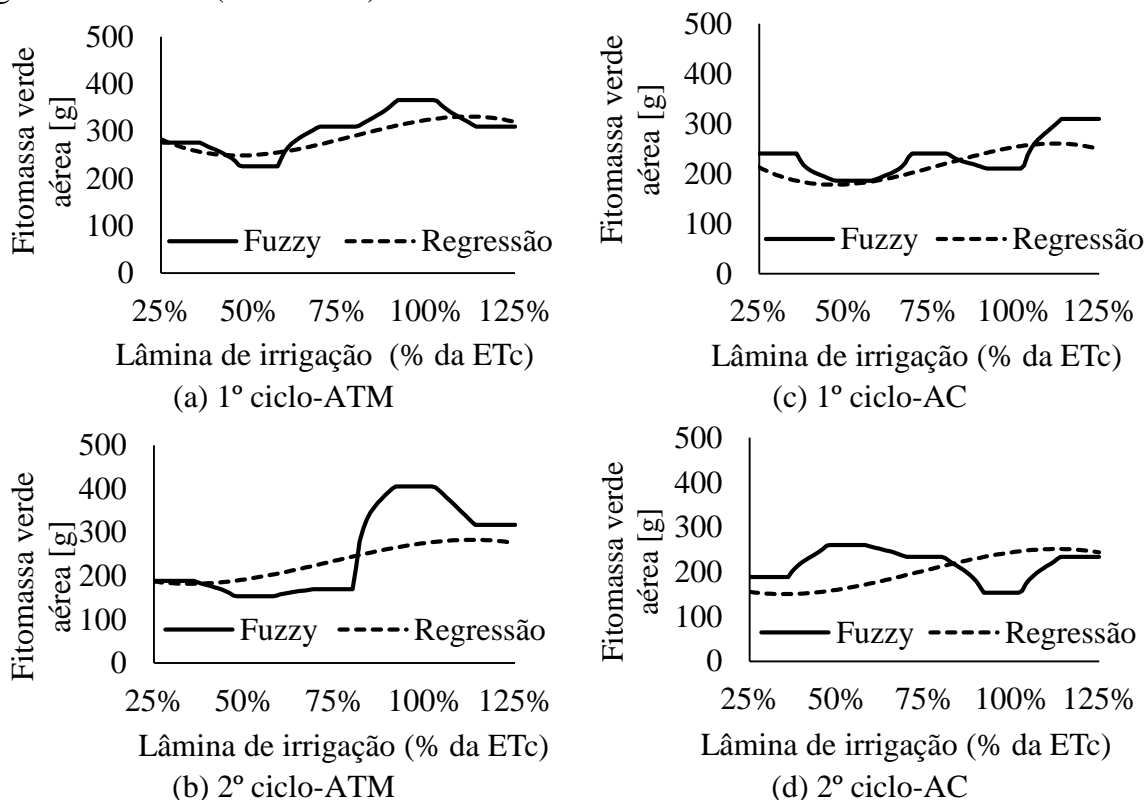
A partir dos modelos de regressão, para a análise do 1º ciclo, foi possível determinar que a máxima produção para os tratamentos irrigados com ATM ocorreu próximo à lâmina de reposição de 91% da ETc, atingindo a produção de 40 folhas (Figura 2a). Já para os tratamentos irrigados com AC, a produção foi em torno de 31 folhas sendo irrigado com 113% da ETc (Figura 2c), acarretando em aumento na máxima produção de 28%.

Já na análise do 2º ciclo, pode observar que o efeito da lâmina de irrigação foi similar ao 1º ciclo, pois a máxima produção do número de folhas ocorreu com a lâmina de reposição de 90% da ETc quando irrigada com ATM, em que ocorreu um acúmulo em torno de 27 folhas (Figura 2b). Já para a irrigação com AC, notou-se que a máxima produção de folhas ocorreu próximo à taxa da lâmina de 50% da ETc, acumulando 22 folhas (Figura 2d). Deste modo, ocorreu um incremento de 22% para a máxima produção do número folhas quando irrigada com ATM.

Com os modelos desenvolvidos, foi possível verificar que tais resultados corroboram com diversos autores, pois o aumento provado pela irrigação com ATM é pelas alterações em suas propriedades físicas e químicas, as quais provocam alteração em sua dinâmica no solo (KHOSHRAVESH et al., 2011). Deve-se ressaltar que, de acordo com Otsuka e Ozeki (1990), não foram verificadas diferenças das propriedades químicas e físicas quando as águas foram submetidas a diferentes intensidades de força gerada pelo campo magnético.

Verificou-se que a relação água-solo-planta é alterada quando ocorre a irrigação com ATM. Amiri e Dadkhah (2006), Mostafazadeh-Fard et al., (2011) e Khoshravesh et al. (2011) verificaram que houve a redução da umidade do solo, facilitando deste modo a disponibilidade de água para as plantas. De acordo com Noran et al. (1995) e Mohmed (2013), a ATM favorece maior disponibilidade dos minerais no solo e reduz o potencial osmótico do solo, beneficiando a absorção de íons e consequentemente proporcionando maior desenvolvimento das plantas ou redução no volume de água aplicado.

A fitomassa verde aérea apresentou alta relação com o número de folhas, com o comportamento bem próximo em ambos os ciclos, verificando-se maior desenvolvimento quando irrigada com ATM. (FIGURA 3).



**FIGURA 3.** Modelos *fuzzy* e de regressão da fitomassa verde aérea de planta submetida em diferentes níveis de reposição hídrica. **fuzzy models and regression air green**

## **biomass plant subjected to different levels of water replacement and ATM (a) 1st cycle, (b) 2nd cycle; AC (c) 1st cycle and (d) the 2nd cycle.**

A partir das equações de regressão, foi possível inferir que os tratamentos submetidos à irrigação com ATM apresentaram maior desenvolvimento, sendo que a máxima fitomassa verde aérea foi de 366,49 g.planta<sup>-1</sup> irrigado com 91,67% da ETc (Figura 3a). Os tratamentos irrigados com AC apresentaram máximo acúmulo em torno de 309 g planta<sup>-1</sup>, com taxa de reposição de 113% da ETc (Figura 3c). Deve-se ressaltar que, para atingir a mesma produção máxima da alface irrigada com AC, seria necessário apenas uma taxa de reposição de 70% da ETc irrigada com ATM.

Ao analisar o 2º ciclo, observou-se que houve acúmulo de 405 g.planta<sup>-1</sup> quando irrigado a uma taxa de reposição de 90% da ETC e ATM (Figura 3b). Porém, quando submetido à irrigação com AC, verificou-se acúmulo de 259,86 g.planta<sup>-1</sup> com a taxa de reposição de 50%, constatando que houve incremento para a máxima produção de 50% da ETc.

Para a cultura do feijão, Moussa (2011) observou incremento significativo para a fitomassa fresca da planta e na produtividade utilizando irrigação com ATM, corroborando com o observado por Qados e Hozan (2010).

A irrigação, utilizando ATM, apresenta diversos benefícios como os observados na literatura, que compreendem desde o aumento de produtividade até mesmo na qualidade dos alimentos. Assim, foi verificado aumento significativo na produção das culturas do trigo (KORDAS, 2002), lentilha e ervilha (MARTINÉZ et al., 2009).

## **CONCLUSÕES**

O tratamento magnético da água resultou em aumento na produção da cultura da alface. Também, verificou-se que pelo desenvolvimento da planta, pode-se atingir a mesma produção máxima da alface irrigada com AC, com volume inferior com ATM, sendo que tal técnica pode alavancar a produção de alimentos e otimizar o uso da terra.

O modelo *fuzzy* apresentou um ajuste melhor quando comparado com os dados coletados a campo do que o modelo de regressão. A aplicação da lógica *fuzzy* pode ser uma ferramenta utilizada para a avaliação do comportamento de experimentos, pois de forma geral apresentou resultados mais precisos, pois os ajustes das curvas ficaram mais próximos dos dados observados que a regressão.

## **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 segundo autor (Processo 306964/2014-7) e de mestrado do primeiro autor (Processo 153415/2012-6), e a CAPES pela bolsa de doutorado do primeiro autor. Pelo suporte financeiro que permitiu a participação neste evento, a FAPEMIG e a FAPESP.

## **REFERÊNCIAS**

- AMIRI, M. C.; DADKHAH, A. A. On reduction in the surface tension of water due to magnetic treatment. **Colloids and Surfaces A**, v. 278, p. 252-255, 2006.
- BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C.; TONELLI, P. A. *Fuzzy* modelling in population dynamics. **Ecological Modelling**, v. 128, p. 27-33, 2000.
- 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.; DE LA ROSA DE SÁA, S.; SINOVA, B. A distance-based statistical analysis of *fuzzy* number-valued data. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 55, p. 1487-1501, 2014.
- CASTANHO, M. J. P.; MATEUS, R.P.; HEIN, K.D. *Fuzzy* model of *Drosophila* medio punctata population dynamics. **Ecological Modelling**, v. 287, p. 9-15, 2014.
- COPPI, R.; GIL, M.A.; KIERS, H. A. L. The *fuzzy* approach to statistical analysis
- 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.
- ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SORAES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. **Applied Energy**, v. 86, p. 299-309, 2009.
- FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/home/en/>> Acesso em: 20 mar. 2015.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the united Nation). **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements - FAO - Irrigation and drainage**. Local: FÉ, 1998. 56p.
- 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.
- HOZAYN, M.; QADOS, A. M. S. A. Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea. **Agriculture and biology journal of north America**, v.1, n. 5, p. 671-676, 2010.
- KHOSHRAVESH, M.; MOSTAFAZADEH-FARD, B.; MOUSAVI, S. F.; KIANI, A. R. Effects of magnetized water on the distribution pattern of soil water with respect to time in trickle irrigation. **Soil use management**, v. 27, n. 4, p. 515-522, 2011.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cm x 200cm.
- KORDAS, L. The Effect of Magnetic Field on Growth, Development and the Yield of Spring Wheat. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 11, n. 5, p. 527-530, 2002.
- LATTIN, J.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- LEVIDOW, L.; ZACCARIA, D.; MAIA, R.; VIVAS, E.; TODOROVIC, M.; SCARDIGNO, A. Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. **Agricultural Water Management**, v. 146, p. 84-94, 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.
- MARTÍNEZ, E.; FLÓREZ, M.; MAQUEDA, R.; CARBONELL, M. V.; AMAYA, J. M. Pea (*Pisum Sativum*, L.) and Lentil (*Lens culinaris*, Medik) Growth Stimulation Due to Exposure to 125 and 250 mT Stationary Fields. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 18, n. 4, p.657-663, 2009.
- MOHAMED, A. I. Effects of Magnetized Low Quality Water on Some Soil Properties and Plant Growth. **International journal of research in chemistry and environment**. v. 3, n. 2, p. 140-147, 2013.

- MOSTAFAZADEH-FARD, B.; KHOSHRAVESH, M.; MOUSAVI, S.F. E 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, p. 398-402, 2011.
- MOUSSA, H. R. The Impact of Magnetic Water Application for Improving Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Production, **New York Science Journal**, v. 4, n. 6, 2011.
- NORAN, R.; SHANI, U.; LIN, I. The effect of irrigation with magnetically Treated water on the translocation of Minerals in the soil. **Magnetic and Electrical Separation**, v. 7, p. 109-122, 1995.
- ONU - **Organizações das Nações Unidas**. 2014. Disponível em:<<http://www.onu.org.br/apesar-de-reducao-uma-em-cada-oito-pessoas-ainda-sofre-de-fome-cronica-no-mundo-diz-onu/>>. Acesso em: 15 mar. 2015.
- OTSUKA, I.; OZEKI, S. Does magnetic treatment of water change its properties? The **Journal of physical chemistry letters B**, v. 110, p. 1509-1512, 2006.
- PAGANO, M.; GAUVREAU, K. **Princípios de Bioestatística**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2012.
- PAPADOPOULOS, A.; KALIVAS, D.; HATZICHRISTOS, T. Decision support system for nitrogen fertilization using *fuzzy* theory. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 78, p. 130-139, 2011
- PINHEIRO, L. S. **Regressão polinomial conjunta na avaliação da sazonalidade da produção forrageira em clones intra-interespecíficos de Capim-elefante**. 2008. 54 f. Dissertação (Mestardo- Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Campos dos Goytacazes, RJ-2008.
- 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.; 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
- 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.
- ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications** CRC Press. 607p. 2010.
- SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 118, p. 977-980, 1992.
- SVIERCOSKI, R. F. **Matemática aplicada às ciências agrárias**. Minas Gerais: Editora UFV, 2011