

## RESSALVA

Atendendo solicitação do autor ,  
o texto completo desta dissertação  
será disponibilizado somente a partir  
de 28/09/2020.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Botucatu



**ANA CLÁUDIA MARASSÁ ROZA BOSO**

**MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL NA AVALIAÇÃO DO USO DE ÁGUA  
MAGNETIZADA NA IRRIGAÇÃO DO RABANETE UTILIZANDO O SISTEMA MAMDANI**

**Botucatu**

**2018**

ANA CLÁUDIA MARASSA ROZA BOSO

MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL NA AVALIAÇÃO DO USO DE ÁGUA  
MAGNETIZADA NA IRRIGAÇÃO DO RABANETE UTILIZANDO O SISTEMA MAMDANI

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Camila Pires Cremasco Gabriel

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

B744m Boso, Ana Cláudia Marassa Roza, 1987-  
Modelagem matemática e computacional na avaliação do uso de água magnetizada na irrigação do rabanete utilizando o sistema Mamdani / Ana Cláudia Marassa Roza Boso.  
- Botucatu: [s.n.], 2018  
106 p.: ils. color., grafs. color., tabs.  
  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2018  
Orientador: Camila Pires Cremasco Gabriel  
Inclui bibliografia  
  
1. Rabanete - Produtividade. 2. Rabanete - Irrigação. 3. Lógica difusa. 4. Modelos matemáticos. I. Gabriel, Camila Pires Cremasco. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

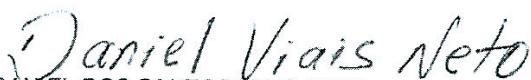
Título: **“MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL NA AVALIAÇÃO DO USO DE ÁGUA MAGNETIZADA NA IRRIGAÇÃO DO RABANETE UTILIZANDO O SISTEMA MAMDANI”**

AUTORA: ANA CLAUDIA MARASSÁ ROZA BOSO  
ORIENTADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL  
Coordenadoria do Curso de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã/SP



Prof. Dr. DANIEL DOS SANTOS VIAIS NETO  
Câmpus de Presidente Prudente / Faculdade de Tecnologia - FATEC



Prof. Dr. RAÚL ANDRÉS MARTINEZ URIBE  
Coordenadoria do Curso de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã/SP

Botucatu, 28 de setembro de 2018.

***Dedico,***

*Aos meus pais, Ana Maria e Juraci, ao meu irmão, Rodolfo, ao meu marido, Renato, e ao meu filho Miguel pelo apoio, paciência e incentivo de realizar esse desafio.*

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço à DEUS, por permitir realizar essa etapa acadêmica tão grandiosa em minha vida e por colocar pessoas especiais ao meu lado durante esse processo.

Aos meus pais, Ana Maria e Juraci, pelo carinho e auxílio na concretização desse desafio. Sempre acreditando em minha capacidade. Meu infinito agradecimento.

Ao meu querido marido, Renato, por ser tão importante em minha vida. Sempre incentivando os meus sonhos e acreditando em meu potencial. Seu companheirismo, amizade, apoio, paciência, alegria e amor, permitiram a efetivação desse trabalho.

Ao meu Irmão Rodolfo, que sempre me incentivou a prosseguir nas escolhas da minha vida.

A minha sogra, Maria de Fátima e ao meu sogro Manoel, pelo apoio e suporte na realização desse sonho.

Aos meus amigos e orientadores Prof.<sup>a</sup> Dr. Camila Pires Cremasco Gabriel e Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho, por acreditar na minha capacidade e por me orientar, incentivar e inserir no meio acadêmico, no decorrer da formulação da dissertação e de redações científicas.

Aos meus amigos professores, funcionários e Diretores da E. E. Prof. Altino Arantes e E. E. Aristides Rodrigues Simões, por se tornarem minha segunda família, demonstrando apoio, compreensão, convívio e companheirismo durante o desenvolvimento da pesquisa de Mestrado.

Aos meus alunos, pela amizade, apoio, paciência e alegria, que possibilitaram eu atingir a conclusão desse trabalho e etapa da minha vida.

Em especial, a minha amiga Ana Estela, que me incentivou e auxiliou na formulação do presente trabalho.

## RESUMO

Este trabalho teve por objetivo estudar a produtividade da cultura do Rabanete, irrigada com dois tipos de tratamento: água convencional (AC) e água tratada magneticamente (ATM), utilizando modelos *Fuzzy* e estatísticos. Para isso, o estudo foi dividido em dois capítulos: o primeiro descreve os resultados obtidos com a produtividade da cultura do rabanete, utilizando água convencional e água tratada magneticamente para irrigação. Houve a comparação entre os modelos *Fuzzy* (triangular e gaussiano) com o modelo estatístico, conforme a variável de produtividade fitomassa fresca da raiz tuberosa (FFRT), e a comparação entre os resultados obtidos com o tipo de tratamento irrigado. O coeficiente de determinação indicam que os modelos *Fuzzy* demonstraram melhores resultados da produtividade da cultura, sendo que o modelo *Fuzzy* gaussiano demonstrou a realidade agrônômica com maior eficiência. A utilização da ATM (Água Tratada Magneticamente) permite obter melhores resultados da produtividade da cultura, quando analisada a variável FFRT e a eficiência dos modelos *Fuzzy*, em apresentar os dados de forma agrônômica, principalmente o modelo *Fuzzy* gaussiano. O segundo capítulo apresenta os resultados alcançados com o desenvolvimento das variáveis biométricas da cultura do Rabanete, quando irrigada com água convencional e magnetizada. Para isso foi utilizada a modelagem *Fuzzy* e a modelagem estatística, para explicar o comportamento das variáveis biômetras. Em seguida foi realizada a comparação dos modelos desenvolvidos, e verificou-se que o modelo *Fuzzy* apresentou maior eficiência quanto ao comportamento agrônômico da planta. Posteriormente, foi realizado a comparação dos resultados obtidos, nas variáveis biométrica, com tratamento AC (água convencional) e ATM. Ao realizar tal comparação, verificou-se a eficácia de se utilizar a ATM para obtenção da produtividade da cultura do Rabanete. De modo geral a confecção dos modelos *Fuzzy* demonstram que as variáveis biométricas da cultura e a produtividade do rabanete alcançaram resultado satisfatórios, bem como a utilização da água tratada magneticamente na irrigação de culturas. Além disso, as modelagens matemática confeccionadas no presente trabalho, podem ser empregadas em análises de diversas culturas.



**Palavras – chave:** Produtividade. Lógica difusa. Variáveis biométricas. Modelos matemáticos.

## ABSTRACT

The current study aimed to study the productivity of the Radish culture, irrigated with two types of treatment: conventional water (AC) and magnetically treated water (ATM), by means of *Fuzzy's* and statistical models. For this, the study was divided in two chapters: the first one describes the results obtained with the productivity of the radish culture, using conventional water and magnetically treated water for irrigation. The *Fuzzy's* (triangular and Gaussian) models were compared with the statistical model, according to the biometric fresh tuberous root biomass (FFRT), and the comparison between the results obtained with the type of irrigated treatment. The coefficient of determination indicates that the *Fuzzy's* models showed better results of the crop productivity, and the Gaussian *Fuzzy's* model showed the agronomic reality with greater efficiency. The use of ATM (Magnetically Treated Water) allows better results of crop productivity, when FFRT variable and *Fuzzy's* models efficiency, to present the data in agronomic form, mainly the Gaussian *Fuzzy's* model. The second chapter presents the results obtained with the development of the biometric variables of the culture of the Radish, when irrigated with conventional and magnetized water. *Fuzzy's* modeling and statistical modeling were used to explain the behavior of biometric variables. Afterwards, a comparison of the developed models was performed, and verified that the *Fuzzy's* model presented with greater efficiency the agronomic behavior of the plant. Afterwards, the results obtained were compared in the biometric variables, with AC and ATM treatment. In making such a comparison, it was verified the effectiveness of using ATM to obtain productivity of the Radish culture. In general, the preparation of the *Fuzzy's* models shows that the biometric variables of the crop and the productivity of the radish reached satisfactory results, as well as the using of magnetically treated water in crop's irrigation. Besides that, the math modeling presented in this paper can be used in analyses of different crops

**Keywords:** productivity; diffuse logic; biometric variables; mathematical models.

## LISTADE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Análise química de macronutrientes e micronutrientes, para o solo do experimento realizado nas dependência da Fazenda Lageado – Botucatu/SP .....	29
<b>Tabela 2</b> – Parâmetros climáticos durante o período do experimento do cultivo da cultura do Rabanete, para região de Botucatu-SP.....	30
<b>Tabela 3</b> – Delimitadores das variáveis de entrada triangulares.....	37
<b>Tabela 4</b> – Delimitadores das variáveis de entrada Gaussianas .....	38
<b>Tabela 5</b> – Características dos delimitadores para a variável de saída do sistema baseado em regra <i>Fuzzy</i> , com funções de pertinência triangular e Gaussiana .....	38
<b>Tabela 6</b> – Características dos Conjuntos <i>fuzzy</i> , entrada e saída, com pontos de grau de pertinência 1,00.....	39
<b>Tabela 7</b> – Delimitadores das funções de pertinência de saída, para a variável FFRT, da cultura do Rabanete, irrigado com AC. ....	47
<b>Tabela 8</b> – Base de regra para os modelos <i>Fuzzy</i> , com funções de pertinência triangular e Gaussiana. ....	47
<b>Tabela 9</b> – Síntese da validação do modelo <i>fuzzy</i> nas funções triangulares e Gaussianas. ....	48
<b>Tabela 10</b> – Delimitadores das funções de pertinência de saída, para a variável FFRT, da cultura do Rabanete, irrigado com ATM.....	50
<b>Tabela 11</b> – Base de regra para os modelos <i>Fuzzy</i> , com funções de pertinência triangular e Gaussiana. ....	51
<b>Tabela 12</b> – Síntese da validação do modelo <i>Fuzzy</i> nas funções triangulares e gaussianas.....	51
<b>Tabela 13</b> – Delimitadores das variáveis de entrada triangulares.....	68
<b>Tabela 14</b> – Delimitadores das variáveis de entrada Gaussianas .....	68
<b>Tabela 15</b> – Características dos delimitadores para a variável de saída do sistema baseado em regra <i>Fuzzy</i> , com funções de pertinência triangular e Gaussiana .....	69
<b>Tabela 16</b> .Delimitadores das funções de pertinência de saída, tipo triangular, para as variáveis biométricas da cultura do Rabanete, irrigado com AC .....	77
<b>Tabela 17</b> – Base de regra do SBRF, para a cultura do Rabanete, irrigado com água convencional .....	77
<b>Tabela 18</b> – Validação do modelo <i>Fuzzy</i> para as variáveis de saída da cultura do Rabanete, irrigado com água convencional. ....	78

<b>Tabela 19</b> – Delimitadores das funções de pertinência de saída, tipo triangular, para as variáveis biométricas da cultura do Rabanete, irrigado com ATM .....	85
<b>Tabela 20</b> – Base de regra do SBRF da cultura do Rabanete, irrigada com água tratada magneticamente .....	86
<b>Tabela 21</b> – Validação dos modelo Fuzzy para as variáveis de saída da cultura do Rabanete, irrigado com ATM. ....	87
<b>Tabela 22</b> – Correlações entre as variáveis de saída da cultura do Rabanete, tratada com água convencional. ....	91
<b>Tabela 23</b> – Correlações entre as variáveis biométrica cultura do Rabanete irrigada com ATM .....	92
<b>Tabela 24</b> – Análise de agrupamento das variáveis biométricas de saída do Rabanete .....	94
<b>Tabela 25</b> – Análise de agrupamento das variáveis biométricas da cultura do Rabanete irrigada com ATM .....	96
<b>Tabela 26</b> – Análises das médias das variáveis biométricas do Rabanete para os diferentes tipos de água.....	96

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Características de uma função de pertinência triangular.....	33
<b>Figura 2</b> – Características da função de pertinência Gaussiana .....	34
<b>Figura 3</b> – SBRF de avaliação da produtividade da cultura do rabanete irrigado com água convencional (AC), com funções de pertinência triangulares. ....	34
<b>Figura 4</b> – SBRF de avaliação da produtividade da cultura do rabanete irrigado com água convencional (AC), com funções de pertinência gaussiana. ....	34
<b>Figura 5</b> – SBRF de avaliação da produtividade da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente (ATM), com funções de pertinência triangulares.....	35
<b>Figura 6</b> – SBRF de avaliação da produtividade da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente (ATM), com funções de pertinência gaussiana. ....	35
<b>Figura 7</b> – Funções de pertinência triangulares das variáveis de entrada da cultura do Rabanete.....	36
<b>Figura 8</b> – Funções de pertinência Gaussianas das variáveis de entrada desenvolvida para cultura do Rabanete .....	36
<b>Figura 9</b> – Método de inferência de Mamdani .....	40
<b>Figura 10</b> – Funções de pertinência triangulares para a variável de saída (fitomassa fresca da raiz tuberosa), para o tratamento com irrigação com tipo de água convencional. ....	47
<b>Figura 11</b> – Comparação entre as função resposta (Triangulares/Gaussianas), para o cultivo do Rabanete, irrigado com água convencional, sobre a variável FFRT. ....	49
<b>Figura 12</b> – Função de pertinência triangular para a variável FFRT da cultura do Rabanete irrigada com ATM.....	50
<b>Figura 13</b> – Comparação entre as funções de resposta (Triangulares/Gaussianas) para modelo <i>Fuzzy</i> , na produtividade da cultura do rabanete, irrigado com ATM.....	52
<b>Figura 14</b> – SBRF de avaliação das variáveis biométricas da cultura do rabanete irrigado com água convencional (AC). ....	66
<b>Figura 15</b> – SBRF de avaliação das variáveis biométricas da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente (ATM). ....	66
<b>Figura 16</b> – Funções de pertinência das variáveis de entrada (lâmina de irrigação), para a cultura do Rabanete, no tratamento ATM e AC .....	67
<b>Figura 17</b> – Funções de pertinência de saída para as variáveis biométricas da cultura do Rabanete, para o tratamento AC.....	74

<b>Figura 18</b> – Comparação entre os modelos da função resposta para as variáveis biométricas da cultura do Rabanete, irrigado com água convencional.....	80
<b>Figura 19</b> – Funções de pertinência de saída para as variáveis biométricas da cultura do Rabanete, para o tratamento AC.....	83
<b>Figura 20</b> – Comparação da função resposta, dos modelos propostos, para as variáveis biométricas da cultura do Rabanete, irrigado com ATM.....	88
<b>Figura 21</b> – Dendograma das variáveis biométrica de saída cultura do Rabanete, com tratamento convencional.....	93
<b>Figura 22</b> – Dendograma das variáveis biométricas da cultura do Rabanete irrigada com ATM. ....	95

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	19
<b>CAPÍTULO 1 - MODELAGEM MATEMÁTICA DA PRODUTIVIDADE DO RABANETE SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE UTILIZANDO SISTEMA BASEADO EM REGRAS FUZZY TIPO MAMDANI</b> .....	23
1.1 INTRODUÇÃO.....	25
1.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	29
1.2.1 Descrição do experimento .....	29
1.2.2 Método de Modelagem <i>fuzzy</i> .....	32
1.2.2.1 Método de construção dos conjuntos <i>Fuzzy</i> das variáveis de entrada.....	36
1.2.2.2 Método de construção dos conjuntos <i>Fuzzy</i> das variáveis de saída .....	38
1.2.2.3 Método de elaboração da base de regras .....	39
1.2.2.4 Método de Inferência de Mamdani e defuzzificação.....	40
1.2.3 <i>Softwares</i> utilizados.....	42
1.2.4 Análise de Regressão.....	43
1.2.5 Teste de ajustamento de modelos.....	44
1.2.5.1 Teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) .....	44
1.2.5.2 Coeficiente de determinação ( <b>R<sup>2</sup></b> ) .....	45
1.2.5.3 Desvio do quadrado médio da raiz ( <b>RMSE</b> ).....	45
1.2.5.4 Erro quadrado médio da raiz ( <b>MAE</b> ).....	46
1.3.1 Sistema baseado em regras Fuzzy da produtividade do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação com água convencional aos 35 DAT.....	47
1.3.2 Sistema baseado em regras <i>Fuzzy</i> da produtividade do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação com água tratada magneticamente aos 35 DAT .....	50
1.4 CONCLUSÃO .....	53
REFERÊNCIAS.....	54
<b>CAPÍTULO 2 - MODELAGEM FUZZY NA AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS DO RABANETE UTILIZANDO TRATAMENTO COM ÁGUA CONVENCIONAL E MAGNETIZADA</b> .....	60
2.1 INTRODUÇÃO.....	61

2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	65
2.2.1	Método de modelagem <i>Fuzzy</i> .....	65
2.2.1.1	Método de construção dos conjuntos <i>Fuzzy</i> das variáveis de entrada .....	67
2.2.1.2	Método de construção dos conjuntos <i>Fuzzy</i> das variáveis de saída.....	69
2.2.1.3	Método de elaboração da base de regras.....	69
2.2.2	Método de determinação de coeficiente de correlação .....	70
2.2.3	Método de análise de agrupamentos de dados .....	71
2.2.4	Método de análise de variância.....	72
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	73
2.3.2	Sistema baseado em regras <i>Fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação com água tratada magneticamente aos 35 DAT .....	82
2.3.3	Análise das relações entre as variáveis biométricas e de produtividade .....	90
2.3.3.1	Análise de correlação entre as variáveis biométricas .....	90
2.3.3.2	Análise de agrupamento de variáveis .....	92
2.3.3.3	Análise de variância (ANOVA).....	96
2.4	CONCLUSÃO .....	98
	REFERÊNCIAS .....	98
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	103
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	105



## CAPÍTULO 1

### MODELAGEM MATEMÁTICA DA PRODUTIVIDADE DO RABANETE SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE UTILIZANDO SISTEMA BASEADO EM REGRAS *FUZZY* TIPO MAMDANI

Ana Cláudia Marassá Roza Boso

Camila Pires Cremasco Gabriel

#### RESUMO

A produtividade de uma cultura está relacionada com a demanda de água inserida em seu desenvolvimento. A mensuração da água influencia diretamente nos custos finais da produção da cultura para os produtores agrícolas. Neste sentido, pesquisas científicas são desenvolvidas na intenção de otimizar o uso consciente de água, principalmente na área da irrigação. Com a finalidade de proporcionar maior produtividade da cultura, com o menor uso hídrico, o presente trabalho teve por objetivo analisar e avaliar os efeitos gerados pela utilização da água convencional e magnetizada, na produtividade da cultura do Rabanete em diferentes níveis de lâminas de irrigação (25%, 50%, 75%, 100% e 1225%), baseado na evapotranspiração da cultura, com aplicação da Lógica *Fuzzy*. Deste modo foi realizado um experimento no Departamento de Engenharia Rural da UNESP – Faculdade de Ciências Agrônomicas em Botucatu/SP, onde foi cultivado a cultura do Rabanete, com avaliações da variável fitomassa fresca da raiz tuberosa (FFRT), que descreve a produtividade da cultura analisada. Para comprovação dos resultados experimentais e demonstração da produtividade da cultura, foram adotadas duas metodologias de análises: a primeira foi desenvolvida por meio de um sistema baseado em Lógica *Fuzzy*, composta por variáveis de entrada (*Lâminas de irrigação*) e variável de saída (FFRT), no ponto de colheitas (no 35 *DAS* – Dias após a semeadura); a segunda metodologia foi confeccionada com a utilização de um modelo estatístico, baseado na análise de regressão. Analisando os resultados obtidos, com os dois modelos confeccionados, pode-se inferir que a modelagem *Fuzzy* apresentou melhor ajuste dos dados, com redução do erro quadrado médio e maior coeficiente de correlação,

quando comparado com o modelo estatístico desenvolvido. Também se observou que a modelagem *Fuzzy* possibilitou demonstração, de forma mais eficiente, a produção real da cultura, e que o emprego da água tratada magneticamente (ATM) na irrigação, beneficiou a qualidade e a produtividade da cultura analisada, em níveis de lâminas inferiores a 100% da ET<sub>c</sub> (Evapotranspiração de Cultura).

**Palavras-chave:** Eficiência. Lógica *Fuzzy*. Irrigação; Análise estatística.

### ABSTRACT

The productivity of a crop is related to the demand of water inserted in its development. Measuring water directly influences the final costs of agricultural production for farmers. In this sense, scientific research is developed with the purpose of optimizing the conscious use of water, especially in the area of irrigation. The objective of this work was to analyze and evaluate the effects generated by the use of conventional and magnetized water on radish crop productivity in different irrigation slides (25%, 50%, 75%, 100% and 1225%). , based on evapotranspiration of the crop, with application of the *fuzzy's* Logic. An experiment was carried out in the Department of Rural Engineering of UNESP - Faculty of Agronomic Sciences of Botucatu / SP, where the culture of radish was cultivated, with evaluation of the fresh tuberous root phytomass (FFRT), which describes the productivity of the analyzed crop. In order to prove the experimental results and to demonstrate the crop productivity, two methodologies were used: the first one was developed through a system based on *Fuzzy's* Logic, composed of input variables (irrigation blades) and output variable (FFRT), at the point of harvest (at 35 DAS - Days after sowing); the second methodology was done using a statistical model, based on regression analysis. Analyzing the obtained results, with the two models, it can be inferred that the *Fuzzy's* model presented a better adjustment of the data, with reduction of the mean square error and higher coefficient of correlation, when compared with the statistical model developed. It was also observed that the *Fuzzy's* modeling allowed a more efficient demonstration of the actual production of the crop, and that the use of the magnetically treated water (ATM) in the irrigation, benefited the quality and productivity of the analyzed crop, in lower levels of leaves to 100 % ET<sub>c</sub> (Evapotranspiration of Culture).

curvatura, o modelo *Fuzzy* com funções de pertinência Gaussiana foi superior, se comparado com o modelo *Fuzzy* com funções triangulares.

A utilização do modelo *Fuzzy* com funções Gaussianas torna um grande auxiliar na tomada, no ponto de vista agrônomo, pois o modelo com funções triangulares tende a apresentar picos de oscilações dos dados analisados. Tais picos não são recomendados para representação de fenômenos naturais, sendo assim necessário o descarte da sua utilização.

Analisando a utilização dos dois tipos de água, a lâmina de irrigação de 100% é eficiente para a variável FFRT. No entanto, a média de produtividade da lâmina de 100%, nos dois tipos de tratamento, demonstra diferença significativa. O desenvolvimento, com tratamento AC, a produtividade foi de 31,9 g, contra 37,2 g produzidos pela utilização da ATM. Esse aumento de produtividade está relacionado com a reorganização das moléculas da água, quando exposta ao campo magnético

Destaca-se ainda que a lâmina de 125% foi superior à lâmina de 100%, corroborando com os resultados apresentados em Putti et al. (2014) na aplicação da ATM no cultivo da cenoura. Os autores verificaram um aumento no incremento da raiz tuberosa de 22% e 14%, na utilização das lâminas de 50% e 125%, respectivamente, da utilização da ATM, quando comparado à eficiência do tratamento convencional

## 1.4 CONCLUSÃO

As modelagens *Fuzzy* desenvolvidas foram capazes de apresentar o crescimento e estimar a produtividade da cultura, relacionada com a variável fitomassa fresca da raiz tuberosa, com maior eficiência quando realizada a comparação com o modelo estatístico confeccionado.

Embora a modelagem *Fuzzy*, com funções de pertinência triangulares, tenha apresentado melhores resultados na validação do modelo, a modelagem *Fuzzy*, com função de pertinência Gaussiana, demonstrou ser mais eficiente na representação da realidade agrônoma.

Verificado o desempenho da modelagem *Fuzzy* na interpretação e na estimativa dos dados, justifica-se sua recomendação para os produtores agrícolas, nas tomadas de decisões.

A lâmina de 100% demonstrou sua eficiência nos dois tratamentos de irrigação, no entanto a utilização da água magnetizada apresentou melhor efetividade no incremento da variável FFRT, em relação ao tipo de tratamento de irrigação utilizado. Com isso recomenda-se a incorporação da ATM na irrigação de culturas.

## REFERÊNCIAS

AL-OGAIDI, A. A. M. et al. The influence of magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. **Agricultural Water Management**, Palmerston North, MW, v. 180, part A, p. 70-77, jan 2017.

AZEVEDO, L. P.; SAAD, J. C. C. Uso de dois espaçamentos entre gotejadores na mesma linha lateral e seus efeitos sobre a formação do bulbo molhado no solo e parâmetros físicos de rabanete. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 148-167, 2012.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. **Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática**. 2. ed. Campinas: UNICAM/IMECC, 2010.

BEIGUELMAN, B. **Curso de bioestatística básica**. 4. ed. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1996.

BENINI, L. C. Uma introdução à teoria dos conjuntos *fuzzy*. In: Congresso Brasileiro de Sistemas *fuzzy*, 2., 2012, Natal. **Anais...**, São Carlos: SBMAC, 2012.

BENINI, L. C.; MENEGUETE JR, M. Uma abordagem para modelagem de dados com o uso de sistemas *Neuro-fuzzy*: aplicações geoespaciais. **Notas em matemática aplicada**, São Carlos, v. 43, p. 88, 2009. Disponível em <<http://www.sbmac.org.br/boletim/arquivos2009/Volume-43.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2017.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, 1996. 596 p.

BREGONCI, I. S. et al. Desenvolvimento do sistema radicular do rabanete em condição de estresse hídrico. **IDESIA (Chile)**, Arica, v. 26, n. 1, p. 33-38, jan./abr. 2008.

BRUNI A. L. **Estatística aplicada à gestão empresarial**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CARDOSO, A. I. I.; HIRAKI, H. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 328-331, 2001.

CASSELLA, G. **Inferência estatística**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

CORTEZ, J. W. M. **Esterco de bovino e nitrogênio na cultura de rabanete**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

CHOUERI, M. **Modelagem fuzzy para avaliação do desenvolvimento da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente sem estresse hídrico**. 2018. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento)-Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Tupã, 2018.

CREMASCO, C. P. et al. Resposta da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente e convencional. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 44., 2015, São Pedro. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. p. 1-9.

CREMASCO, C. P. et al. Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores *fuzzy* para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 21-39, 2010.

CREMASCO, C. P. **Aplicação da lógica fuzzy para avaliação do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de uma empresa de avicultura de postura**. 2008. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

DANTAS, A. E. A. et al. Produção de rabanete (*Raphanus Sativus L.*) sob diferentes níveis e fontes de fertilizantes orgânicos. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2015, Fortaleza, **Anais...** Jaboticabal, SP: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. p. 1-9.

DEYVER, B. **Plataforma computacional fuzzy para avaliação nos estágios do tomateiro dos efeitos da irrigação e salinidade da água**. 2016. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento)-Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Tupã, 2016.

DUTRA, M. et al. Avaliação produtiva de rabanete *Raphanus Sativus L.* submetido a preparados homeopáticos de tiririca *Cyperus rotundus*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Fortaleza, v. 9, n. 2, p. 151-159, set. 2014.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Produção de informação, 2006. 286 p.

EMBRAPA. **Hortaliças em revista**: importância nutricional das hortaliças. Brasília, DF: Embrapa hortaliças, 2012. 16 p.

FAO. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 56 p.

FILGEUIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. rev. e ampl. Viçosa: UFV, 2007. 421 p.

- FOX, D. G. Judging Air Quality Model Performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 62, p. 599-609, 1981.
- GABRIEL FILHO, L. R. A. **Sistemas fuzzy aplicados nas Ciências Agrárias**. 2015. 258 p. Tese (Livre-Docência em Matemática Aplicada e Computacional)-Faculdade de Ciência e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Tupã, 2015.
- GABRIEL FILHO, L. R. A. et al. Application of *fuzzy* logic for the evaluation of livestock slaughtering. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 813-825, jul./ago. 2011.
- GOUVEIA, A. M. S. **Adubação potássica na produção e qualidade pós-colheita do rabanete**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5. ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda, 2011. 924 p.
- HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. São Paulo: Bookman, 2009. 688 p.
- HOFFMANN, R. **Análise de regressão: uma introdução à econometria**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2015. Disponível em: <<http://www.producao.usp.br/bitstream/handle/BDPI/48616/REGRESS.pdf?sequenc e=5>>. Acesso em: 14 jan. 2018.
- KLAR, A. E. et. al. The effects of different irrigation depths on radish crops. **Irriga**, Botucatu, p. 150-159, 2015. Edição Especial 20 anos Irriga + 50 anos FCA.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.
- LACERDA, V. R. et al. Características morfológicas e produtivas do rabanete so diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 1, p. 1127-1134, jan./fev. 2017.
- LEITE, D.F. et al. Modelagem evolutiva granular *fuzzy*. In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 5, 2011, São João del-Rei. **Anais...**, Brasília, DF, 2011. p. 81 – 86.
- LOLLATO, M. A. Produtividade na lavoura. **Revista Cultivar Grandes Culturas**, Pelotas, v. 3, n. 27, p. 32-34, abr. 2001. Disponível em: <<https://www.grupocultivar.com.br/artigos/produtividade-na-lavoura>> Acesso em: 25 set. 2017.
- LOPES, M. A. J. B. M. **Incorporação de lodo de esgoto e seus efeitos sobre alguns atributos do solo cultivado com rabanete (*Raphanus sativa* L)**. 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento em Processos Ambientais) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

LUCCHESI, A. A. et al. Produtividade do rabanete (*Raphanus Sativus L.*) relacionado com a densidade de população. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 33, p. 577-83, 1976.

MAKISHIMA, N. O. **O cultivo das hortaliças**. 7. ed. São Paulo: Texto novo, 2004.

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

MARÇAL, R. F. M.; SUSIN, A. A. O emprego da inteligência artificial como ferramenta de apoio à tomada de decisão na manutenção industrial. In: Seminário Catarinense de manutenção, 3, Joinville, **Anais...** Joinville: ABRAMAN, 2005.

MASSAD, E. et al. **Métodos quantitativos em Medicina**. 1. ed. Barueri: Manole Ltda, 2004.

MESKINI-VISHKAEI, F.; DAVATGAR, N. Evaluation of Different Predictor Models for Detailed Soil Particle-Size Distribution. **Pedosphere**, Beijing, v.28, n. 1, p.157–164, fev. 2018.

MOHAMED, A. I. Effects of magnetized low quality water on some soil properties and plant growth. **International Journal of Research in Chemistry and Environment**, Indore, v. 3, n. 2, p. 140-147, abr. 2013.

OSTERTAGOVÁ, E. Modelling using polynomial regression. **Procedia Engineering**, Reino Unido, v. 48, p. 500-506, nov. 2012.

PEIXOTO, M. S. **Sistemas Dinâmicos e Controladores fuzzy: um Estudo da Dispersão da Morte Súbita dos Citros em São Paulo**, Tese de Doutorado, IMECC-Unicamp, 2005

PEREIRA FILHO, R. D. **Desenvolvimento e implementação de controladores nebulosos em uma coluna piloto de destilação em batelada**. 1999. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

PESTANA, M. H.; GAGEIRO, J. N. **Análise de dados para ciências sociais: a complementariedade do SPSS**. 6. ed. Lisboa: Sílabo, 2014.

PIMENTA, A. H. M. **Geração genética de classificador fuzzy intervalar do tipo 2**. 2009. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)-Universidade de São Carlos, São Carlos, 2009.

PUTTI, F. F. et al. A *fuzzy* mathematical model to estimate the effects of global warming on the vitality of *Laelia purpurata* orchids. **Mathematical Biosciences**, Nova York, v. 288, p. 124-129, 2017.

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. 205 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

PUTTI, F. F. et al. Resposta da cultura da cenoura irrigada com água tratada magneticamente e normal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 43., 2014, Campo Grande. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2014. Disponível em: <<http://www.oportunidadeatodos.com.br/mkt/timol/estudo-cientifico-cenoura.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2018.

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

REWAL, H. S.; MAHESHWARI, B. L. Magnetic treatment of irrigation water and snow pea and chickpea seeds enhances early growth and nutrient contents of seedlings. **Bioelectromagnetics**, New York, v. 32, n. 1, p. 58-65, jan. 2011.

RODRIGUES, R. R. et al. Produção de rabanete em diferentes disponibilidades de água no solo. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaia, v. 9, n. 17, p. 2121-2130. 2013.

ROSS, T. J. **fuzzy logic with engineering applications**. 2. ed. England: Wiley, 2010. 607 p.

SANTOS, J. C. C. et al. Análise de crescimento e evapotranspiração da cultura do rabanete submetido a diferentes lâminas de água. **Revista Verde**, Mossoró, v. 9, n. 1, p. 151 -156, jan./mar. 2014.

SANTOS, J. F. **Sistema inteligente fuzzy para auxílio ao diagnóstico de níveis de risco da gestação integrado à plataforma de telemedicina preneonatal**. 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)-Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.

SANTOS, W. O. et al. Variabilidade espacial e temporal das precipitações para a Microrregião de Pau dos Ferros-RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 3, p. 434-441, 2014.

SILVA, E. M. B. et al. Características produtiva do rabanete submetido a doses de cinza vegetal. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 241. 2015.

SILVA, J. M. et al. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 40-46, 2013.

SILVA NETO, G. C. **Um método para solução de problemas de otimização multiobjetivo em ambiente fuzzy**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Matemática)-Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011.



SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Blucher: FAPESP, 2007.

SIZILIO, G. R. M. A. **Método fuzzy para auxílio ao diagnóstico de câncer de mama em ambiente inteligente de telediagnóstico colaborativo para apoio à tomada de decisões**. 2012. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)– Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

SLOMP, J. J. et al. Efeitos de diferentes níveis de irrigação baseados em frações do tanque classe "A" sobre a produção de rabanete (*Raphanus Sativus L.*) variedade "Crimson Giant"). **Perspectiva**, Erechim, v. 35, n. 107, p. 99-107, set. 2011.

SOUSA, C. A.; DUARTE, P. S.; PEREIRA, J. C. R. Lógica fuzzy e regressão logística na decisão para prática de cintilografia das paratiróides. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 5, p.898-906, 2006.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 118, p. 977-980, 1992.

TOLEDO, G. L. **Estatística básica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2015. 464 p.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

VIEIRA, S. **Introdução à bioestatística**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Norwich, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995- 9005, 1985.

ZADEH, L. A. *fuzzy sets*. **Information and Control**, San Diego, v. 8, p. 338-353, 1965.

## CAPÍTULO 2

### MODELAGEM *FUZZY* NA AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS DO RABANETE UTILIZANDO TRATAMENTO COM ÁGUA CONVENCIONAL E MAGNETIZADA

Ana Cláudia Marassá Roza Boso

Camila Pires Cremasco Gabriel

#### RESUMO

O objetivo do presente capítulo é desenvolver um modelo matemático que permite avaliar as variáveis biométricas da cultura do Rabanete, sobre diferentes níveis de lâminas de irrigação, utilizando água convencional e magnetizada. Para isso foi realizado, experimentalmente, o cultivo da cultura do Rabanete no Departamento de Engenharia Rural da UNESP – Faculdade de Ciências Agronômicas em Botucatu/SP, com utilização da água convencional na irrigação e lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da evapotranspiração da cultura. Os dados adquiridos foram no ponto de colheita. Com os dados experimentais, houve a confecção de uma modelagem *Fuzzy*, baseada em regras *Fuzzy* e funções de pertinências, as quais permitiram avaliar e analisar o crescimento de cada variável biométrica da cultura estuda. Também foi desenvolvida uma exploração estática, com análise de regressão polinomial, de forma a comprovar os resultados obtidos e compará-los com o modelo *Fuzzy* elaborado. Averiguando os resultados obtidos, verificou-se que a modelagem *Fuzzy* apresentou de forma clara, a veracidade do desenvolvimento da cultura, sobre a influência das lâminas de irrigação. Com os menores erros do quadrado médio e melhores ajustes dos dados analisados. A o modelo *Fuzzy* demonstrou que a utilização da água magnetizada aumentou o crescimento produtividade da cultura, em relação a todas as variáveis biométricas, com redução de níveis de lâminas de irrigação, além de apresentar superioridade em relação ao modelo estatístico de regressão polinomial. Isso demonstra a importância da implementação da água tratada magneticamente na área da irrigação.

**Palavras-chave:** Elementos da cultura. Lógica *fuzzy*. Lâminas de irrigação. Regressão polinomial.

### ABSTRACT

The objective of this chapter is to develop a mathematical model that allows the evaluation of the biometric variables of the radish culture on different levels of irrigation plates using conventional and magnetized water. For this purpose, the cultivation of two cycles of the Radish culture in the Department of Rural Engineering of UNESP - Faculty of Agronomic Sciences in Botucatu / SP, using conventional irrigation water and slides of 25%, 50%, 75 %, 100% and 125% of crop evapotranspiration. The data acquired were at the point of harvest. With the experimental data, a *Fuzzy's* modeling was developed, based on *Fuzzy's* rules and pertinence functions, which allowed to evaluate and analyze the growth of each biometric variable of the studied culture. It was also developed a static exploration, with polynomial regression analysis, in order to prove the results obtained and to compare them with the elaborated *Fuzzy's* model. As a result of the results obtained, it was verified that the *Fuzzy's* modeling presented, in a clear way, the veracity of the development of the culture, on the influence of the irrigation blades. With the smaller errors of the middle square and better adjustments of the analyzed data. The *Fuzzy's* model showed that the use of magnetized water increased the crop productivity growth, in relation to all biometric variables, with reduction of levels of irrigation slides, besides presenting superiority in relation to the statistical model of polynomial regression. This demonstrates the importance of the implementation of magnetically treated water in the irrigation area.

**Keywords:** Elements of culture. *Fuzzy's* logic. Irrigation glass slide. Polynomial regression.

## 2.1 INTRODUÇÃO

A estrutura de uma planta é composta pela raiz, caule, flor, folhas, semente e frutos. Cada componente exerce uma função específica para o seu crescimento, como a raiz, que tem a capacidade de fixação da planta e absorção dos nutrientes do solo para planta; o caule, que conduz os nutrientes da raiz para a parte superior da planta;

Como forma de produtividade da cultura do Rabanete, a lâmina de 75% do uso da ATM, demonstrou ser mais eficiente que a lâmina de 100% da AC sobre a fitomassa fresca da raiz tuberosa (FFRT), o que demonstra importância para o produtor.

## 2.4 CONCLUSÃO

Similar o ocorrido no capítulo 1, observou-se que o modelo *Fuzzy* foi superior ao modelo estatístico desenvolvido pelo presente trabalho, sobre todas as variáveis biométricas analisadas, demonstrando a sua eficiência na estimação dos dados, para as tomadas de decisões, por parte dos produtores.

De acordo com as Lâminas de irrigação e das variáveis biométricas avaliadas, a produtividade da cultura do Rabanete na cidade de Botucatu/SP, foi alcançada com a utilização da lâmina de irrigação de 75% da ETc, com água convencional.

Considerando as propriedades da água magnetizada e seus benefícios demonstrados para cultura, verificou-se que a lâmina de irrigação de 50% da ETc apresentou bom desenvolvimento das variáveis biométricas e produtividade da cultura do Rabanete, para a cidade de Botucatu/SP.

A aplicação da ATM demonstrou grande eficiência na redução da água utilizada para irrigação, em comparação aos resultados apresentados com a utilização da água convencional, beneficiando o produtor no custo final da produção.

## REFERÊNCIAS

ALVES, L. B.; BELDERRAIN, M. C. N.; SCARPEL, R. A. Tratamento multivariado de dados por análise de correspondência e análise de agrupamento. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA, 13., 2007, São José dos Campos. **Anais...**, São José dos Campos: CTA/ITA, 2007. 7p.

BARROS, C. L.; BASSANEZI, R. C. **Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática**. 2. ed. Campinas, SP: UNICAMP/IMECC, 2010.

BENINI, L. C. Uma introdução à teoria dos conjuntos *fuzzy*. In: Congresso Brasileiro de Sistemas *fuzzy*, 2., 2012, Natal. **Anais...**, São Carlos: SBMAC, 2012.

BREGONCI, I. S. E. A. Desenvolvimento do sistema radicular do rabanete em condições de estresse hídrico. **IDESIA (Chile)**, Arica, v. 26, n. 1, p. 33-38, jan./abr. 2008.

CHOUERI, M. **Modelagem fuzzy para avaliação do desenvolvimento da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente sem estresse hídrico**.

2018. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronegocio e Desenvolvimento)-Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Tupã, 2015.

CONCEIÇÃO, N. R. **Homeopatia phosphorus e água biomagnetizada no crescimento e características fotossintéticas em plantas de Rabanete**. 2016. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Tecnologia em Agroecologia)-Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016.

CREMASCO, C. P. et al. Resposta da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente e convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 44., 2015, São Pedro. **Anais...**, Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. p. 1-9.

DANCEY, C. P.; JHON, R. **Estatística sem matemática para psicologia: Usando SPSS para Windows**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

DANTAS, A. E. A. et al. Produção de rabanete (*Raphanus Sativus L.*) sob diferentes níveis e fontes de fertilizantes orgânicos. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2015, Fortaleza, **Anais...** Jaboticabal, SP: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. p. 1-9.

DELAZARI, F. T. et al. Eficiência no uso da água e acúmulo de matéria na batata-doce em função de lâminas de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 115-128, jan./mar., 2017.

DEYVER, B. **Plataforma computacional fuzzy para avaliação nos estágios do tomateiro dos efeitos da irrigação e salinidade da água**. 2016. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento)-Universidade Estadual Paulista, Campus de Tupã, 2016.

DONI, M. V. **Análise de cluster: métodos hierárquicos e de particionamento**. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2004. Disponível em <[http://meusite.mackenzie.com.br/rogerio/tgi/2004Cluster.PDF\\_](http://meusite.mackenzie.com.br/rogerio/tgi/2004Cluster.PDF_)>. Acesso em: 12 set. 2017.

EMBRAPA. **Hortaliças em revista: Importância nutricional das hortaliças**. Brasília,DF: Embrapa Produção de informação, 2012. 16 p.

FERRARI, J. M. S. **Análise da produtividade e das variáveis biométricas do Rabanete sob diferentes lâminas de irrigação com água tratada magneticamente utilizando modelagem neuro fuzzy**. 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

FILGEUIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, 2007. 421 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, 2003.

FREI, F. **Introdução à análise de agrupamento: teoria e prática**. São Paulo: Editora Unesp, 2006.

GABRIEL FILHO, L. R. A. **Sistemas fuzzy aplicados nas Ciências Agrárias**. 2015. 258 p. Tese (Livre-Docência em Matemática Aplicada e Computacional)-Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Tupã, 2015.

GIRDEN, E. **ANOVA: Repeated Measures**. 84. ed. California: SAGE Publications, 1992.

GOUVÊA, M. A.; PREARO, L. C.; ROMEIRO, M. C. Avaliação da aplicação de técnicas multivariadas de interdependência em teses e dissertações de algumas instituições de ensino superior. **FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão**, Franca, v. 15, n. 1, p. 107-123, jan./abr. 2012.

KLAR, A. E. et. al. The effects of different irrigation depths on radish crops. **Irriga**, Botucatu, p. 150-159, 2015. Edição Especial 20 anos Irriga + 50 anos FCA.

LACERDA, V. R. et al. Características morfológicas e produtivas do rabanete so diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 1, p. 1127-1134, jan./fev. 2017.

LACERDA, C. F. **Relações solo-água-planta em ambientes naturais e agrícolas do nordeste brasileiro**. Recife: UFRP, 2007. 79 p. Disponível em:

<[https://www.agro.ufg.br/up/68/o/APOSTILA\\_-\\_RELA\\_\\_ES\\_SOLOS\\_\\_GUA\\_PLANTA.pdf](https://www.agro.ufg.br/up/68/o/APOSTILA_-_RELA__ES_SOLOS__GUA_PLANTA.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2018.

LIMA, C. E. P.; OLIVEIRA, V. R. **Arvore do conhecimento: cebola. AGEITEC:**

Agência Embrapa de Informação tecnológica. Disponível em:

<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cebola/arvore/CONT000gn0iyu2a02wx5ok0liq1mq7mr143w.html>>. Acesso em: 12 maio 2018.

LOLLATO, M. A. Produtividade na lavoura. **Revista Cultivar Grandes Culturas**, Pelotas, v. 3, n. 27, p. 32-34, abr. 2001. Disponível em: <<https://www.grupocultivar.com.br/artigos/produtividade-na-lavoura>> Acesso em: 25 set. 2017.

LOPES, et al. Irrigação magnética. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 1, n. 1, p. 1-8, jul/dez. 2007.

MARÇAL, R. F. M.; SUSIN, A. A. O emprego da inteligências artificial como ferramenta de apoio à tomada de decisão na manutenção industrial. In: SEMINÁRIO CATARINENSE DE MANUTENÇÃO, 3, Joinville, **Anais...** Joinville: ABRAMAN, 2005.

MARQUELLI, W. A. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. Revista Atualizada e Ampliada. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 150 p.

MARTINS, M. E. G.; RODRIGUES, J. F. Coeficiente de correlação amostral. **Revista de Ciência Elementar**, Porto, v. 2, n. 2, p. 34-36, abr./jun. 2014. Disponível em: <[https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/revistaCienciaElementar\\_v2n2.pdf](https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/revistaCienciaElementar_v2n2.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2017.

MARTINS, S. V. et al. Classificação ecológica do estado do Espírito Santos baseada em condições climáticas. **Rvista Árvore**, Viçosa, v. 16, n. 3, p. 272-286, set./dez. 1992.

MINCHINTON, E. J. et al. Evaluation of the efficacy and economics of irrigation management, plant resistance and Brassica spot™ models for management of white blister on Brassica crops. **Australasian Plant Pathology**, Murdoch, v. 42, p. 169-178, 2013.

OSTERTAGOVÁ, Eva. Modelagem usando regressão polinomial. **Procedia Engineering**, Reino Unido v. 48, p. 500-506, 2012.

PEREIRA A. J. et al. Efeitos dos níveis de reposição e frequência de irrigação sobre a produção e qualidade do rabanete. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 117-120, jan./abr. 1999. Disponível em <<http://www.agriambi.com.br/revista/v3n1/117.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2018.

PIMENTA, A. H. M. **Geração genética de classificador fuzzy intervalar do tipo 2**. 2009. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)-Universidade de São Carlos, São Carlos, 2009.

PIMENTEL, C. **Relação da planta com a água**. Rio de Janeiro: Edur, 2004. 191 p. Disponível em: <[http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo\\_thumb/A-Rela--o-da-Planta-com-a-Agua-by-Carlos-Pimentel--2004-.pdf](http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/A-Rela--o-da-Planta-com-a-Agua-by-Carlos-Pimentel--2004-.pdf)> Acesso em: 12 set. 2017.

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. 205p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

PUTTI, F. F. **Produção da cultura de alface irrigada com água tratada magneticamente**. 2014, 123f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

RAPOSO JR., J. L. et al. Avaliação da concentração de alguns íons metálicos em diferentes espécies de líquens co cerrado Sul-Mato-Grossense. **Química Nova**, Campo Grande, v. 30, n. 3, p. 582-587, 2007.



RODRIGUES, R. R. et al. Produção de rabanete em diferentes disponibilidades de água no solo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 9, n. 17; p. 2122-2130, 2013.

RUTHERFORD, A. **Introducing ANOVA and ANCOVA: A GLM approach**. 1. ed. California: SAGE Publications, 2001.

SHAUGHNESSY, J. J.; ZECHMEISTER, E. B.; ZECHMEISTER, J. S. **Metodologia de pesquisa em psicologia**. 9. ed. Porta Alegre: AMGH Editora LTDA, 2012.

SILVA, A. A. V. et al. Estimativa da produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando modelagem neuro *fuzzy*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p.180–187, 2014.

SILVA, D. F. D. et al. The production of *Physalis* spp. seedings grown under different-colored shade nets. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 38, n.2, p. 257-263, 2016.

SILVA, R. T. et al. Tolerância do rabanete ao encharcameto do solo. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 1, p. 25-33, jan./mar. 2012.

SILVA, V. J. et al. RESPOSTA DA CENOURA À APLICAÇÃO DE DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 954-963, nov./dez. 2011.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. 2005. 215 f. Monografia (Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa)-Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

WAN, S.; KANG, Y. Effect of drip irrigation frequency on radish (*Raphanus sativus* L.) growth and water use. **Irrigation Science**, Cordoba, v. 24, p. 161-174, 2006.

ZADEH, L. A. *fuzzy* sets. **Information and Control**, San Diego, v. 8, p. 338-353, 2009.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As modelagens *Fuzzy* desenvolvidas em todos os capítulos permitiram analisar e realizar conclusões, de pontos específicos da produtividade da cultura do Rabanete, dos níveis de lâminas de irrigação e da interferência do tipo de água aplicado na produção da cultura.

O emprego da água tratada magneticamente apresentou bons resultados no desenvolvimento das variáveis biométricas da cultura do Rabanete e na produtividade da mesma, em nível de lâmina de irrigação inferiores a 100% da ETc. Para a região de Botucatu/SP, lâmina de 50% da ETc do Rabante obteve melhores resultados, sobre as variáveis biométricas analisadas. Isso intensifica a implantação da água tratada magneticamente por parte do setor agrícola, beneficiando de modo geral os custos de produção.

Todos os modelos *Fuzzy* elaborados demonstraram eficiência em apresentar a realidade agronômica ocorrida em campo, sendo estes superiores a modelagem estatística polinomial presentes nos capítulos.

Por fim, de acordo com os resultados apresentados, a aplicação da modelagem e a utilização da água tratada magneticamente podem ser aplicadas para outras culturas, a partir de adaptações metodológicas realizadas em dados experimentais.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate**: produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia. Lavras: UFLA, 2004, p. 391.
- BEVILACQUA, H. E. C. R. **Classificação das hortaliças**. In: HORTA: cultivo de hortaliças. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo, 2006. p. 1-6.
- COSTA, C. C. et al. Crescimento, produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos orgânicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, p. 118-122, 2006.
- CREMASCO, C. P. et al. Resposta da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente e convencional. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 44, 2015, São Pedro. **Anais...** São Pedro: CONBEA, 2015. p. 1-9
- CREMASCO, C. P. **Aplicação da lógica *fuzzy* para avaliação do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de uma empresa de avicultura de postura**. 2008. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- EMBRAPA. **Hortaliças em revista**: Importância nutricional das hortaliças. Brasília, DF, 2012. 16 p.
- GABRIEL FILHO, L. R. A. et al. M. Application of *fuzzy* logic for the evaluation of livestock slaughtering. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 813-825, jul./ago. 2011.
- GUEDES, R. A. A. et al. Estratégias de irrigação com água salina no tomateiro cereja em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, Campina grande, v. 19, n. 10, p. 913-919, 2015.
- PIRES, R. C. M. et al. Agricultura irrigada. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, São Paulo, v. 1, p. 98-111, jun. 2008.
- PUTTI, F. F. **Produção da cultura de alface irrigada com água tratada magneticamente**. 2014. 123 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.
- PUTTI, F. F. et al. *fuzzy* logic to evaluate vitality of *Catasetum fimbriatum* species (Orchidaceae). **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 3, p. 405-413, 2014.
- RODRIGUES, R. R. et al. Produção de rabanete em diferentes disponibilidades de água no solo. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaia, v. 9, n. 17, p. 2121-2130, 2013.
- PEREIRA, M. R. R. et al. Efeito de herbicidas sobre plantas de *Brachiaria plantaginea* submetidas a estresse hídrico. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, p. 1047-1058, 2010.

SILVA, E. M. B. et al. Características produtiva do rabanete submetido a doses de cinza vegetal. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 241, 2015.

SILVA, R. T. et al. Tolerância do rabanete ao encharcamento do solo. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 1, p. 25-33, jan./mar. 2012.

VALENTE, D. S. M. et al. Definition of management zones in coffee production fields based on apparent soil electrical conductivity. **Scientia Agricola.**, Piracicaba, v. 69, n. 3, p. 173-179, May/Jun. 2012.