

MODELAGEM FUZZY E ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA A CULTURA DA CENOURA SUBMETIDA EM DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

FERNANDO FERRARI PUTTI¹, LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO^{1,2},
CAMILA PIRES CREMASCO^{1,2}, ANTÔNIO EVALDO KLAR², ANDRÉ
RODRIGUES DOS REIS²

¹ FCA - UNESP - Univ Estadual Paulista, Campus de Botucatu (Rua Doutor José Barbosa de Barros, 1780 - CEP 18610-307, Botucatu - SP)

² CET - UNESP - Univ Estadual Paulista, Campus de Tupã (Av. Domingos da Costa Lopes, 780 - CEP 17602-496, Tupã-SP)

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: Devido ao alto volume gasto de água na agricultura fazem-se necessárias pesquisas que otimizem ou busquem formas de reduzir o volume de água. O objetivo do trabalho foi analisar os efeitos da variação das lâminas de irrigação, para a cultura da cenoura. O trabalho foi conduzido em Nitrossolo Vermelho e em casa e vegetação, no Delineamento em blocos casualizados, com 10 repetições. O esquema fatorial realizado foi com 5 tratamento, sendo as lâminas de reposição (25%, 50%, 75%, 100% e 125% da Evapotranspiração). Para real verificação do efeito das lâminas de irrigação foi realizado a elaboração de um modelo baseado em regras *fuzzy*, afim de demonstrar resultados em que a estatística clássica não apresenta. Para fitomassa verde do bulbo, houve um incremento para com o aumento das lâminas irrigação. Sendo que a lâmina de 90% da ETc apresentou o melhor rendimento frente a produção. Tal resultado também foi encontrado com o modelo baseado em regras *fuzzy*.

PALAVRAS-CHAVE: sistema baseado em regras fuzzy, Mandani, tensão, produção, água, stress hídrico.

FUZZY MODELING AND STATISTICAL ANALYSIS FOR THE CARROT CROP UNDER DIFFERENT IRRIGATION LEVELS

ABSTRACT: The high spending volume of water in agriculture is necessary research that improve ways to reduce the volume of water. The objective was to analyze the effects of changes in water depths to the carrot crop. The work was conducted in Red Nitrossolo and at home and vegetation, in a randomized block design with 10 repetitions. The factorial design was carried out with 5 treatment, and spare blades (25%, 50%, 75%, 100% and 125% of evapotranspiration). To check the actual effect of irrigation levels was developed a model based on fuzzy rules. For green bulb weights, there was an increase with the increase in the blade irrigation. Since the blades 90% Etc showed the best performance compared to production. This result was strengthened by the model based on fuzzy rules.

KEYWORDS: Fuzzy logic, irrigation, productivity, management.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a utilização do volume de água na agricultura vem gerando pesquisas para desenvolver métodos ou determinação de coeficientes de irrigação para otimizar o uso da água.

Assim, uma vertente para reduzir o gasto com água na agricultura é o manejo de irrigação em culturas, o qual tem a finalidade de informar ao produtor a lâminas de irrigação que apresentem o melhor benefício ao produtor sem reduzir a produtividade.

A irrigação apresenta inúmera vantagens ao produtor quando realizada de maneira correta. Stambouli et al. (2014) em seus estudos sobre a irrigação observaram que a evolução dos sistemas superficiais para os pressurizados vem ocorrendo nos últimos 20 anos, e está evolução apresentou significativa redução no volume de água. E a alavancagem do retorno financeiro para o produtor com o aumento de sua produtividade e qualidade dos produtos (IMTIYAZ et al., 2000; YOU et al., 2014).

Assim, para a determinação dos resultados utilizando manejo de irrigação os pesquisadores recorrem a modelos estatísticos clássicos. Porém as análises estatísticas são baseadas em teoria da probabilidade ou processos ao acaso e muitos experimentos são baseado em ambas as situações (ROSS, 2010).

Deste para resolver a questão da incerteza Zadeh (1973) desenvolveu a teoria baseada em regras *fuzzy* em que os limites dos conjuntos não são valores exatos e apresentam variações.

Deste modo, a teoria *fuzzy* vem sendo aplicada em casos complexos. Na determinação do abate de bovinos (GABRIEL FILHO et al., 2011), determinação do fator de potência (CREMASCO et al., 2010) e vitalidade de orquídea (PUTTI et al., 2014).

Para a determinação de crescimento de população é uns dados casos mais complexos nas ciências agrárias em que a matemática ou mesmo a estatística não consegue modelar tal fato. Castanho, et al. (2014) desenvolveram um modelo fuzzy na determinação do crescimento da população da *Drosophila mediopunctata*. Tais modelos também foram elaborados por Barros, et al. (2000), Bock and Salski (1998), Cheung et al., (2005) e Jafelice et al., (2011).

A modelagem fuzzy também é implementada para a estimação, no caso de Silva et al. (2014), utilizando-se de tal técnica foi possível estimar a produtividade trigo em função da dose de nitrogênio. Assim, devido a necessidade de otimizar o volume gasto com a irrigação este artigo teve como objetivo determinar a melhor lâmina de irrigação para a cultura da cenoura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado durante os meses de setembro a novembro de 2013, em um ambiente protegido situada no Departamento de Engenharia Rural da UNESP, Faculdade Ciências Agronômicas, Fazenda Experimental Lageado, localizada no município de Botucatu, São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22° 51' S, longitude 48° 26' W e altitude de 786 m. De acordo com a classificação de Köppen (KOPPEN e GEIGER, 1928), a região apresenta clima do tipo Cfa (Clima Subtropical Húmido). Os parâmetros climáticos foram registrados por uma estação meteorológica automática. Os detalhes climáticos ao longo do experimento podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros climáticos coletados durante a relação do experimento. **Climatic parameters collected during the relationship the experiment.**

Parâmetros		Época do experimento
Temperatura (°C)	Mínima	15,81±2,81
	Máxima	32,30±5,01
	Média	23,65±3,25
Umidade (%)	Mínima	25,00±14,8
	Máxima	78,00±11,0
	Média	52,50±11,9
Evaporação (mm)		309

O solo da casa de vegetação foi classificado de acordo com Carvalho et al. 2000 como Nitossolo Vermelho Distrófico Latossólico, apresentando moderada estrutura média/argilosa.

O solo utilizado apresentava seguintes características químicas: pH (CaCl₂) = 5,9; M.O.= 24 g dm⁻³; P (resina)= 191 mg dm⁻³; K= 4,8 mmolc dm⁻³; Ca= 68 mmolc dm⁻³; Mg= 25 mmolc dm⁻³; H+Al= 17 mmolc dm⁻³; SB= 67 mmolc dm⁻³; B=0,51 mmolc dm⁻³; Cu= 4,8 mmolc dm⁻³; Fe = 20 mmolc dm⁻³; Mn = 10,10 mmolc dm⁻³; Zn = 8 mmolc dm⁻³. CTC= 114 mmolc dm⁻³; V= 85%.

O solo foi preparado utilizando um trator, com uma enxada rotativa que revolveu uma camada superficial de aproximadamente 30 cm, depois delimitou-se os canteiros que foram levantados com enxada. O combate de plantas daninhas foi realizado manualmente quando necessário.

A semeadura foi efetuada diretamente no solo, sendo que o desbaste ocorreu aos 14 dias após a semeadura (DAS). O espaçamento adotado foi de 25 cm × 5 cm. As parcelas experimentais mediam 1,2m de largura por 3m de comprimento, totalizando 3,6m², com 4 linhas de plantio. As plantas das linhas laterais foram desconsiderada para avaliação, efeito bordadura, deste modo apenas as plantas localizadas nas linhas centrais foram consideradas.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com dez tratamentos em esquema fatorial 5 x 2 e dez repetições, sendo a repetição a planta. Os tratamentos foram constituídos das lâminas de irrigação correspondente a reposição de 25%, 50%, 75% 100% e 125% da evaporação da cultura (ET_c) e duas fontes de água, sendo uma convencional e outra tratada magneticamente.

Para a magnetização da água foi utilizado o equipamento Sylocymol Rural da empresa Timol. Assim no experimento foi implantado dois sistemas independentes de irrigação por gotejamento, a qual foi constituído de uma linha principal e as fitas gotejadoras eram inseridas diretamente, foram utilizadas as fitas do tipo Amandani, fabricado pela Petroísa Irrigações LTDA. A mangueira possuía espaçamento de 0,30 m entre gotejadores, sendo sua vazão média de 1,47Lh⁻¹, quando submetido a uma pressão de 10 m.c.a.

A irrigação foi realizada diariamente às 8h. O tempo de irrigação foi calculado com base na evaporação do tanque Classe A, assim sendo calculado pela equação,

$$Ti = 6.000 \times \frac{Kc \times Kp \times Eca \times Sl \times Sg \times TR}{Ei \times Vg}$$

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⁻¹), Sl é o espaçamento entre laterais (m), Sg é o espaçamento entre gotejadores (m), Ei é a eficiência de irrigação (%) e Vg é a vazão de gotejadores (L h⁻¹).

O cálculo da lâmina total de irrigação a ser aplicada foi a partir do método proposto por Snyder (1992), em que é dada a evaporação (K_p) pela seguinte equação:

O K_p será determinado de acordo com metodologia proposta Snyder (1992), pela seguinte equação,

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(b) - 0,000376 * V + 0,0045 * UR$$

em que, o K_p 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 (km dia^{-1}) e UR é a média da umidade relativa (%).

Foi realizado o teste de uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação, em que o procedimento adotado foi o proposto por Merriam e Keller (1978).

Os valores do K_c utilizados foram de acordo com a FAO 56 (1998), em que usa-se 0,6 no início, 1,15 na meia estação e 0,8 no final.

As variáveis analisadas foram diâmetro (DB), fitomassa verde (FMVB) e seca (FMSB) do bulbo.

Modelagem fuzzy

Para a criação de um sistema baseado em Lógica *Fuzzy*, foi necessário definir um processador de entrada (ou fuzzificador), um conjunto de regras linguísticas, um método de inferência *Fuzzy* (Mamdani) e um processador de saída (ou defuzzificador), que gera um número real como saída. A Figura 1 ilustrado o sistema baseado em Lógica *Fuzzy* proposto.

As variáveis de entrada do sistema baseado em Lógica *Fuzzy* proposto foi a “Lâmina de irrigação” Para a variável, foram utilizadas 5 funções de pertinência denominadas “L1”, “L2”, “L3”, “L4”, “L5”.

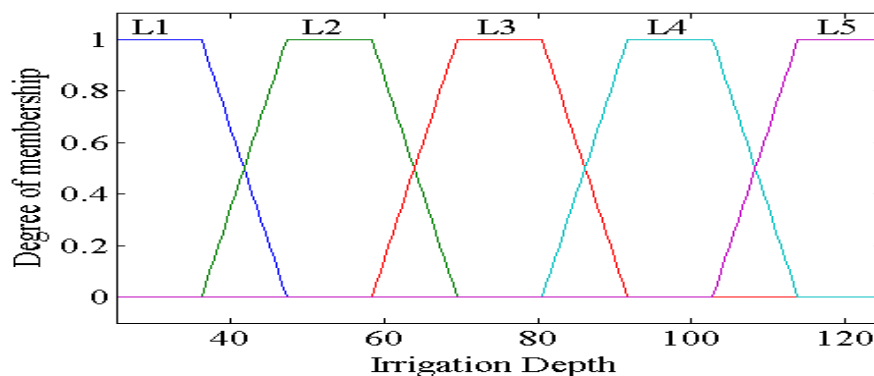


FIGURA 1. Funções de pertinência definidas para os conjuntos Fuzzy da variável de entrada Lâmina de Irrigação. **Membership functions defined for the Fuzzy sets Irrigation Blade input variable.**

Para as variáveis de saídas, foram definidas 5 funções de pertinência denominada “Muito Baixa” (MB), “Baixa” (B), “Media” (M), “Alta” (A) e “Muito Alta” (MA), definidas de acordo com a Figura 3. Para a construção dos pontos das funções, foram determinados os percentis de 11,11%.

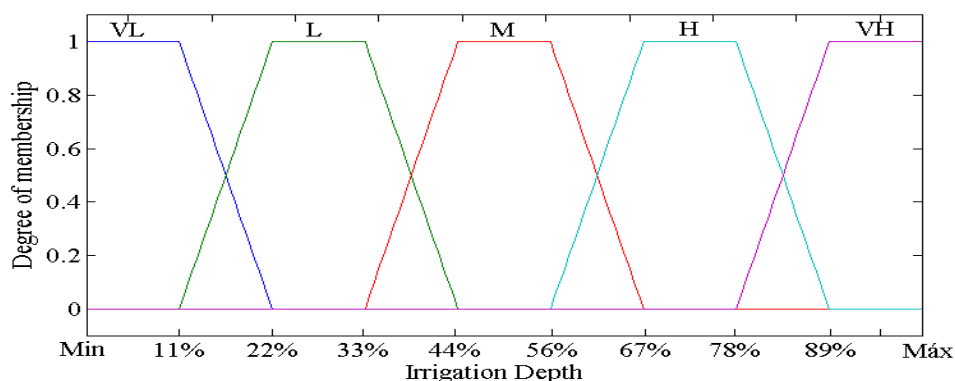


FIGURA 2. Funções de pertinência definidas para os conjuntos *Fuzzy* das variáveis de saída.
Membership functions defined for the *fuzzy* sets of output variables.

Para a obtenção da base de regras do sistema *Fuzzy*, considerou-se as 5 combinações entre os conjuntos *Fuzzy* das variáveis de entrada.

O método de inferência utilizado para o cálculo do valor numérico das variáveis de saída, de acordo com a Base de Regras, foi o de Mamdani.

Com o auxílio da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do software MATLAB® 7.0 foi possível criar um sistema baseado em Lógica *Fuzzy* computacionalmente, sendo também determinada o gráfico de resposta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A construção de base de regras foi baseada na metodologia desenvolvida, após a identificação do maior grau de pertinência do resultado foi possível identificar qual função de pertinência ele se encontra e assim elaborar a Tabela 2.

TABELA 2. Base de regras do sistema baseado em Lógica *Fuzzy*. **Basic rules based on *Fuzzy Logic* system.**

Variável de entrada	Variáveis de saída			
	Lâmina	DB	FMVB	FMSB
L1		B	B	M
L2		B	M	A
L3		A	A	A
L4		A	A	B
L5		M	M	B

A Tabela 2 apresenta a base de regras que foi desenvolvida para representar o comportamento das variáveis de saída em função das taxas de reposição, deste modo a leitura das regras se faz abaixo:

- Se (a Lâmina é “L1”) então (o DB é “B”, o FMVB é “B” e a FMSB é “M”);
- Se (a Lâmina é “L2”) então (o DB é “B”, o FMVB é “M” e a FMSB é “A”);
- Se (a Lâmina é “L3”) então (o DB é “A”, o FMVB é “A” e a FMSB é “A”);
- Se (a Lâmina é “L4”) então (o DB é “A”, o FMVB é “A” e a FMSB é “B”);
- Se (a Lâmina é “L5”) então (o DB é “M”, o FMVB é “M” e a FMSB é “B”).

No desenvolvimento do diâmetro do bulbo, verificou-se que o efeito das lâminas de irrigação apresentou influência (Figura 3).

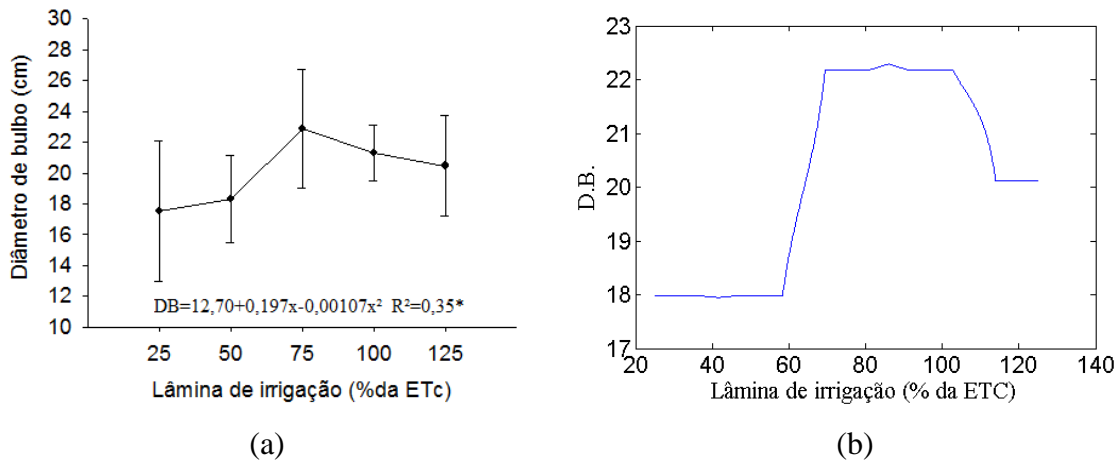


FIGURA 3. (a) Diâmetro de bulbo da cenoura submetido a diferentes taxas de reposição (% da ETC), (b) Modelagem *fuzzy* para o número médio de folhas para a cultura da cenoura. (a) **carrot bulb diameter under different turnover rates (% of Etc)**, (b) **Fuzzy modeling for the average number of sheets for the carrot crop.**

Observa-se que o diâmetro do bulbo apresentou incremento em função do aumento das lâminas de irrigação. Sendo que a lâmina ótima obtida foi de 92% da ETC.

Lima Junior et al. (2012) verificaram que as lâminas de irrigação influenciaram no desenvolvimento do diâmetro do bulbo, sendo que o maior diâmetro foi encontrado próximo a lâmina de 150% da ECA. Tais resultados não foram obtidos por Imtiyaz et al. (2000), em que a cenoura não apresentou diferença do diâmetro de bulbo em função das diferentes taxas de reposição.

Já o modelo desenvolvido a partir da teoria *fuzzy*, apresentou que até a lâmina de 60% da ETC o modelo não apresentou diferença no diâmetro. Porém, após esta lâmina observou um incremento, sendo que próximo a taxa de reposição de 100% da ETC verificou-se uma redução.

Na análise da fitomassa verde do bulbo, nota-se que as diferentes taxas de reposição apresentaram um efeito significativo no peso do bulbo (Figura 4).

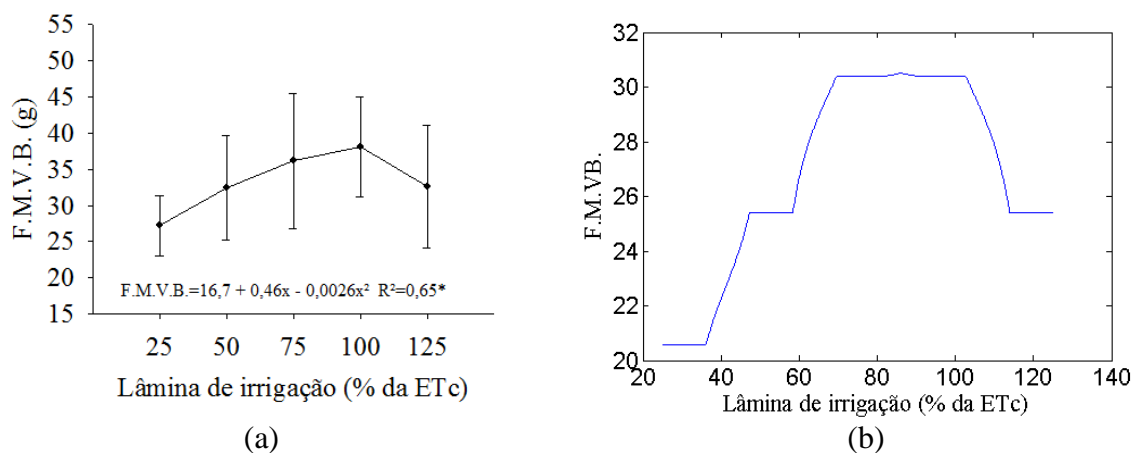


FIGURA 4. (a) Fitomassa verde do bulbo da cenoura submetido a diferentes taxas de reposição (% da ETC), (b) Modelagem *fuzzy* para a fitomassa verde do bulbo para a cultura da cenoura. (a) **phytomass green carrot subjected to different bulb replacement rates (% of Etc)**, (b) **Fuzzy modeling bulb for green biomass to carrot crop.**

Nota-se que a fitomassa verde do bulbo, sofreu influência em função da disponibilidade de água. Sendo que para os tratamentos com menores taxas de reposição, verificou-se as menores tensões no solo, assim entre tanto em um processo de stress hídrico que diretamente afeta o desenvolvido. Porém que para as taxas maiores, ocorreu saturamento do solo, assim dificultando a aeração, que também levou a redução da massa.

A máxima massa obtida pela cenoura em função da taxa de reposição ocorreu próximo a taxa de reposição de 88% da ETc. Tais resultados obtidos corroboram com os obtidos por Lima Junior et al. (2012), em que verificaram que altas tensões no solo provocaram reduções na massa da cenoura.

Silva et al. (2011) observaram que o aumento das taxas de reposição apresentou efeito linear no aumento da produtividade, chegando a máxima produção próximo a 180% da ETc.

A partir da análise estatística foi realizada o modelo baseado em regras fuzzy, onde o modelo apresentou que a partir da taxa de reposição de 75% até a de 100% da ETc, não apresentaram diferenças (Figura 4 FIGURA 4b). Porém analisando as figuras observa-se que o efeito das análises fuzzy e estatística são próximas.

A fitomassa seca do bulbo foi influenciada pelas lâminas de reposição (% da ETc) conforme ilustra a Figura 5.

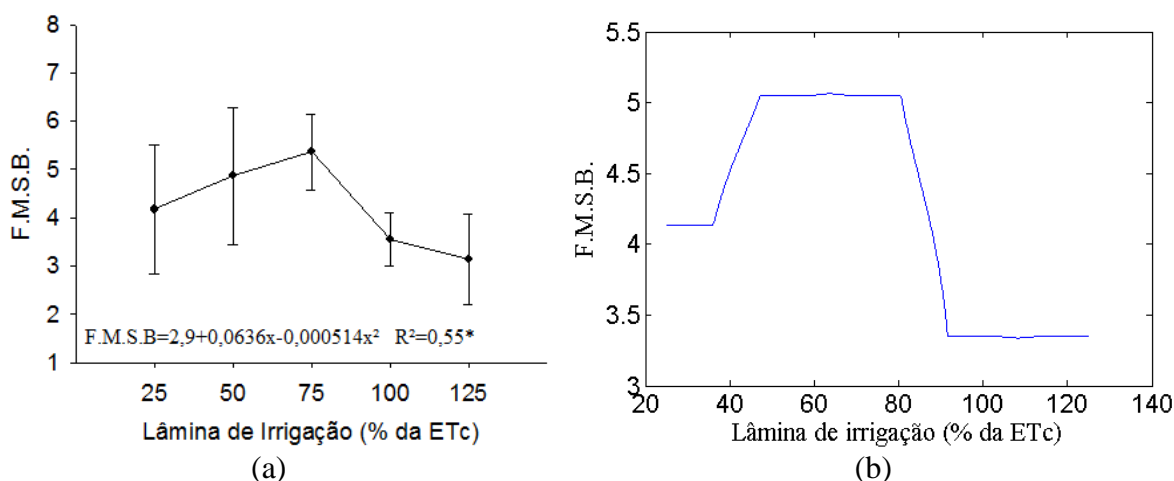


FIGURA 5. (a) Fitomassa seca do bulbo da cenoura submetido a diferentes taxas de reposição (% da ETc), (b) Modelagem fuzzy para a fitomassa seca do bulbo para a cultura da cenoura. **(a) Phytomass dry the carrot under different replacement rates bulb (% of ETc), (b) fuzzy modeling for dry bulb biomass for the carrot crop.**

Assim como foi observado para a fitomassa verde do bulbo, as baixas lâminas de reposição influenciaram no acúmulo de matéria seca, deste modo apresentou sua máxima massa em torno da lâmina de 61% da ETc.

Na Figura 5b foi desenvolvido o modelo baseado em regras fuzzy para analisar o comportamento da matéria seca em função das lâminas de irrigação. Nota-se que o modelo apresentou que não ocorre diferenças entre as lâminas de irrigação entre 40% a 90%, e após ocorrendo redução no valor. Assim verificando que em ambas as figuras o comportamento é muito próximo.

CONCLUSÕES

A irrigação para a cultura da cenoura apresentou para aérea um efeito polinomial de segundo grau, em que os maiores valores foram obtidos com a lâmina de 125% da ETc. Na análise do bulbo verificou que a máxima produção foi obtida com a lâmina em torno de 90%, assim podendo ser reduzido o volume gasto no cultivo da cenoura. O modelo *fuzzy* para todos as variáveis que apresentaram efeito significativo apresentou um resultado com maior acurácia, assim podendo observar regiões que a estatística clássica não representa com alta precisão. O presente artigo apresenta um caráter inédito frente a apresentar uma metodologia para analisar experimentos agrícolas utilizando sistemas baseado em regras *fuzzy*.

REFERÊNCIAS

BARROS, L., BASSANEZI, R., TONELLI, P. Fuzzy modelling in population dynamics. **Ecological Modelling**, v.128, p.27-33, 2000.

BOCK, W.; SALSKI, A. A fuzzy knowledge-based model of population dynamics of the yellow-necked mouse (*Apodemus flavicollis*) in a beech forest. **Ecological Modelling**, v.108, p. 155-161, 1998.

CHEUNG, W. W., PITCHER, T. J.; PAULY, D. A fuzzy logic expert system to estimate intrinsic extinction vulnerabilities of marine fishes to fishing. **Biological Conservation**, v.124, n.1, p.97-111, 2005.

CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CATANEO, A. Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores *fuzzy* para avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Energia na Agricultura**, v. 25, p.21-39, 2010.

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, p.813-825, 2011.

IMTIYAZ, N. P.;MANASE, S. K.; CHENDO, K.; MOTHABI, E. O. Yield and economic return of vegetable crops under variable irrigation **Irrigation Science**, v.19, p.87-93, 2000.

JAFELICE, R., ALMEIDA, C., MEYER, J., VASCONCELOS, H., Fuzzy parameters in a partial differential equation model for population dispersal of leaf-cutting ants **Nonlinear Analysis: Real World Application**, v.12, p.3397-3412, 2011.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha. Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LIMA JUNIOR, J. A. L.; PEREIRA, G. M.; GEISENHOF, L. O.; DA SILVA, W. G.; BOAS, R. C. V.; SOUZA, R. J., Desempenho de cultivares de cenoura em função da água no solo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.16, n.5, p.514-520, 2012.

PUTTI, F.F., GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P., Sistema Baseado em Regras Fuzzy para Avaliação da Vitalidade da Espécie *Catasetum Fimbriatum* (Orchidacea). In. Anais do Congresso de Matemática Aplicada e Computacional. São Paulo, pp. 522-528.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. Willy, United Kingdom, 2010.

SILVA, A. A. V., SILVA, I. A. F., TEIXEIRA FILHO, M. C. M., BUZZETTI, S.; TEIXEIRA, M. C. M. Estimativa da produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando modelagem neuro *fuzzy*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n.2, p.180-187, 2014.

SILVA, V. J.; TEODORO, R. E. F.; CARVALHO, H. P.; MARTINS, A. D.; LUZ, J. M. Q. Response of the application of carrot different irrigation. **Bioscience. Journal**, v.27, n.6, p. 954-963, 2011.

YOU, L. XIE, H., WOOD-SICHTA, U., GUO, Z., WANG, L., Irrigation potential and investment return in Kenya. **Food Policy**, v.47, p.34-45, 2014.

ZADEH, L.A., Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. **IEEE Transactions of Systems, Man and Cybernetics**, v.2, p.28-44, 1973.