

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

MATHEUS CHOUERI

**MODELAGEM FUZZY PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA
CULTURA DO RABANETE IRRIGADO COM ÁGUA TRATADA
MAGNETICAMENTE SEM ESTRESSE HÍDRICO**

**TUPÃ
2018**

MATHEUS CHOUERI

**MODELAGEM FUZZY PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA
CULTURA DO RABANETE IRRIGADO COM ÁGUA TRATADA
MAGNETICAMENTE SEM ESTRESSE HÍDRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Tupã, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronegócio e Desenvolvimento.

Área de concentração: Agronegócio e Desenvolvimento

Linha de pesquisa: Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

Coorientadores: Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel
Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti

**TUPÃ
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE
BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO DA FCE, UNESP, CÂMPUS DE TUPÃ.

C457m

Choueri, Matheus.

Modelagem Fuzzy para avaliação do desenvolvimento da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente sem estresse hídrico / Matheus Choueri. – Tupã: [s.n.], 2018.
54 f.

Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho.

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti.

Coorientador: Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel

Inclui bibliografia.

1. Lógica difusa. 2. Rabanete - irrigação. 3. Modelos matemáticos.
4. Análise de conglomerados. I. Autor. II. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MODELAGEM FUZZY PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO RABANETE IRRIGADO COM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE SEM ESTRESSE HÍDRICO

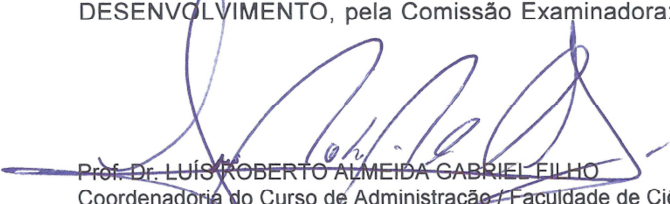
AUTOR: MATHEUS CHOUERI

ORIENTADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

COORIENTADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

COORIENTADOR: FERNANDO FERRARI PUTTI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONEGÓCIO E DESENVOLVIMENTO, pela Comissão Examinadora:



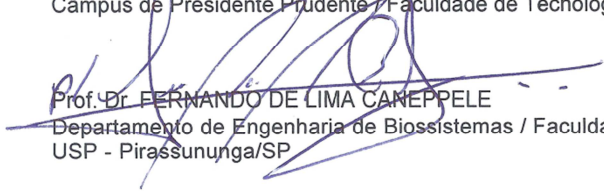
Prof. Dr. LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

Coordenadoria do Curso de Administração / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP



Prof. Dr. DANIEL DOS SANTOS VIAIS NETO

Câmpus de Presidente Prudente / Faculdade de Tecnologia - FATEC - Presidente Prudente/SP



Prof. Dr. FERNANDO DE LIMA CANEPELE

Departamento de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - FZEA - USP - Pirassununga/SP

Tupã, 26 de fevereiro de 2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu filho Mithril Rodrigues Choueri

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e professor, Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho, pelo incentivo, paciência, dedicação incondicional, pela parceria nos trabalhos de pesquisa e confiança dispensada, pela disponibilidade de tempo e conhecimento compartilhado, e não menos, pela amizade construída.

À amiga, coorientadora e professora, Dr^a. Camila Pires Cremasco Gabriel, pela paciência, dedicação, revisões e demais colaborações a este trabalho e pelo acompanhamento acadêmico desde a graduação.

Ao coorientador e amigo Dr. Fernando Ferrari Putti, pela parceria, colaboração, revisões e esclarecimentos prestados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros das bancas Prof. Dr. Raúl Andres Martinez Uribe (qualificação), Prof. Dr. Daniel dos Santos Viais Neto (qualificação e defesa) e Prof. Dr. Fernando de Lima Caneppele (defesa) pelas elucidações, sugestões e disponibilidade.

A todos os docentes e coordenadores do curso de Pós-graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da UNESP/Tupã que contribuíram com o compartilhamento do seu tempo e conhecimento ao longo do curso.

À Diretoria acadêmica, Seção técnica de Pós-graduação e a todos os funcionários da UNESP/Tupã, pela disponibilidade durante o curso, pelo apoio dispensado nos momentos de dúvidas e pelos serviços prestados com excelência.

Ao amigo e companheiro de viagens André Junior Silva Wiezzel, pelas conversas, trocas de experiências e eventual aprendizado.

À minha esposa Milene da Silva Rodrigues pelo carinho, paciência e companheirismo ao longo deste período de estudos e pelo apoio incondicional e financeiro.

É indispensável mencionar que todo este trabalho só existe devido a todos vocês, que em conjunto, são prova suficiente de que Deus está presente em minha vida. Muito obrigado a todos!

“Para encontrar a solução de um problema é preciso avaliá-lo objetivamente, ou seja, captar o que há de fundamental nele”.

Allan Percy

CHOUERI, Matheus. *Modelagem fuzzy para avaliação do desenvolvimento da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente sem estresse hídrico*. 2018. 54 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2018.

RESUMO

Normalmente a horticultura utiliza de irrigação artificial para suprir as demandas hídricas das plantas, mas os produtores, em geral, não são criteriosos na utilização das lâminas de reposição, o que acarreta desperdício de água e energia elétrica aumentando os custos de produção. Outro fato é a crescente quantidade de pesquisas sobre a utilização de água tratada magneticamente (ATM) empregada nas atividades agrícolas. Estas pesquisas têm mostrado aprimoramentos produtivos para diversas culturas. Este trabalho apresenta um Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF) para avaliação da cultura do rabanete para a lâmina de irrigação a 100% da evapotranspiração. Foram utilizados para o SBRF dados experimentais obtidos por experimento que avaliou a influência da água tratada magneticamente no desenvolvimento de rabanetes. O experimento foi realizado durante os meses de setembro a novembro de 2013, em uma casa de vegetação nas dependências do Departamento de Engenharia Rural da UNESP, Faculdade Ciências Agrônômicas, Fazenda Experimental Lageado, localizada no município de Botucatu, São Paulo. Para a elaboração do SBRF, definiu-se um processador de entrada (fuzzificador), um conjunto de regras linguísticas, um método de inferência fuzzy e um processador de saída (defuzzificador), gerando um número real como saída. Este SBRF representa uma função $F: X_1 \times X_2 \subseteq \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^{10}$. O contradomínio $\mathbb{R}^{10}$ representa as dez variáveis de saída avaliadas: Número de Folhas (NF), Comprimento da Raiz (CR), Diâmetro do Bulbo (DB), Comprimento do Bulbo (CB), Peso Verde da Raiz (PVR), Peso Verde da Folha (PVF), Peso Verde do Bulbo (PVB), Peso Seco da Raiz (PSR), Peso Seco da Folha (PSF) e Peso Seco do Bulbo (PSB). O método de inferência utilizado foi o de Mandani. Para a verificação da adequação e validação do modelo fuzzy frente ao modelo de regressão de grau 2, foram aplicados os seguintes testes e cálculos de índices em ambos modelos: Teste qui-quadrado (χ^2); Coeficiente de determinação (R^2); Teste da falta de ajuste (*lack of fit*); Desvio do quadrado médio da raiz (RMSE) ou erro quadrado médio da raiz (MAE). Como ferramentas de auxílio para análise foram utilizados os seguintes procedimentos: Análise de variância; Análise de coeficientes de variação e regressão polinomial e; Análise de Conglomerados. O capítulo I descreve a metodologia para obtenção do SBRF de avaliação da cultura do rabanete irrigados com água convencional e lâmina de 100% da ETc. O capítulo II descreve a metodologia para obtenção do SBRF de avaliação da cultura do rabanete irrigado com ATM e lâmina de 100% da ETc.

Palavras-chave: Regras fuzzy, Testes de ajuste, Funções de pertinência, Análise de conglomerados, Irrigação.

CHOUERI, Matheus. *Fuzzy modeling for evaluation of the development of the culture of radish irrigated with magnetically treated water without water stress*. 2018. 54 p. Dissertation (Master in Agribusiness and Development) – School of Sciences and Engineering, São Paulo State University (UNESP), School of Sciences and Engineering, Tupã, 2018.

ABSTRACT

Normally the horticulture uses artificial irrigation to meet the water demands of the plants, but the producers, in General, are not careful in the use of replacement blades, which carries waste of water and electricity by increasing the production costs. Another fact is the growing amount of research on the use of magnetically treated water (MTW) employed in agricultural activities. These researches have shown production enhancements to diverse cultures. This paper presents a Fuzzy rule-based System (FRBS) for evaluation of the culture of radish in two production cycles for the blade of the 100% irrigation of evapotranspiration. Were used for the FRBS the experimental data obtained by experiment that evaluated the influence of magnetically treated water in the development of radishes. The experiment was conducted during the months of September to November 2013, in a greenhouse on the premises of the Department of Rural Engineering of UNESP, Agronomic Sciences College, the Experimental Farm Lageado, located in the city of Botucatu, São Paulo. For FRBS, defined an input processor (fuzzificator), a set of linguistic rules, a fuzzy inference method and an output processor (defuzzificator), generating a real number as output. This FRBS represents a function $F: X_1 \times X_2 \subseteq \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^{10}$. The codomain $\mathbb{R}^{10}$, represents the ten evaluated output variables: number of leaves (NF), length of root (CR), diameter of the bulb (DB), length of the bulb (CB), Green root Weight (PVR), Green Leaf Weight (PVF), Green bulb Weight (PVB), Dry root Weight (PSR), dry weight of foliage (PSF) and dry weight of the bulb (PSB). The inference method used was that of Mandani. For the verification of the appropriateness and fuzzy model validation outside the grade 2 regression model were applied the following tests and calculations of indices in both models: Chi-square Test (χ^2); Coefficient of determination (R^2); Lack of fit test; Deviation of the mean square of the root (MAE) or the root mean square error (RMSE). As an aid to analysis tools were used the following: analysis of variance; Analysis of variance and regression polynomial coefficients and; Analysis of conglomerates. Chapter I describes the methodology for obtaining the SBRF radish culture assessment irrigated with conventional water and 100% blade ETc. Chapter II describes the methodology for obtaining the SBRF radish culture assessment irrigated with ATM and blade of 100% of ETc.

Keywords: Fuzzy rules, Adjustment, Testing Functions of relevance, Analysis of conglomerates, Irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	SBRF de avaliação da cultura do Rabanete com 3 variáveis de entrada (DAS), 10 variáveis de saída (variáveis biométricas e de produtividade) e 3 regras para cada variável de saída.....	17
Figura 2-	Funções de pertinência das variáveis de entrada (a) e saída (b)....	19
Figura 3-	Dendograma resultante da análise multivariada do tipo ligação completa, utilizando o método da distância do coeficiente de correlação.....	29
Figura 4-	SBRF de avaliação da cultura do rabanete irrigado com água convencional e lâmina de 100% da ETc, com 3 variáveis de entrada (DAS), 10 variáveis de saída (variáveis biométricas e de produtividade) e 3 regras para cada variável de saída.....	31
Figura 5-	Funções de pertinência dos conjuntos fuzzy das variáveis de saída da cultura do rabanete irrigado com água convencional a uma lâmina de 100%ETc.....	33
Figura 6-	Funções resposta obtidas pelo modelo fuzzy para a cultura do rabanete irrigado com água convencional a uma lâmina de 100% da ETc.....	34
Figura 7-	Dendograma resultante da análise multivariada, sob tratamento ATM, do tipo ligação completa, utilizando o método da distância do coeficiente de correlação.....	45
Figura 8-	SBRF de avaliação da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente e lâmina de 100% da ETc, com 3 variáveis de entrada (DAS), 10 variáveis de saída (variáveis biométricas e de produtividade) e 3 regras para cada variável de saída.....	46
Figura 9-	Funções de pertinência dos conjuntos fuzzy das variáveis de saída da cultura do rabanete irrigado com ATM a uma lâmina de 100%ETc.....	48
Figura 10-	Funções resposta obtidas pelo modelo fuzzy para a cultura do rabanete irrigado com ATM a uma lâmina de 100% da ETc.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Parâmetros climáticos durante o experimento.....	15
Tabela 2-	Definição das funções de pertinência da variável de entrada DAS.....	18
Tabela 3-	Definição das funções de pertinência da variável de entrada DAS.....	19
Tabela 4-	Combinações das variáveis de entrada com pontos de grau de pertinência 1,00 associados aos conjuntos <i>fuzzy</i> para a construção da base de regras.....	20
Tabela 5-	Médias e desvio padrão para rabanete irrigado com água convencional e lâmina de 100% Etc.....	26
Tabela 6-	Correlações entre as variáveis biométricas e de produtividade (nível de significância de 5%).....	27
Tabela 7-	Coeficientes de regressão e determinação das equações de estimativa das variáveis biométricas da cultura rabanete submetida à lâmina de 100% de irrigação utilizando água tipo convencional.....	27
Tabela 8-	Passos de Amalgamação da Análise Multivariada das variáveis.	30
Tabela 9-	Extrato de validação do modelo fuzzy para as variáveis de saída da cultura do rabanete irrigado com água convencional a uma lâmina de 100% Etc.....	32
Tabela 10-	Médias e desvio padrão para rabanete irrigado com ATM e lâmina de 100% Etc.....	43
Tabela 11-	Correlações entre as variáveis sob tratamento ATM (ao nível de significância de 5%).....	43
Tabela 12-	Coeficientes de regressão e determinação das equações de estimativa das variáveis biométricas da cultura rabanete submetida à lâmina de 100% de irrigação utilizando água tratada magneticamente.....	44
Tabela 13-	Passos de Amalgamação da Análise Multivariada das variáveis sob tratamento ATM.....	45
Tabela 14-	Extrato de validação do modelo fuzzy para as variáveis de saída da cultura do rabanete irrigado com ATM a uma lâmina de 100% Etc.....	47

LISTA DE SIGLAS

PIB	Produto interno bruto
ATM	Água tratada magneticamente
SBRF	Sistema baseado em regras <i>fuzzy</i>
DAS	Dias após a semeadura
ETC	Evapotranspiração contínua
NF	Número de folhas
FVA	Fitomassa verde aérea
FSA	Fitomassa seca aérea
FVR	Fitomassa verde da raíz
FSV	Fitomassa seca da raíz
CR	Comprimento de raiz
DB	Diâmetro do bulbo
CB	Comprimento do bulbo
FVB	Fitomassa verde do bulbo
FSB	Fitomassa seca do bulbo
PVR	Peso verde da raíz
PSR	Peso seco da raíz
PVB	Peso verde do bulbo
PSB	Peso seco do bulbo
PSF	Peso seco da folha
RMSE	Desvio do quadrado médio da raiz
MAE	Desvio do erro quadrado médio da raiz

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – “MODELAGEM FUZZY PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO RABANETE IRRIGADO COM ÁGUA CONVENCIONAL SEM ESTRESSE HÍDRICO”.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
2.1 Descrição do experimento.....	14
2.2 Método de modelagem fuzzy.....	17
2.3 Método de determinação dos conjuntos fuzzy.....	18
2.4 Método de determinação da base de regras.....	20
2.5 Método de inferência e defuzzificação.....	20
2.6 Método de análise do grau de ajuste do modelo.....	21
2.7 Teste QUI-QUADRADO (X^2).....	21
2.8 Coeficiente de determinação (R^2).....	22
2.9 Teste da falta de ajuste (lack of fit).....	22
2.10 Desvio do quadrado médio da raiz (rmse).....	23
2.11 Desvio do erro quadrado médio da raiz (mae).....	23
2.12 Análise de conglomerados.....	24
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
3.1 Análise de variância.....	25
3.2 Coeficientes de correlação e regressão polinomial.....	26
3.3 Análise de conglomerados.....	28
3.4 Sistema baseado em regras fuzzy.....	30
4 CONCLUSÕES.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
CAPÍTULO II – “MODELAGEM FUZZY PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO RABANETE IRRIGADO COM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE SEM ESTRESSE HÍDRICO”.....	39
1 INTRODUÇÃO.....	39
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
3.1 Análise de variância.....	42
3.2 Coeficientes de correlação e regressão polinomial.....	43
3.3 Regressão polinomial.....	44
3.4 Análise de conglomerados.....	44
3.5 Sistema baseado em regras fuzzy.....	46
4 CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS.....	51

CAPÍTULO I – “MODELAGEM FUZZY PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO RABANETE IRRIGADO COM ÁGUA CONVENCIONAL SEM ESTRESSE HÍDRICO”

1 INTRODUÇÃO

A olericultura é um ramo importante para a economia agrícola brasileira, contribuindo significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio gerando empregos primários para o setor (LACERDA et al., 2017). A produção de hortaliças é um dos setores produtivos que apresenta caráter mais intensivo (AGUILERA e MARTIN, 2016). De acordo com Nespoli et al. (2015) “estima-se que somente os agricultores familiares sejam responsáveis por produzirem de 23 a 25 milhões de toneladas de hortaliças em um total de 808 mil hectares de área cultivada”.

A produção de rabanete, geralmente, é realizada por pequenos produtores que cultivam grande número de espécies ao mesmo tempo. Uma das vantagens de se cultivar o rabanete é a possibilidade de auferir ganhos durante o tempo transcorrido entre duas outras culturas de ciclo mais longo, pois além de ser relativamente rústica, apresenta ciclo muito curto (30 a 40 dias dependendo da cultivar), com retorno rápido (CARDOSO e HIRAKI, 2001).

De origem mediterrânea, o rabanete (*Raphanus sativus* L.) é uma olerícola pertencente à família *Brassicaceae*, a planta é de pequeno porte, a parte comestível é sua raiz carnuda, de formato globular; alongada ou ovóide, que é de cor avermelhada por fora e polpa branca apresentando como característica peculiar o sabor picante (FERRO et al., 2015). A raiz tuberosa do rabanete é a parte que apresenta maior importância econômica, e importante fonte de nutrientes (SCHUSTER et al., 2012), sendo utilizado em saladas e na fabricação de conservas (SILVA, 2012).

Evidentemente, há relação direta entre a água e a economia agrícola, tanto da economia de pequeno porte e produção de subsistência quanto dos agro ecossistemas de grande produção (TUNDISI, 2011).

A água é fator fundamental na produção vegetal. Sua falta ou seu excesso afetam de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas e, por isso, seu manejo racional é imperativo na maximização da produção agrícola, assim um

manejo mais racional da irrigação pode levar à economia de grandes volumes de água (REICHARDT, 2016).

O manejo correto da água é o ponto fundamental em uma agricultura racional, sendo de suma importância obter a maior eficiência possível no uso da água pelas culturas, bem como usar a irrigação suplementar (REICHARDT, 2016).

Diversos são os trabalhos que determinam modelos matemáticos utilizando lógica *fuzzy* para representar os cenários das atividades agrícolas tendo como objetos de estudo a determinação do peso ideal de abate de bovinos de corte (GABRIEL FILHO et al., 2011), influência do aumento de temperatura para cultivo de orquídeas (PUTTI et al., 2014), desenvolvimento da cultura do alface submetido a ATM (PUTTI et al., 2016) e crescimento do tomateiro frente a irrigação com água salinizada (VIAIS NETO et al., 2016).

Considerando os avanços da modelagem matemática para a reprodução das atividades agrícolas e sua importância como ferramenta gerencial e de suprimento de novas tecnologias produtivas é proposto o presente trabalho que visa obter um modelo baseado em regras *fuzzy* para o desenvolvimento da cultura do rabanete submetido à irrigação com água convencional a uma lâmina de 100% da ET_c.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho é obter um sistema baseado em regras fuzzy (SBRF) para avaliação das variáveis biométricas e de produtividade do rabanete ao longo do seu desenvolvimento, quando irrigado com água tipo convencional e sem estresse hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do experimento

O experimento foi realizado durante os meses de setembro a novembro de 2013, em uma casa de vegetação pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da UNESP, Faculdade Ciências Agrônômicas, 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 Koppen (KÖPPEN e GEIGER, 1928), a região

apresenta clima do tipo Cfa (Clima Subtropical Úmido). Parte dos dados do experimento foi analisado estatisticamente em Cremasco et al. (2015)

Os parâmetros climáticos foram registrados por uma estação meteorológica automática, com estatística descritiva presentes na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros climáticos durante o experimento.

Temperatura (°C)	Mínimo	14 ± 3.19
	Máximo	28.98 ± 4.90
	Média	21.49 ± 3.02
Umidade (%)	Mínimo	32.02 ± 17.30
	Máximo	79.14 ± 11.33
	Média	55.5 ± 13.09
Evapotranspiração (mm)		114.2

Fonte: Cremasco et al. (2015).

O solo da casa de vegetação foi classificado de acordo com Carvalho et al. (1983) 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 se delimitou os canteiros que foram levantados com enxada. Os combates de plantas daninhas foram realizados 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 x 5 cm. As parcelas experimentais mediam 1,2 m de largura por 3 m de comprimento, totalizando 3,6 m², com 4 linhas de plantio. As plantas das linhas laterais foram desconsideradas 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, foram implantados dois sistemas independentes de irrigação por gotejamento. Cada qual 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 $1,47 \text{ L h}^{-1}$, quando submetido a uma pressão de 10 m.c.a.

A irrigação e a leitura do tanque classe A foram realizadas diariamente às 8 h, sendo possível determinar o tempo de irrigação, utilizando-se a seguinte equação:

$$Ti = 6.000 \times \frac{Kc \times Kp \times Eca \times Sl \times Sg \times TR}{Ei \times Vg} \quad (1)$$

em que:

- Kc : coeficiente de cultura;
- Kp : coeficiente de tanque;
- Eca : evaporação do tanque “Classe A” (mm dia^{-1});
- Sl : espaçamento entre laterais (m);
- Sg : espaçamento entre gotejadores (m);
- Ei : eficiência de irrigação (%);
- Vg : vazão de gotejadores (L h^{-1}).

O cálculo da lâmina total de irrigação a ser aplicada foi feita 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:

$$Kp = 0,0482 + 0,024 \ln(B) - 0,00376.V + 0,0045.UR \quad (2)$$

em que:

- Kp : coeficiente de tanque;
- B : bordadura da área de vegetação em torno do tanque (m);
- V : velocidade do vento a 2 m de altura (m.s^{-1}) e;
- UR : a média da umidade relativa (%).

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

Os dados coletados foram submetidos aos testes de normalidade de Anderson-Darling e de homogeneidade das variâncias, de Bartlett. Em seguida, aplicou-se a análise de variância (teste F), a 1 e 5% de probabilidade, com uso do Sigmastat e Minitab (BANZATTO e KRONKA, 2006).

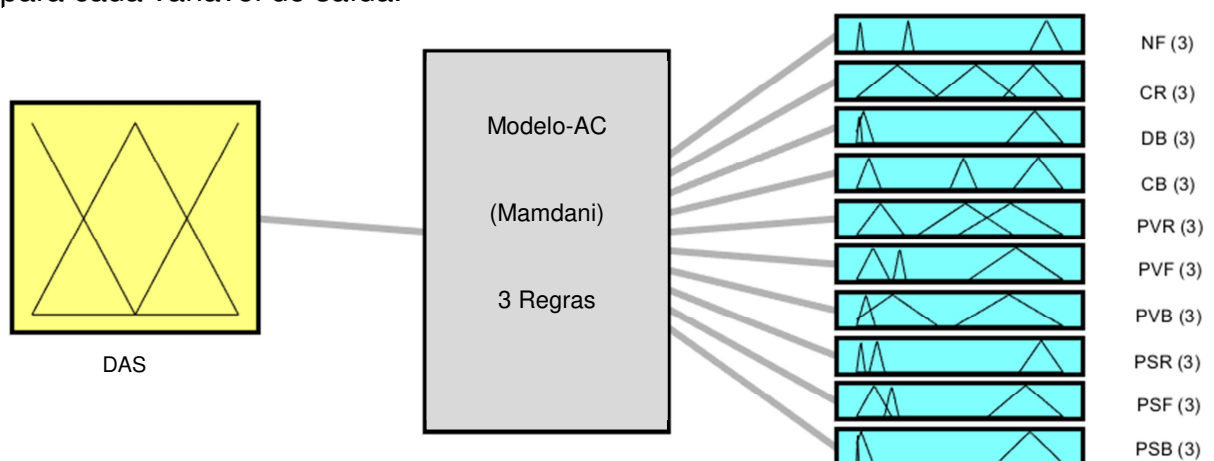
As variáveis analisadas foram o número de folhas, a fitomassa verde (FVA) e seca (FSA) da parte aérea, a fitomassa verde (FVR) e seca da raiz (FSR), o comprimento de raiz (CR), o diâmetro (DB), o comprimento do bulbo (CB), a fitomassa verde (FVB) e seca (FSB) do bulbo.

2.2 Método de modelagem fuzzy

A modelagem *fuzzy* desenvolvida avaliou as características biométricas e de produtividade do rabanete ao longo dos 21, 28 e 35 dias após semeadura (21, 28 e 35 DAS).

Para a elaboração do SBRF, definiu-se um processador de entrada (fuzzificador), um conjunto de regras linguísticas, um método de inferência *fuzzy* e um processador de saída (defuzzificador), gerando um número real como saída (Figura 1).

Figura 1 - SBRF de avaliação da cultura do Rabanete com 3 variáveis de entrada (DAS), 10 variáveis de saída (variáveis biométricas e de produtividade) e 3 regras para cada variável de saída.



Este SBRF representa uma função $F: X_1 \times X_2 \subseteq R \rightarrow R^{10}$ tal que $F(x) = (f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x), f_6(x), f_7(x), f_8(x), f_9(x), f_{10}(x))$ no qual o domínio é representado pelos DAS ($X=[21; 35]$). O contradomínio R^{10} representa as variáveis

de saída avaliadas: Número de Folhas (NF), Comprimento da Raiz (CR), Diâmetro do Bulbo (DB), Comprimento do Bulbo (CB), Peso Verde da Raiz (PVR), Peso Verde da Folha (PVF), Peso Verde do Bulbo (PVB), Peso Seco da Raiz (PSR), Peso Seco da Folha (PSF) e Peso Seco do Bulbo (PSB).

2.3 Método de determinação dos conjuntos *fuzzy*

A variável de entrada do SBRF desenvolvido foi o DAS. Uma vez que tal variável foi, no experimento realizado, estabelecida nos valores 21, 28 e 35, definiram-se três conjuntos *fuzzy* (relacionados a tais valores de DAS) denominados C_1 , C_2 e C_3 de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Definição das funções de pertinência da variável de entrada DAS.

Conjunto <i>Fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores
C_1	Triangular	[14, 21, 28]
C_2	Triangular	[21, 28, 35]
C_3	Triangular	[28, 35, 42]

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os conjuntos *fuzzy* de saída que são apresentados na Tabela 3 foram estabelecidos como sendo da forma triangular, no qual o único ponto com grau de pertinência 1,00 de cada conjunto foi exatamente igual à média do tratamento correspondente.

Os demais delimitadores do triângulo referente à função de pertinência foram escolhidos com uma distância de 01 desvio padrão (σ) da média do tratamento, sendo referente aos dados do tratamento. O que permitiu determinar o acréscimo e/ou redução de 01 desvio padrão à média foi a regra empírica dada ao fato de que para dados distribuídos normalmente, a população mínima entre o intervalo $[m-\sigma, m+\sigma]$ é de 68% (ROSS, 1987).

Além disto, para as médias m_i da variável de saída relacionadas aos conjuntos de entrada C_i , ou ainda ao DAS $14 + 7i$, $i = 1,2,3$, poderiam não serem crescentes, isto é, não necessariamente ocorrer $m_1 \leq m_2 \leq m_3$. Logo, buscando-se realizar uma reordenação de tais valores, definiu-se o conjunto ordenado $\{p_1, p_2, p_3\} = \{m_{k_1}, m_{k_2}, m_{k_3}\}$, onde $m_{k_1} \leq m_{k_2} \leq m_{k_3}$, e $k_i \in \{1,2,3\}$, $i = 1,2,3$. Abordagens semelhantes de definição de funções de pertinência foram utilizados por

Cremasco (2008), Cremasco et al. (2010), Gabriel Filho et al. (2011), Putti et al. (2014) e Putti et al. (2017). Como ilustra a Tabela 3.

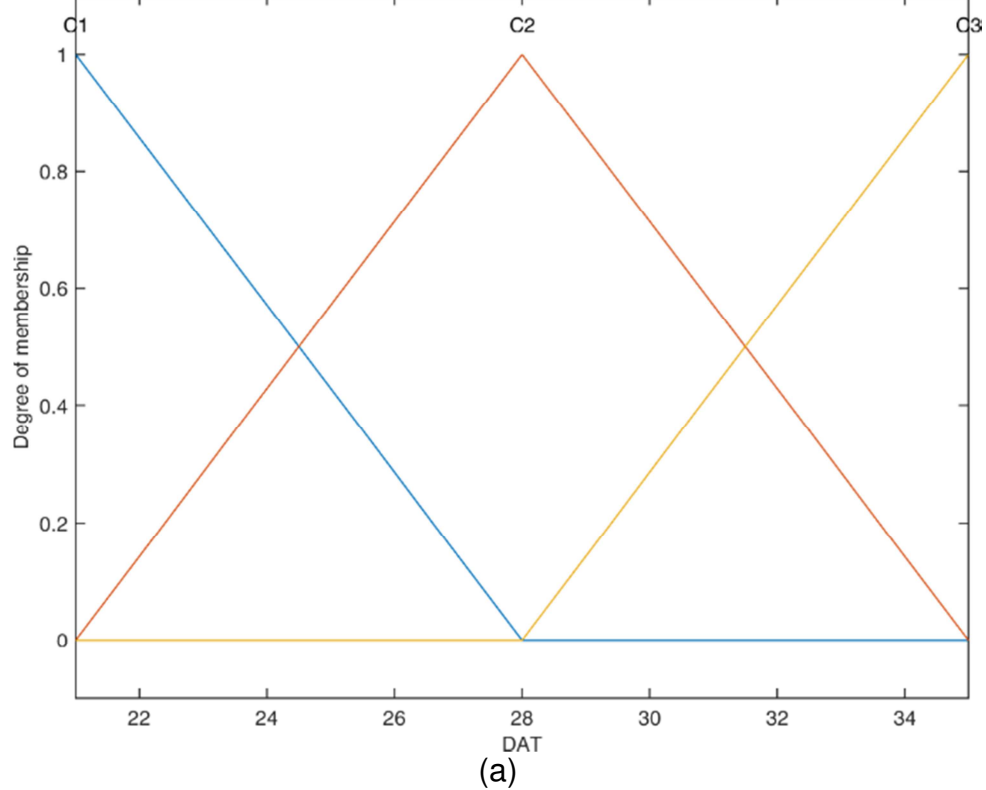
Tabela 3 - Definição das funções de pertinência da variável de entrada DAS

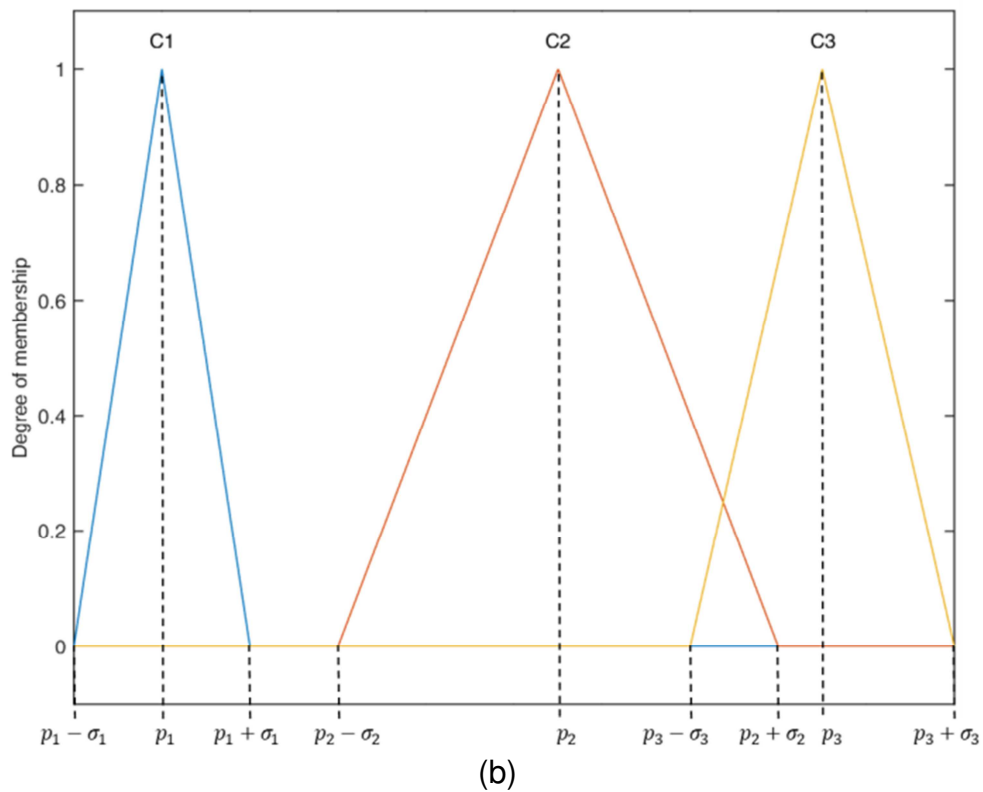
Conjunto <i>Fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores
C_1	Triangular	$[p_1 - \sigma_1, p_1, p_1 + \sigma_1]$
C_2	Triangular	$[p_2 - \sigma_2, p_2, p_2 + \sigma_2]$
C_3	Triangular	$[p_3 - \sigma_3, p_3, p_3 + \sigma_3]$

Fonte: Elaborado pelo autor.

As funções de pertinência da variável de Entrada (DAS) e Saída (Peso verde do bulbo), estão representadas na Figura 2.

Figura 2 - Funções de pertinência das variáveis de entrada (a) e saída (b).





2.4 Método de determinação da base de regras

A base de regras do sistema *fuzzy* foi elaborada da forma:

Se DAS é C_i então a variável saída é $C_k, i = 1,2,3$.

A Tabela 4 apresenta os pontos das variáveis assim consideradas e as combinações dos conjuntos *fuzzy* descritas.

Tabela 4 - Combinações das variáveis de entrada com pontos de grau de pertinência 1,00 associados aos conjuntos *fuzzy* para a construção da base de regras.

Conjunto <i>Fuzzy</i>	Conjunto <i>Fuzzy</i>
C_1	C_{k_1}
C_2	C_{k_2}
C_3	C_{k_3}

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.5 Método de inferência e defuzzyficação

O método de inferência Mandani proposto por Mamdani e Assilian (1975) foi utilizado para o cálculo do valor numérico das variáveis de saída, e, de acordo

com Ross (2010), é o método mais comum praticado na literatura, tal método pode ser calculado da seguinte forma:

$$y = \frac{\sum_x \mu_a(x)x}{\sum_x \mu_a(x)} \quad (3)$$

Para a implementação computacional do sistema *fuzzy* desenvolvido, foram utilizados os softwares Microsoft Excel e Matlab®, cujas licenças para seu uso a FCE/UNESP, Campus de Tupã, possui. Ainda, com o auxílio da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do software Matlab®, foi possível elaborar a representação do SBRF, determinando as funções de pertinência, as superfícies e os mapas de contorno que representam o sistema.

2.6 Método de análise do grau de ajuste do modelo

Para a verificação da adequação do modelo *fuzzy* frente ao modelo de regressão de grau 2, foram aplicados os seguintes testes e cálculos de índices em ambos modelos.

2.7 Teste QUI-QUADRADO (χ^2)

Conforme explica Larson (2010), o teste qui-quadrado é usado para testar se uma distribuição de frequência se encaixa em uma distribuição esperada. Teste de hipóteses que se destina a encontrar um valor da dispersão para duas variáveis nominais, avaliar a associação existente entre variáveis qualitativas. É um teste não paramétrico, ou seja, não depende de parâmetros populacionais, como média e variância.

$$\chi_c^2 = \sum_{k=1}^n \frac{(y_k - \hat{y}_k)^2}{\hat{y}_k} \quad (4)$$

O teste é realizado após o cálculo do p-valor considerando-se $n - 1$ graus de liberdade.

2.8 Coeficiente de determinação (R^2)

Busca avaliar a qualidade do ajuste do modelo, e indica quanto o modelo foi capaz de explicar os dados coletados.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2}{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2} \quad (5)$$

O teste é realizado após o cálculo do p-valor considerando-se $n - 1$ graus de liberdade.

2.9 Teste da falta de ajuste (*lack of fit*)

Consiste em quantificar quanto o modelo se ajusta aos dados. Logo, modelos mal ajustados apresentam uma grande variância em torno do ajuste (falta de ajuste), ou ainda, o modelo neste caso não passa pela média de cada repetição. Modelos bem ajustados possuem erros devido à variação das observações das repetições.

Assim, este teste faz uma partição da soma dos quadrados de uma análise de variância, no qual se realiza um teste F cuja hipótese é a de um modelo proposto bem ajustado.

O valor de F_0 calculado consiste no quociente da soma dos quadrados da parte do erro puro (numerador) e do erro relativo à falta de ajuste do modelo (denominador):

$$F_0 = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n n_i (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{m-2}}{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n-m}} \quad (6)$$

O teste é realizado após o cálculo do p-valor aplicando-se o teste F com graus de liberdade $m - 2 \times n - m$.

2.10 Desvio do quadrado médio da raiz (rmse)

O coeficiente de determinação e o teste de falta de ajuste medem a quantidade de variância na variável que pode ser explicada pelo modelo.

Esta é uma boa indicação, mas, em alguns casos, é mais interessante em quantificar o erro na mesma unidade de medição da variável y . Nesses casos, precisam-se calcular índices que avaliem os resíduos do modelo. O problema é que os resíduos são positivos e negativos e sua distribuição deve ser bastante simétrica. Isso significa que sua média sempre será zero.

Portanto, é necessário encontrar outros índices para quantificar os resíduos médios, por exemplo, calculando a média do quadrado dos resíduos. Este índice tem a mesma unidade de medição da variável y .

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (7)$$

2.11 Desvio do erro quadrado médio da raiz (mae)

O problema com o RMSE é que ele tende a ser mais afetado por grandes resíduos, uma vez que são utilizados o quadrado dos resíduos em seu cálculo. Isso significa que, mesmo que o modelo explique a grande maioria da variação nos dados muito bem, com poucas exceções; exatamente essas exceções irão inflar o valor do RMSE.

Para resolver o problema com grandes resíduos, podemos usar o erro absoluto médio, onde se calcula o valor absoluto dos resíduos:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|}{n} \quad (8)$$

em que:

- y_k é o valor aferido experimentalmente;
- $\hat{y}_k$ é o valor estimado pelo modelo;
- $\bar{y}$ é a média dos valores aferidos experimentalmente;
- n é o número total de aferições;
- m é o número de diferentes valores da variável explicativa x ($x_1, x_2, \dots, x_m$);

- n_i representa o número de aferições associadas à um mesmo valor de x_i (é o número de repetições para cada x_i);
- y_{ij} é o valor aferido experimentalmente da j -ésima repetição associada à x_i ;
- $\hat{y}_i$ é o valor estimado pelo modelo associado à x_i ;
- $\bar{y}_i$ é a média dos valores aferidos experimentalmente (isto é, é a média de $\{y_{ij}\}_{j=1,\dots,n_i} = \{y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in_i}\}$).

Neste presente trabalho, tem-se: $n = 20$, $m = 3$ (sendo que $x_1 = 21$, $x_2 = 28$, $x_3 = 35$ DAS), $n_i = 5$ para $i = 1, 2, 3$ (foram realizadas 5 aferições/repetições para cada x_i), e $\bar{y}_i$ é a média de $\{y_{ij}\}_{j=1,\dots,5} = \{y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{i5}\}$.

As variáveis estudadas neste trabalho foram Número de Folhas (NF), Comprimento da Raiz (CR), Diâmetro do Bulbo (DB), Comprimento do Bulbo (CB), Peso Verde da Raiz (PVR), Peso Verde da Folha (PVF), Peso Verde do Bulbo (PVB), Peso Seco da Raiz (PSR), Peso Seco da Folha (PSF) e Peso Seco do Bulbo (PSB).

2.12 Análise de conglomerados

A Análise de Conglomerados, também chamada de Análise de Cluster, Análise de Agrupamentos, Análise de Taxionomia e Análise de Segmentação enquadra-se na categoria de técnica de agrupamento de objetos ou variáveis (GOUVÊA, PREARO e ROMEIRO, 2012).

Esta técnica possibilita a identificação de grupos com características homogêneas, que pode ser usada quando se tem pelo menos três variáveis numéricas (YOSHIMI TANAKA et al., 2015).

De acordo com os estudos de Gouvêa, Prearo e Romeiro (2012) a análise de conglomerados tem como objetivos:

- Detectar grupos homogêneos nos dados, podendo ser constituídos por variáveis ou casos;
- Agrupar sujeitos ou variáveis em grupos homogêneos a partir de uma ou mais características comuns;
- Agrega objetos com base nas características que eles possuem;
- Agrupar indivíduos semelhantes de acordo com a similaridade das variáveis em estudo e;

-Identificar um conjunto de grupos que minimize a variação dentro do grupo e maximize a variação entre os grupos.

O agrupamento foi realizado por ligação completa que verifica a as distâncias entre os indivíduos mais distantes entre grupos. O método utilizado foi da distância do coeficiente de correlação (HAIR JR. et al., 2005). Esse coeficiente pode ser utilizado para avaliar a consistência do padrão de agrupamento de métodos de agrupamentos hierárquicos, sendo que valores próximos à unidade indicam melhor representação dos agrupamentos (CARGNELUTTI FILHO e GUADAGNIN, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Marouelli (2008) de modo geral as hortaliças apresentam quatro fases de desenvolvimento com relação a necessidade hídrica. A fase 1 inicia-se no plantio e vai até a emergência das plântulas. A fase vegetativa (fase 2) do final da fase 1 até 80% do máximo desenvolvimento vegetativo (plena floração). A fase 3 vai do final da fase 2 até a maturação ou da pré colheita e, a fase 4, do final da fase 3 até a colheita.

No experimento realizado, não foram selecionadas amostras no DAS 14 sendo utilizados os DAS 21, 28 e 35 em virtude de uma condição natural do rabanete, que aos 14 DAS ainda apresenta características de plântula (dois pares de folhas e bulbo mínimo), percorrendo o ciclo em 7 dias de intervalo fixando DAS 35 como o último dia de aferição. Neste estágio, o rabanete já está no ponto de colheita.

3.1 Análise de variância

As médias e o desvio padrão aferidos no experimento utilizando lâmina de 100% da ETc e água convencional, foram utilizadas para compor as funções de entrada do modelo e podem ser observadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Médias e desvio padrão para rabanete irrigado com água convencional e lâmina de 100% Etc.

Variável	DAS		
	21	28	35
NF	4,2±0,6 b	5,3±0,6 a	6,1±0,4 a
CR	10,9±1,5 b	10,3±0,4 b	35,2±4 a
DB	6±2,6 c	25,8±2,8 b	41,4±5,2 a
CB	12,7±1,5 a	18,1±3 a	21±3,4 a
PVR	0,23±0,1 b	0,39±0,04 b	1,12±0,29 a
PVF	3,4±0,6 b	5±2,8 b	12,2±3,3 a
PVB	0,56±0,63 c	8,65±0,95 b	31,95±2,8 a
PSR	0,04±0,02 b	0,1±0,03 b	0,69±0,08 a
PSF	0,4±0,05 b	0,27±0,13 b	1,4±0,28 a
PSB	0,048±0,047 b	0,034±0,004 b	0,702±0,128 a

Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

NF= Número de Folhas, CR= Crescimento da Raiz, DB= Diâmetro do Bulbo, CB= Crescimento do Bulbo, PVR= Peso Verde da Raiz, PVF= Peso Verde Folhas, PVB= Peso Verde Bulbo, PSR= Peso Seco Raiz, PSF= Peso Seco Folhas.

Em hortaliças de ciclo curto, como é o caso do rabanete, o desenvolvimento e a produtividade dependem, em grande parte do clima, que afeta a planta já a partir da germinação, e influenciará a duração do ciclo, a precocidade, a produtividade e a qualidade final do produto (MINAMI e NETTO, 1997).

Creмасco et al. (2015) ao analisar o comprimento de raiz do rabanete, verificou incremento de 38% para as taxas de reposição de 100% da ETc, irrigadas com água convencional.

3.2 Coeficientes de correlação e regressão polinomial

A análise dos coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas informa o grau de influência que cada variável exerce sobre a outra, quando existe correlação entre elas. Este coeficiente varia entre -1,00 e 1,00, sendo que quanto maior for o valor do coeficiente de correlação maior é a influência da variável determinante no resultado da variável resposta. Quanto menor o valor menor a influência.

Os coeficientes de correlação das variáveis biométricas e de produtividade para o tratamento de irrigação com água convencional e lâmina 100% da ETc, estão expostos na **Tabela 6**.

Tabela 6 - Correlações entre as variáveis biométricas e de produtividade (nível de significância de 5%).

	NF	CR	DB	CB	PVR	PVF	PVB	PSR	PSF
CR	-								
DB	0,68	0,61							
CB	-	-	-						
PVR	0,39	0,89	0,61	-					
PVF	0,74	0,69	0,69	-	0,77				
PVB	0,64	0,87	0,85	-	0,87	0,80			
PSR	-	0,95	0,62	-	0,93	0,68	0,88		
PSF	0,60	0,74	0,59	-	0,80	0,89	0,80	0,80	
PSB	0,66	0,53	0,78	-	0,58	0,75	0,74	0,54	0,72

Variáveis com o símbolo “-” não apresentam correlação a um nível de 5% de significância

NF= Número de Folhas, CR= Crescimento da Raiz, DB= Diâmetro do Bulbo, CB= Crescimento do Bulbo, PVR= Peso Verde da Raiz, PVF= Peso Verde Folhas, PVB= Peso Verde Bulbo, PSR= Peso Seco Raiz, PSF= Peso Seco Folhas.

Os coeficientes de correlação do crescimento do bulbo (CB) não se mostraram significativos ao nível de 5%.

É possível verificar, por exemplo, que existe forte influência do peso seco da raiz (PSR) sobre o comprimento da raiz (CR) com o coeficiente de correlação igual a 0,95. Essas variáveis têm relação direta entre si sendo que a raiz tende a crescer à medida que acumula matéria seca (fibras e nutrientes). A emergência das plântulas é bem mais rápida em altas temperaturas, quando o peso das olhas frescas se torna maior do que o peso das raízes, quadro que se inverte em temperaturas baixas (MINAMI e NETTO, 1997).

Os coeficientes de correlação também foram utilizados para a realização de dos testes de validade do modelo fuzzy proposto.

As regressões foram utilizadas como parâmetro de comparação com o modelo fuzzy proposto, em que este teve que ao menos igualar ao coeficiente de determinação (R^2). A Tabela 7 apresenta as funções de regressão, os coeficientes de determinação das variáveis da cultura.

Tabela 7 - Coeficientes de regressão e determinação das equações de estimativa das variáveis biométricas da cultura rabanete submetida à lâmina de 100% de irrigação utilizando água tipo convencional.

Variável	$y = \sum_{i=0}^3 a_i x^i = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$			R^2
	a_0	a_1	a_2	
NF	-0,9	0,3071*	-0,003061	0,73*
CR	165,3	-12,81*	0,2597*	96,5*
DB	-78,28	4,906*	-0,04252	0,95*
CB	-18,96	2,057*	-0,02614	0,66*
PVR	3,077	-0,2553*	0,005695*	0,85*
PVF	31,59	-2526*	0,0563	0,74*
PVB	64,49	-6,445*	0,1551*	0,98*
PSR	3,066	-0,2584*	0,005443*	0,97*
PSF	8,375	-0,6505*	0,01289*	0,90*
PSB	4,181	-0,3430*	0,006959*	0,95*
NF	-0,9	0,3071*	-0,003061	0,73*

* significativo para valor- $p < 0,05$.

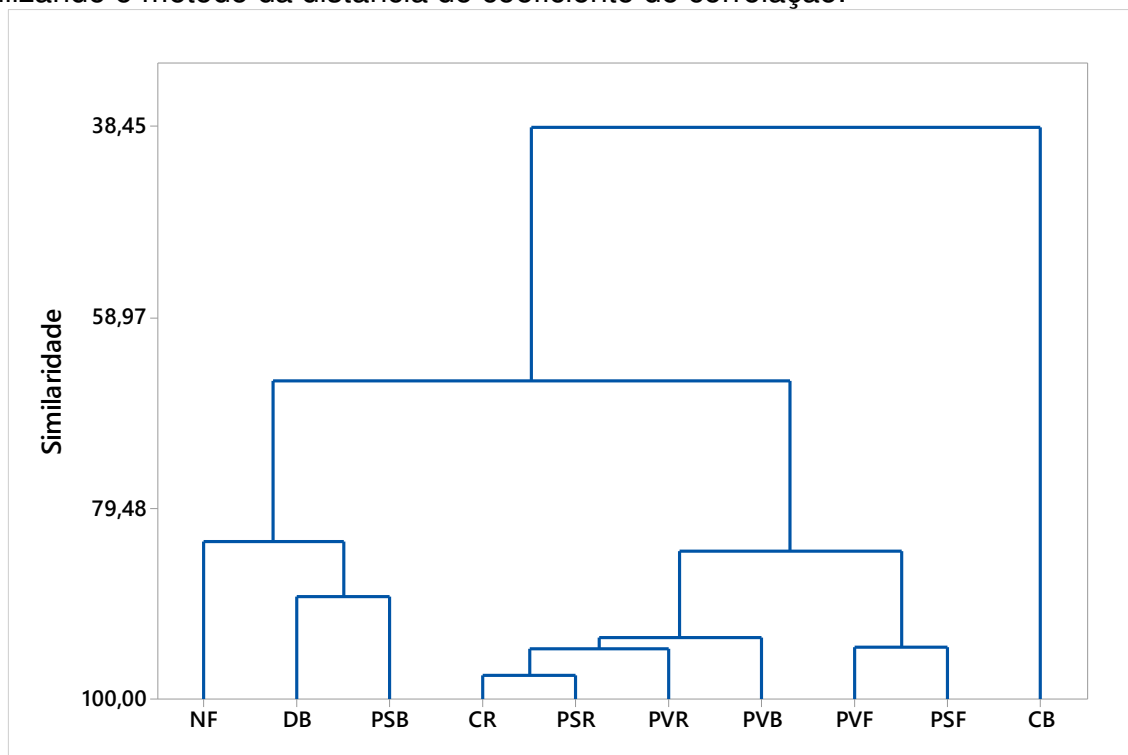
NF= Número de Folhas, CR= Crescimento da Raiz, DB= Diâmetro do Bulbo, CB= Crescimento do Bulbo, PVR= Peso Verde da Raiz, PVF= Peso Verde Folhas, PVB= Peso Verde Bulbo, PSR= Peso Seco Raiz, PSF= Peso Seco Folhas.

Os coeficientes de regressão (R^2) que não se mostraram significativos a um nível de 5% foram referentes ao crescimento do bulbo ($R^2=21\%$) e peso seco da raiz ($R^2=20\%$). Para estas duas variáveis verificou-se o grau de ajuste.

3.3 Análise de conglomerados

Outra forma de observar a interação dos dados entre si e seus coeficientes de correlação é por meio da análise de aglomerados. A Figura 3 mostra o dendrograma disposto para o agrupamento hierárquico (ligação completa) das variáveis pelo método da distância do coeficiente de correlação.

Figura 3 - Dendograma resultante da análise multivariada do tipo ligação completa, utilizando o método da distância do coeficiente de correlação.



À vista dos coeficientes de correlação que foram obtidos para as influências que cada variável pode exercer sobre as outras fica nítido a razão pela qual se pode agrupar variáveis de partes diferentes da planta do rabanete. O que é avaliado para esse agrupamento é a distância entre os coeficientes de correlação no universo dos dados base, ou seja, as variáveis NF, DB e PSB apresentam coeficientes de correlação entre si com mesmos valores ou muito próximos (0,64 0,64 e 0,83, respectivamente).

Neste caso existem três grupos que se distanciam entre si e ao mesmo tempo apresentam menor distância entre os membros de dentro do grupo em um grau de similaridade de cerca de 79,5%. Essa similaridade pode também ser observada sumariamente por meio da amalgamação da análise multivariada (Tabela 8) do tratamento irrigado com água convencional.

Tabela 8 - Passos de Amalgamação da Análise Multivariada das variáveis.

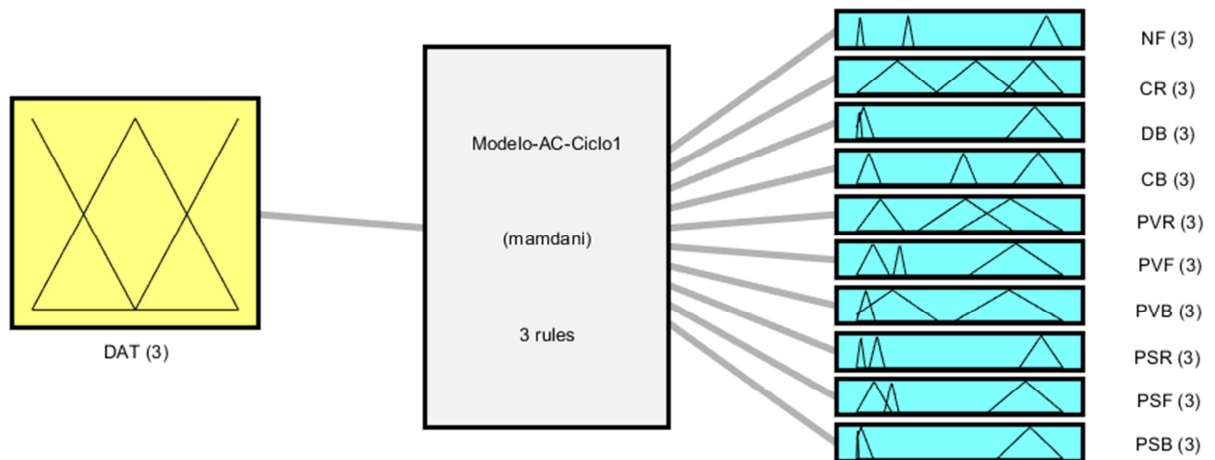
Passo	Número de agrupados	Nível de similaridade	Nível de distância	Agrupados reunidos		Novo agrupado	Nº de obs. no novo agrupado
1	9	97,4496	0,05101	2	8	2	2
2	8	94,4419	0,11116	2	5	2	3
3	7	94,396	0,11208	6	9	6	2
4	6	93,3925	0,13215	2	7	2	4
5	5	88,9104	0,22179	3	10	3	2
6	4	83,9232	0,32154	2	6	2	6
7	3	82,9228	0,34154	1	3	1	3
8	2	65,7491	0,68502	1	2	1	9
9	1	38,4535	1,23093	1	4	1	10

O interessante desse tipo de análise é que não importa muito a quantidade de grupos, mas sim o nível de similaridade, desde que este apresente maior quantidade possível de grupos e os grupos a maior quantidade de elementos. Como exemplo, temos o passo 1 que apresenta maior nível de similaridade da (97,4496%) com apenas 2 grupos como comparação, sendo um grupo com oito elementos e o outro com apenas dois. Pode-se então sugerir um melhor agrupamento tomando como referência o passo 3, com um total de sete grupos e nível de similaridade a 94,3960%.

3.4 Sistema baseado em regras fuzzy

Foram elaboradas as funções de pertinência dos conjuntos fuzzy das variáveis de saída (**Figura 4**) estudadas neste trabalho da cultura do rabanete irrigada com água convencional a uma lâmina de 100% ETc.

Figura 4 - SBRF de avaliação da cultura do rabanete irrigado com água convencional e lâmina de 100% da ET_c, com 3 variáveis de entrada (DAS), 10 variáveis de saída (variáveis biométricas e de produtividade) e 3 regras para cada variável de saída.



Foram apurados os valores de entrada para determinação da base de regras e validação do modelo (**Tabela 9**) utilizando a metodologia proposta.

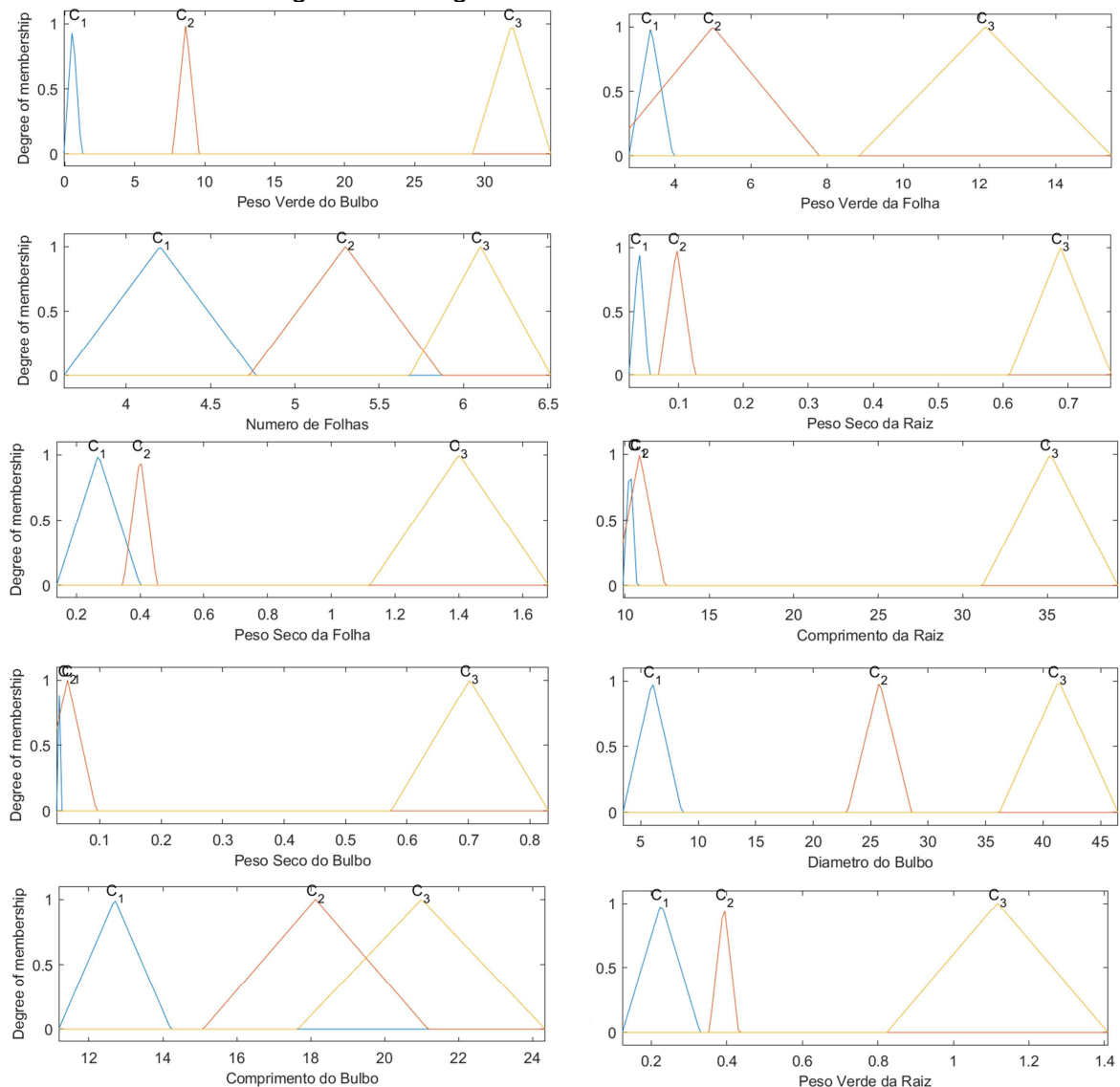
Tabela 9 - Extrato de validação do modelo fuzzy para as variáveis de saída da cultura do rabanete irrigado com água convencional a uma lâmina de 100% ETc.

Variável	Índices	Modelo Fuzzy	Regressão	
			Equação	
PVB	χ^2	3.507 (p=0.9978)	3.507 (p=0.9978)	$y = 0.155.x^2 - 6.445.x + 67.491$
	R^2	0.986 (p=0)	0.986 (p=0)	
	F_0	0 (p=0.0002)	0 (p=0)	
	RMSE	1.562	1.562	
	MAE	1.052	1.052	
NF	χ^2	0.682 (p=1)	0.682 (p=1)	$y = -0.003.x^2 + 0.307.x - 0.9$
	R^2	0.734 (p=0)	0.734 (p=0)	
	F_0	0 (p=0)	0 (p=0)	
	RMSE	0.469	0.469	
	MAE	0.4	0.4	
CR	χ^2	2.689 (p=0.9995)	2.679 (p=0.9995)	$y = 0.26.x^2 - 12.81.x + 165.344$
	R^2	0.965 (p=0)	0.965 (p=0)	
	F_0	0.0166 (p=0.1003)	0 (p=0)	
	RMSE	2.219	2.219	
	MAE	1.567	1.554	
DB	χ^2	7.544 (p=0.9117)	7.543 (p=0.9117)	$y = -0.043.x^2 + 4.907.x - 78.277$
	R^2	0.95 (p=0)	0.95 (p=0)	
	F_0	0 (p=0.0001)	0 (p=0)	
	RMSE	3.305	3.305	
	MAE	2.392	2.392	
CB	χ^2	4.958 (p=0.9864)	4.958 (p=0.9864)	$y = -0.026.x^2 + 2.057.x - 18.959$
	R^2	0.661 (p=0.0002)	0.661 (p=0.0002)	
	F_0	0 (p=0)	0 (p=0)	
	RMSE	2.463	2.463	
	MAE	1.97	1.97	
PVR	χ^2	0.467 (p=1)	0.467 (p=1)	$y = 0.006.x^2 - 0.255.x + 3.077$
	R^2	0.851 (p=0)	0.851 (p=0)	
	F_0	0 (p=0.0001)	0 (p=0)	
	RMSE	0.162	0.162	
	MAE	0.114	0.114	
PVF	χ^2	10.729 (p=0.7072)	10.605 (p=0.7167)	$y = 0.056.x^2 - 2.526.x + 31.587$
	R^2	0.741 (p=0)	0.741 (p=0)	
	F_0	0.0108 (p=0.0812)	0 (p=0)	
	RMSE	2.257	2.256	
	MAE	1.694	1.69	
PSR	χ^2	0.091 (p=1)	0.091 (p=1)	$y = 0.005.x^2 - 0.258.x + 3.066$
	R^2	0.978 (p=0)	0.978 (p=0)	
	F_0	0 (p=0.0003)	0 (p=0)	
	RMSE	0.044	0.044	
	MAE	0.033	0.033	
PSF	χ^2	0.561 (p=1)	0.561 (p=1)	$y = 0.013.x^2 - 0.651.x + 8.375$
	R^2	0.907 (p=0)	0.907 (p=0)	
	F_0	0 (p=0.0001)	0 (p=0)	
	RMSE	0.162	0.162	
	MAE	0.117	0.117	
PSB	χ^2	0.307 (p=1)	0.261 (p=1)	$y = 0.007.x^2 - 0.343.x + 4.181$
	R^2	0.951 (p=0)	0.951 (p=0)	
	F_0	0.1643 (p=0.3076)	0 (p=0)	
	RMSE	0.071	0.07	
	MAE	0.043	0.041	

NF= Número de Folhas, CR= Crescimento da Raiz, DB= Diâmetro do Bulbo, CB= Crescimento do Bulbo, PVR= Peso Verde da Raiz, PVF= Peso Verde Folhas, PVB= Peso Verde Bulbo, PSR= Peso Seco Raiz, PSF= Peso Seco Folhas.

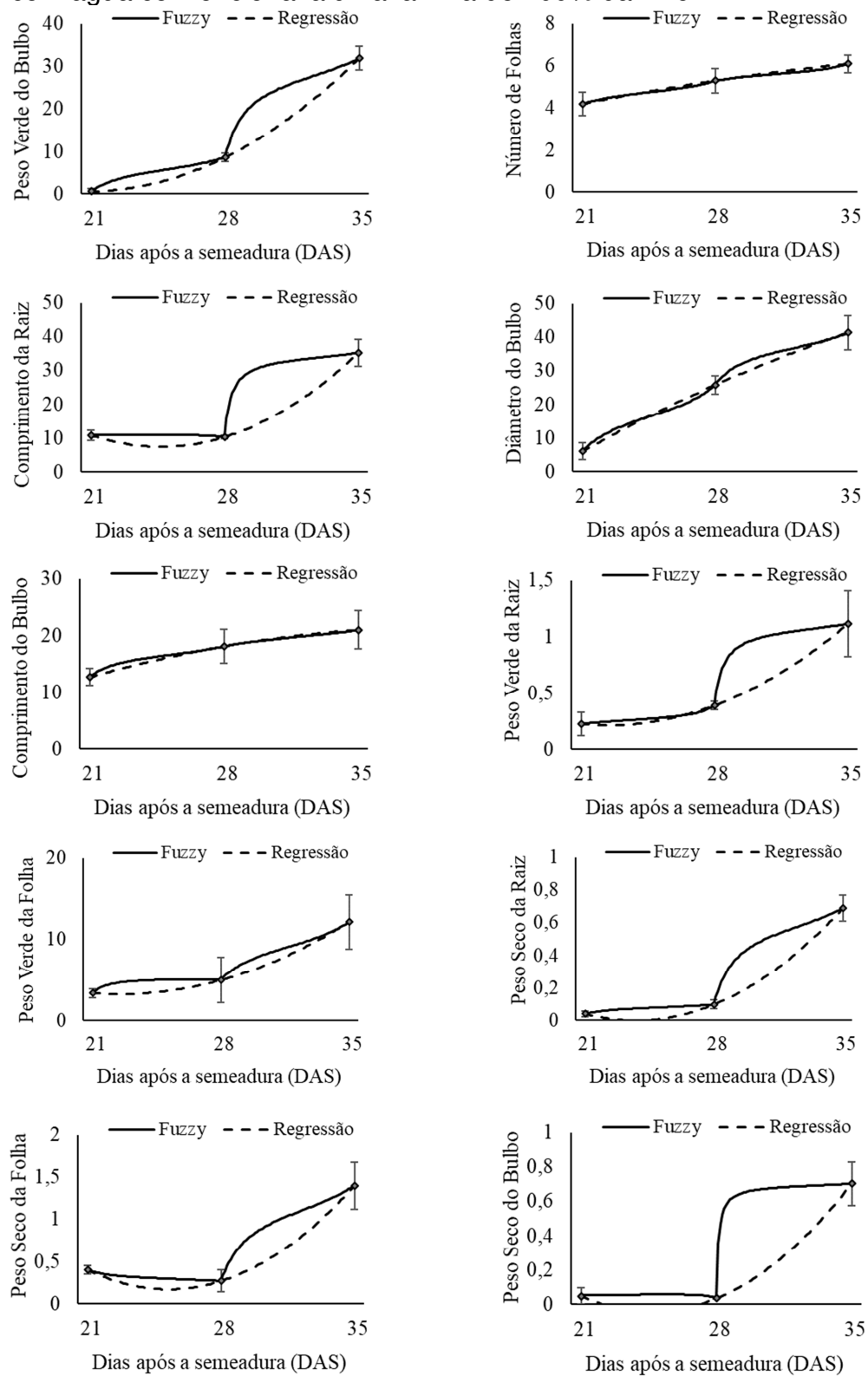
As funções resposta obtidas pelo modelo fuzzy para a cultura do rabanete irrigado com água convencional a uma lâmina de 100% da ETc foram representadas graficamente como apresenta a figura 5 e figura 6.

Figura 5 - Funções de pertinência dos conjuntos fuzzy das variáveis de saída da cultura do rabanete irrigado com água convencional a uma lâmina de 100%ETc.



As variáveis respostas obtidas são apresentadas graficamente pela Figura 10.

Figura 6 - Funções resposta obtidas pelo modelo fuzzy para a cultura do rabanete irrigado com água convencional a uma lâmina de 100% da ETc.



4 CONCLUSÕES

A análise multivariada permitiu realizar apontamentos unindo o universo real e as técnicas matemáticas para mensurar a capacidade do modelo expressar numericamente situações naturais.

Os modelos fuzzy foram capazes de desvendar o crescimento e desenvolvimento do rabanete aferindo de forma mais sensível as variações dos dados em relação aos seus dias de semeadura (DAS), por meio de funções matemáticas que se igualaram ou venceram, em desempenho, a técnica de regressão.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA, G. J.; MARTÍN, R. M. Água tratada magneticamente estimula a germinação e desenvolvimento de mudas de *solanum lycopersicum* L. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.6, n.1., p.47-53, mar, 2016.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. Experimentação agrícola. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247 p.
- 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, v. 19, n. 3, p. 196-199, novembro 2001.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; GUADAGNIN, J. P. Consistência do padrão de agrupamento de cultivares de milho. **Ciência Rural**, v.41, p.1503-1508, 2011.
- CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Legenda atualizada do Levantamento de Solos da Fazenda Lageado-Estação Experimental “Presidente Médice” Boletim CI. FCA/UNESP, Botucatu, n.1, 1983. 95p.
- 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. ix, 97 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2008.
- 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**, Botucatu, v.25, n.1, p.21-39, 2010.
- CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; PUTTI, F. F.; LUDWIG, R.; SILVA JUNIOR, J.F. Resposta da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente e convencional. In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA 2015), 2015, São Pedro-SP. XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA 2015). Jaboticabal: SBEA - Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. v. 54. p. 1-9.
- FERRO, M. G. F.; COSTA, R. DE H; JÚNIOR, J. P. F. DE A.; BARBOSA, A. L. P.; DOS SANTOS, M. A. L. Análise da cultura do rabanete submetida a diferentes níveis de salinidade e lâminas de irrigação. In. **INOVAGRI**, III, 2015, Fortaleza, Brasil, International Meeting, 2015.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION - FAO. **Crop Evapotranspiration Guidelines For Computing Crop Water Requirements - Irrigation and drainage**. Local: FAO, 56 p., 1998.
- 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**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 813-825, 2011.

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.

HAIR JR., J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. & BLACK, W. C. Análise multivariada de dados. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

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

LACERDA, V. R. L.; GONÇALVES B. G.; OLIVEIRA F. G.; SOUSA, Y. B.; CASTRO, I. L. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E PRODUTIVAS DO RABANETE SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.11, nº.1, p. 1127 - 1134, 2017.

LOPES, M. M.; CASTELO BRANCO, V. T. F.; SOARES J. B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Transportes** v. 21, n. 1, p. 59–66, 2013.

MARQUELLI, W. A.. Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. - 2 ed. rev. atual. ampl. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica . 2008. 150 p. : il.

MINAMI, K.; NETTO, J. T. **Rabanete**: cultura rápida, para temperaturas amenas e solos areno-argilosos. Piracicaba: ESALQ, 1997. 27 p. (Série Produtor Rural, 4).

NESPOLI, A.; COCHEV, J. S.; NEVES, J. M. A. S.; SEABRA JÚNIOR, S. Produção de hortaliças pela agricultura familiar de alta floresta, amazôniamatogrossense. **Campo-território: revista de geografia agrária**, v. 10, n. 21, p. 159-191, ago.; 2015.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO GABRIEL, C. P.; NETO, A. B.; BONINI, C. S. B.; RODRIGUES DOS REIS, A..A *Fuzzy* mathematical model to estimate the effects of global warming on the vitality of *Laelia purpurata* orchids. **Mathematical Biosciences**, v. 288, p. 124-129, 2017.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; KLAR, A. E.; SILVA JUNIOR, J. F.; CREMASCO, C. P.; LUDWIG, R. Response of lettuce crop to magnetically treated irrigation water and different irrigation depths. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos v. 10, n. 22, p. 2300-2308, 2015.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; SILVA, A. O.; LUDWIG, R.; CREMASCO, C. P. *Fuzzy* logic to evaluate vitality of *catasetumfimbriatum* species (Orchidacea). **Irriga,Botucatu**, v.19, n.3, p.405-413, 2014.

PUTTI, F. F.; KLAR, A. E.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; SILVA JUNIOR, J. F..Sistema baseado em regras *fuzzy* para avaliação da produtividade da alface submetida a irrigação água tratada magneticamente e em diferentes taxas de reposição. In: XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola-Conbea 2016,

2016, Florianópolis - Santa Catarina. XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2016.

REICHARDT, K. **Água e sustentabilidade no sistema solo-planta-atmosfera**. Barueri, SP: Manole, 2016.

ROSS, Sheldon M. - Introduction to probability and statistics for engineers and scientists, 1987.

SCHUSTER, M. Z.; KAWAKAMI, J.; BROETTO, D.; SZYMCAK, L. S.; RAMALHO, K. R. O. Influência do fotoperíodo e da intensidade de radiação solar no crescimento e produção de tubérculos de rabanete. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 2, p. 73-86, out. 2012.

SILVA, L. F. O. ; CAMPOS, K. A.; MORAIS, A. R.; COGO, F. D.; ZAMBON, C. R. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanetes. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 5, p. 624-629, out. 2012.

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

TUNDISI, José Galizia. **Recursos hídricos no século XXI** – São Paulo : Oficina de Textos, 2011.

VALLADARES NETO, J.; SANTOS, C. B.; TORRES E. M.; ESTRELA, C.. Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. **Rev Odontol Bras Central** 2017; 26(76): 1-6

VIAIS NETO, D. S.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; BORDIN, D.; SILVA JUNIOR, J. F.. Sistema baseado em regras *fuzzy* da altura do tomateiro em função da irrigação e da salinidade da água no momento da colheita. **Quarto Congresso Brasileiro de Sistemas Fuzzy**. Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional – SBMAC. São Paulo, 2016.

YOSHIMI TANAKA, O.; DRUMOND JÚNIOR, M.; CRISTO, E. B.; SPEDO, S. M.; SILVA PINTO, N. R.. Uso da análise de clusters como ferramenta de apoio à gestão no SUS. **Saude soc.**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 34-45, Mar. 2015.

CAPÍTULO II – “MODELAGEM FUZZY PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO RABANETE IRRIGADO COM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE SEM ESTRESSE HÍDRICO”

1 INTRODUÇÃO

A olericultura é um ramo relevante para a economia agrícola brasileira, visto que contribui significativamente para o PIB do agronegócio e gera inúmeros empregos primários para o setor (LACERDA et al., 2017).

A produção de hortaliças é um dos setores produtivos que tem tido um caráter mais intensivo (AGUILERA e MARTIN, 2016).

De acordo com Nespoli et al. (2015) estima-se que somente os agricultores familiares sejam responsáveis por produzirem de 23 a 25 milhões de toneladas de hortaliças em um total de 808 mil hectares de área cultivada.

Originário da região mediterrânea o rabanete (*Raphanus sativus* L.) é uma olerícola pertencente à família Brassicaceae, a planta é de pequeno porte, a parte comestível é sua raiz carnuda, de formato globular; alongada ou ovóide, que é de cor avermelhada por fora e polpa branca apresentando como característica peculiar o sabor picante (FERRO et al., 2015). A raiz tuberosa do rabanete é a parte que apresenta maior importância econômica, e importante fonte de nutrientes (SCHUSTER et al., 2012), sendo utilizado em saladas e na fabricação de conservas (SILVA, 2012).

O rabanete apesar de ser uma cultura de pequena importância em termos de área plantada, é cultivado em grande número de pequenas propriedades (CARDOSO e HIRAKI, 2001).

Geralmente, a produção de rabanete é feita por pequenos produtores que cultivam grande número de espécies ao mesmo tempo. Uma das vantagens de se cultivar o rabanete é a possibilidade de auferir ganhos durante o tempo transcorrido entre duas outras culturas de ciclo mais longo, pois além de ser relativamente rústica, apresenta ciclo muito curto possibilitando retorno rápido. (CARDOSO e HIRAKI, 2001).

Cerca de 97,5% das águas são salgadas e 2,5% doces. Apenas 0,3% está em lagos e rios prontamente disponíveis para o homem. Destes últimos, 65% são utilizados em atividades agrícolas; 22% pela indústria; 7%, pelos municípios; e

os outros 6% são perdidos em termos de uso para o homem. Os 65% de água doce destinados à agricultura são utilizados quase integralmente na irrigação (REICHARDT, 2016).

Evidentemente, há relação direta entre a água e a economia agrícola, tanto da economia de pequeno porte e produção de subsistência quanto dos agro ecossistemas de grande produção (TUNDISI, 2011).

A água é fator fundamental na produção vegetal. Sua falta ou seu excesso afetam de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas e, por isso, seu manejo racional é imperativo na maximização da produção agrícola, assim um manejo mais racional da irrigação pode levar à economia de grandes volumes de água (REICHARDT, 2016). À medida que aumentam os usos competitivos da água para agricultura, indústria e abastecimento público, aumentam os custos da irrigação (TUNDISI, 2011).

Diante das problemáticas envolvendo a produção agrícola e o uso racional da água, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias para ganho produtivo uma gama de trabalhos surge utilizando o tratamento magnético da água (ATM) nas diversas funções da atividade agrícola.

As propriedades físico-químicas da água tratada magneticamente e seus efeitos nos processos biológicos foram exploradas por Insua et al (2009) que identificaram mudanças nas propriedades naturais da água quando submetida a um campo magnético.

Os estudos de Maheshwari et al. (2009), por exemplo, investigaram os efeitos do tratamento magnético na água potável, na água de reuso e na água salina, os resultados indicaram efeito benéfico da água tratada magneticamente para irrigação, particularmente para a água salina e reuso da água, sobre a produtividade da água e rendimento das plantas de ervilha de neve e salsão.

A capacidade de melhorias na germinação de mudas irrigadas com água tratada magneticamente foi o resultado obtido por Aguilera e Martin (2016). A influência no crescimento e desenvolvimento da alface irrigada com ATM foi averiguada por Putti (2014) que obteve como resultado o aumento da produção e a redução do uso da água para irrigação.

Estudos de Duarte et al. (2005) sobre os efeitos do uso da ATM em espécies de palmeiras durante o período de desenvolvimento das plantas obtiveram

como resultado a resposta das plantas ao estímulo da ATM, reduzindo a sedimentação de sais sobre a folhagem, elevando a vida útil do sistema de irrigação.

Os trabalhos de Zuñiga Escobar et al. (2016) detectaram aumento estatisticamente significativo no comprimento da haste principal, o número de rizomas, no número de perfilhos, na massa fresca e massa seca, considerando, a aplicação da ATM como uma tecnologia promissora para melhorar o desempenho do cultivo de cúrcuma.

De acordo com estudos realizados por Cremasco et al. (2015), “a irrigação utilizando água tratada magneticamente proporcionou aumento significativo comparado com a irrigação sem tratamento magnético para a cultivo de rabanete à taxa de reposição de 100% da Evapotranspiração (ETc)”.

Há ainda trabalhos que obtiveram resultados positivos sobre a atuação da ATM nos diversos tipos de solos (CARBONELL PADRINO et al., 2003), nos efeitos da condutividade elétrica no solo (ZLOTOPOLSKI, 2017) e no processo de interação da água no sistema solo-planta-atmosfera (PUTTI et al., 2014) e (KLAR et al., 2015).

A água tratada magneticamente (ATM) mostrou-se um potencial promissor para uso na agricultura, com uma ampla gama de benefícios, incluindo a dessalinização de solos (ZLOTOPOLSKI, 2017).

A aplicação de ATM pode ser utilizada como alternativa aos métodos químicos de tratamento de plantas para melhorar a eficiência produtiva (ZUÑIGA ESCOBAR et al., 2016).

Diante da diversidade de trabalhos envolvendo a água tratada magneticamente aplicada na agricultura, este capítulo visa obter um sistema baseado em regras *fuzzy* (SBRF) para o desenvolvimento da cultura do rabanete submetido à irrigação com água tratada magneticamente a uma lâmina de 100% da ETc.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho é obter um sistema baseado em regras fuzzy (SBRF) para avaliação das variáveis biométricas e de produtividade do rabanete ao longo do seu desenvolvimento, quando irrigado com água tratada magneticamente e sem estresse hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo tratará apenas da aplicação do Modelo Fuzzy para as variáveis biométricas e de produtividade referentes ao cultivo irrigado com água tratada magneticamente (ATM). Para tanto toda a metodologia realizada no Capítulo I – “Modelo *fuzzy* para avaliação das variáveis biométricas do rabanete utilizando irrigação com água convencional a uma lâmina de 100%”, foi aplicada aos dados do rabanete irrigado com a água tratada magneticamente e então apresentados os SBRF e seus resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Marouelli (2008) de modo geral as hortaliças apresentam quatro fases de desenvolvimento com relação a necessidade hídrica. A fase 1 inicia-se no plantio e vai até a emergência das plântulas. A fase vegetativa (fase 2) do final da fase 1 até 80% do máximo desenvolvimento vegetativo (plena floração). A fase 3 vai do final da fase 2 até a maturação ou da pré-colheita e, a fase 4, do final da fase 3 até a colheita.

3.1 Análise de variância

As médias e o desvio padrão do experimento de rabanete utilizando lâmina de 100% da ETc e água convencional foram utilizadas para compor as funções de entrada do modelo e podem ser observadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Médias e desvio padrão para rabanete irrigado com ATM e lâmina de 100% Etc.

Variável	DAS					
	21		28		35	
NF	4,7±0,6	b	6,2±0,4	a	7,3±0,9	a
CR	8,4±1,5	b	8,3±1	b	42,8±5,3	a
DB	9,1±1,6	c	37,3±3,6	b	51,8±5,7	a
CB	13,5±0,8	a	30,8±5,3	a	26,2±8,1	b
PVR	0,29±0,11	b	0,41±0,14	b	1,09±0,35	a
PVF	8,3±1,9	b	16,2±10	b	29,1±6,2	a
PVB	1,4±0,51	c	23,94±5,24	b	37,24±4	a
PSR	0,05±0,02	b	0,09±0,03	b	1,39±0,29	a
PSF	0,67±0,17	b	0,66±0,3	b	2,7±0,42	a
PSB	0,181±0,182	b	0,031±0,01	b	1,49±0,318	a

Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

NF= Número de Folhas, CR= Crescimento da Raiz, DB= Diâmetro do Bulbo, CB= Crescimento do Bulbo, PVR= Peso Verde da Raiz, PVF= Peso Verde Folhas, PVB= Peso Verde Bulbo, PSR= Peso Seco Raiz, PSF= Peso Seco Folhas.

3.2 Coeficientes de correlação e regressão polinomial

A análise dos coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas informa o grau de influência que cada variável exerce sobre a outra, quando existe correlação entre elas. Este coeficiente varia entre -1 e 1, sendo que quanto maior for o valor do coeficiente de correlação maior é a influência da variável determinante no resultado da variável resposta. Quanto menor o valor menor a influência.

Para o tratamento de irrigação com água convencional e lâmina 100% da ETc, os coeficientes de correlação aos 35 DAS estão expostos na **Tabela 11**.

Tabela 11-Correlações entre as variáveis sob tratamento ATM (ao nível de significância de 5%).

	NF	CR	DB	CB	PVR	PVF	PVB	PSR	PSF
CR	0,7								
DB	0,84	0,76							
CB	0,65	-	0,61						
PVR	0,8	0,83	0,67	-					
PVF	0,77	0,75	0,8	-	0,65				
PVB	0,91	0,75	0,96	0,7	0,81	0,79			
PSR	0,74	0,92	0,71	-	0,91	0,72	0,78		
PSF	0,78	0,93	0,69	-	0,94	0,76	0,77	0,98	
PSB	0,67	0,94	0,66	-	0,76	0,78	0,66	0,92	0,91

Variáveis com o símbolo “-” não apresentam correlação a um nível de 5% de significância

NF= Número de Folhas, CR= Crescimento da Raiz, DB= Diâmetro do Bulbo, CB= Crescimento do Bulbo, PVR= Peso Verde da Raiz, PVF= Peso Verde Folhas, PVB= Peso Verde Bulbo, PSR= Peso Seco Raiz, PSF= Peso Seco Folhas.

3.3 Regressão polinomial

As regressões foram utilizadas como parâmetro de comparação com o modelo fuzzy proposto, em que este teve que ao menos igualar ao coeficiente de determinação (R^2). A

Tabela 12 apresenta as funções de regressão, os coeficientes de determinação das variáveis.

Tabela 12- Coeficientes de regressão e determinação das equações de estimativa das variáveis biométricas da cultura rabanete submetida à lâmina de 100% de irrigação utilizando água tratada magneticamente.

Variável	$y = \sum_{i=0}^3 a_i x^i = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$			R^2
	a_0	a_1	a_2	
NF	-2,2	0,4143*	-0,004082	0,75*
CR	216,6	-17,34*	0,3535*	0,97*
DB	-157,1	10,83*	-0,1390*	0,96*
CB	-170,2	13,44*	-0,2238*	0,68*
PVR	3,255	-0,2603*	0,005665*	0,75*
PVF	15,38	-1,434*	0,05219	0,66*
PVB	-121,8	7,848*	-0,09443*	0,95*
PSR	7,403	-0,6174*	0,01273*	0,94*
PSF	13,07	-1,032*	0,02101*	0,92*
PSB	10,28	-0,8255*	0,01641*	0,92*
NF	-2,2	0,4143*	-0,004082	0,75*

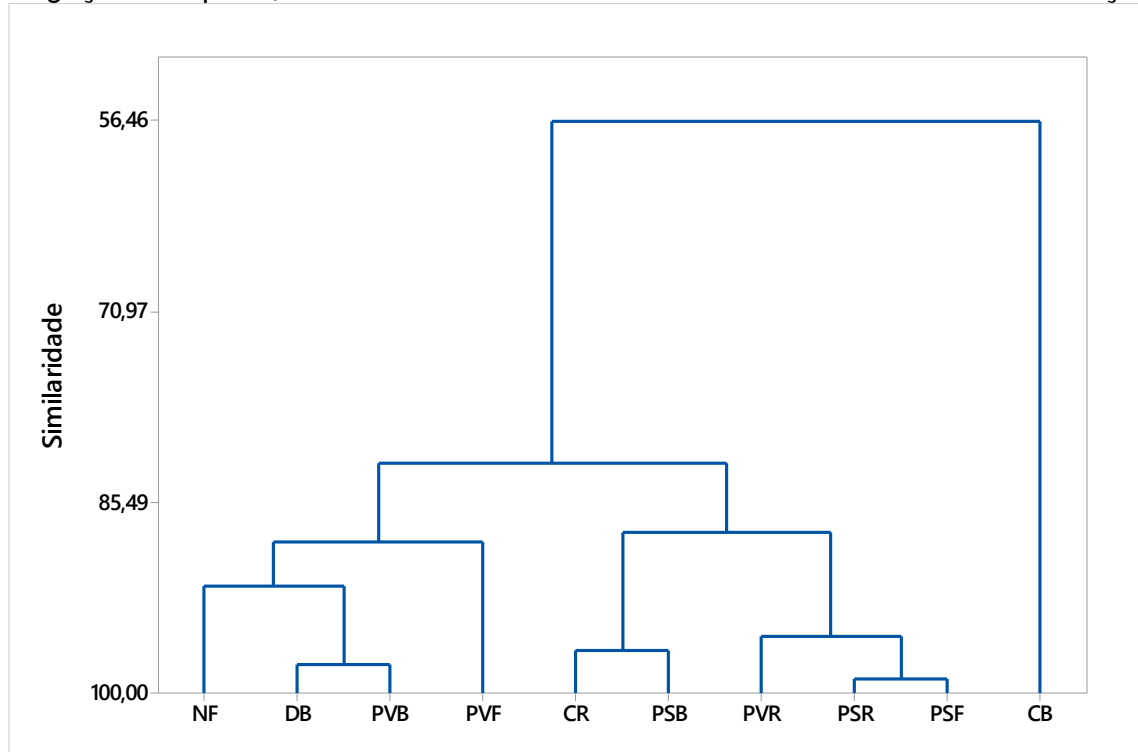
* significativo para valor- $p < 0,05$.

NF= Número de Folhas, CR= Crescimento da Raiz, DB= Diâmetro do Bulbo, CB= Crescimento do Bulbo, PVR= Peso Verde da Raiz, PVF= Peso Verde Folhas, PVB= Peso Verde Bulbo, PSR= Peso Seco Raiz, PSF= Peso Seco Folhas.

3.4 Análise de conglomerados

Observando a interação dos dados entre si e seus coeficientes de correlação por meio da análise de aglomerados tem-se a **Figura 7** que mostra o dendograma para o agrupamento hierárquico (ligação completa) das variáveis pelo método da distância do coeficiente de correlação.

Figura 7 - Dendograma resultante da análise multivariada, sob tratamento ATM, do tipo ligação completa, utilizando o método da distância do coeficiente de correlação.



O agrupamento das variáveis apresentou a um grau de similaridade de 97,77% oito agrupamentos a um nível de distância de 0,044471.

A Tabela 13 apresenta a amalgamação da análise multivariada das variáveis sob tratamento ATM.

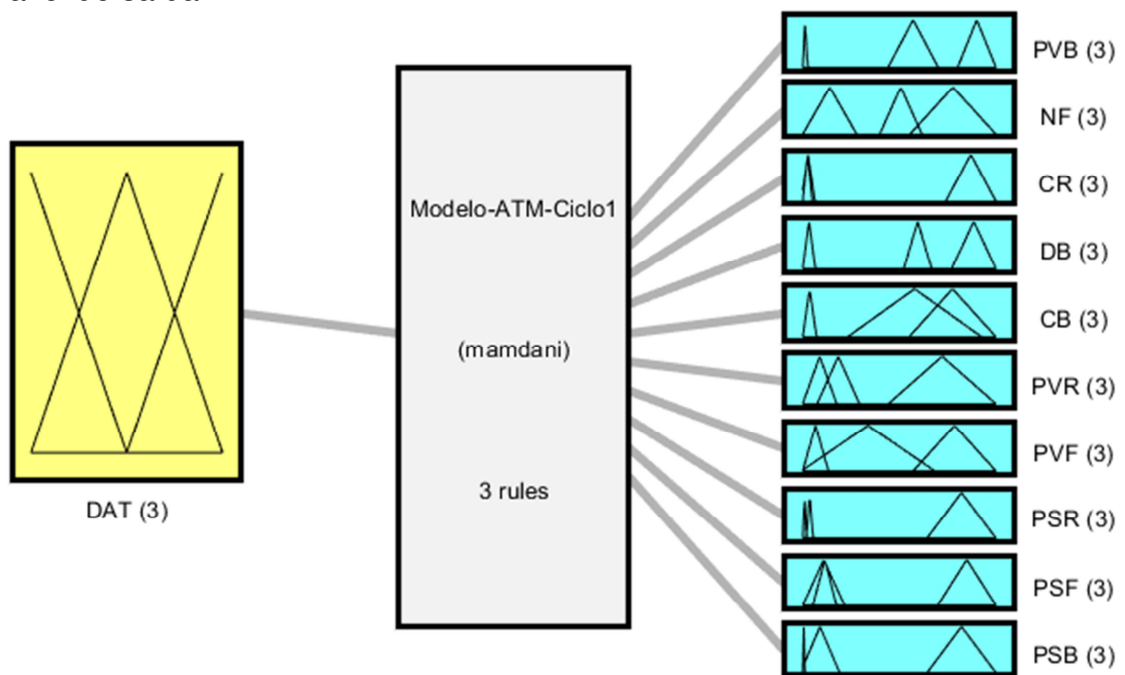
Tabela 13 - Passos de Amalgamação da Análise Multivariada das variáveis sob tratamento ATM.

Passo	Número de agrupados	Nível de similaridade	Nível de distância	Agrupados reunidos		Novo agrupado	Número de obs. no novo agrupado
1	9	98,8889	0,022222	8	9	8	2
2	8	97,7764	0,044471	3	7	3	2
3	7	96,7469	0,065063	2	10	2	2
4	6	95,5798	0,088403	5	8	5	3
5	5	91,7892	0,164215	1	3	1	3
6	4	88,497	0,23006	1	6	1	4
7	3	87,7289	0,245423	2	5	2	5
8	2	82,4998	0,350003	1	2	1	9
9	1	56,4582	0,870836	1	4	1	10

3.5 Sistema baseado em regras fuzzy

A Figura 8 apresenta o SBRF, em que foi empregado o manejo de irrigação com lâmina de 100% da ETc com água tratada magneticamente.

Figura 8 - SBRF de avaliação da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente e lâmina de 100% da ETc, com 3 variáveis de entrada (DAS), 10 variáveis de saída (variáveis biométricas e de produtividade) e 3 regras para cada variável de saída.



Após desenvolvido os modelos fuzzy propostos, foi possível realizar a análise da validação do modelo (**Tabela 14**) utilizando a metodologia proposta.

Tabela 14 - Extrato de validação do modelo fuzzy para as variáveis de saída da cultura do rabanete irrigado com ATM a uma lâmina de 100% ETc.

Variável	Índices	Modelo Fuzzy	Regressão	
			Equação	
PVB	χ^2	7.216 (p=0.9261)	7.216 (p=0.9261)	$y = -0.094.x^2 + 7.848.x - 121.775$
	R^2	0.949 (p=0)	0.949 (p=0)	
	F_0	0 (p=0.0001)	0 (p=0)	
	RMSE	3.415	3.415	
	MAE	2.523	2.523	
NF	χ^2	0.867 (p=1)	0.867 (p=1)	$y = -0.004.x^2 + 0.414.x - 2.2$
	R^2	0.759 (p=0)	0.759 (p=0)	
	F_0	0 (p=0)	0 (p=0)	
	RMSE	0.6	0.6	
	MAE	0.467	0.467	
CR	χ^2	4.376 (p=0.9927)	4.369 (p=0.9928)	$y = 0.354.x^2 - 17.338.x + 216.56$
	R^2	0.969 (p=0)	0.969 (p=0)	
	F_0	0.002 (p=0.0351)	0 (p=0)	
	RMSE	2.895	2.895	
	MAE	1.867	1.865	
DB	χ^2	4.971 (p=0.9862)	4.971 (p=0.9862)	$y = -0.139.x^2 + 10.834.x - 157.085$
	R^2	0.96 (p=0)	0.96 (p=0)	
	F_0	0 (p=0.0001)	0 (p=0)	
	RMSE	3.598	3.598	
	MAE	2.513	2.513	
CB	χ^2	15.934 (p=0.3175)	15.934 (p=0.3175)	$y = -0.224.x^2 + 13.443.x - 170.15$
	R^2	0.681 (p=0.0002)	0.681 (p=0.0002)	
	F_0	0 (p=0)	0 (p=0)	
	RMSE	5.02	5.02	
	MAE	3.526	3.526	
PVR	χ^2	1.001 (p=1)	1.001 (p=1)	$y = 0.006.x^2 - 0.26.x + 3.255$
	R^2	0.75 (p=0)	0.75 (p=0)	
	F_0	0 (p=0)	0 (p=0)	
	RMSE	0.203	0.203	
	MAE	0.153	0.153	
PVF	χ^2	42.052 (p=0.0001)	42.043 (p=0.0001)	$y = 0.052.x^2 - 1.434.x + 15.376$
	R^2	0.66 (p=0.0002)	0.66 (p=0.0002)	
	F_0	0 (p=0.0012)	0 (p=0)	
	RMSE	6.169	6.169	
	MAE	4.44	4.44	
PSR	χ^2	0.307 (p=1)	0.307 (p=1)	$y = 0.013.x^2 - 0.617.x + 7.403$
	R^2	0.943 (p=0)	0.943 (p=0)	
	F_0	0 (p=0.0003)	0 (p=0)	
	RMSE	0.152	0.152	
	MAE	0.083	0.083	
PSF	χ^2	1.263 (p=1)	1.263 (p=1)	$y = 0.021.x^2 - 1.032.x + 13.072$
	R^2	0.922 (p=0)	0.922 (p=0)	
	F_0	0 (p=0)	0 (p=0)	
	RMSE	0.279	0.279	
	MAE	0.234	0.234	
PSB	χ^2	1.002 (p=1)	0.994 (p=1)	$y = 0.016.x^2 - 0.826.x + 10.28$
	R^2	0.923 (p=0)	0.923 (p=0)	
	F_0	0.0007 (p=0.0208)	0 (p=0)	
	RMSE	0.189	0.189	
	MAE	0.117	0.117	

NF= Número de Folhas, CR= Crescimento da Raiz, DB= Diâmetro do Bulbo, CB= Crescimento do Bulbo, PVR= Peso Verde da Raiz, PVF= Peso Verde Folhas, PVB= Peso Verde Bulbo, PSR= Peso Seco Raiz, PSF= Peso Seco Folhas.

Foram elaboradas as funções de pertinência dos conjuntos fuzzy das variáveis de saída (Figura 9), e obtidas funções respostas (figura 10) do SBRF para a cultura do rabanete irrigada com água tratada magneticamente a uma lâmina de 100% ETc.

Figura 9 - Funções de pertinência dos conjuntos fuzzy das variáveis de saída da cultura do rabanete irrigada com ATM a uma lâmina de 100%ETc.

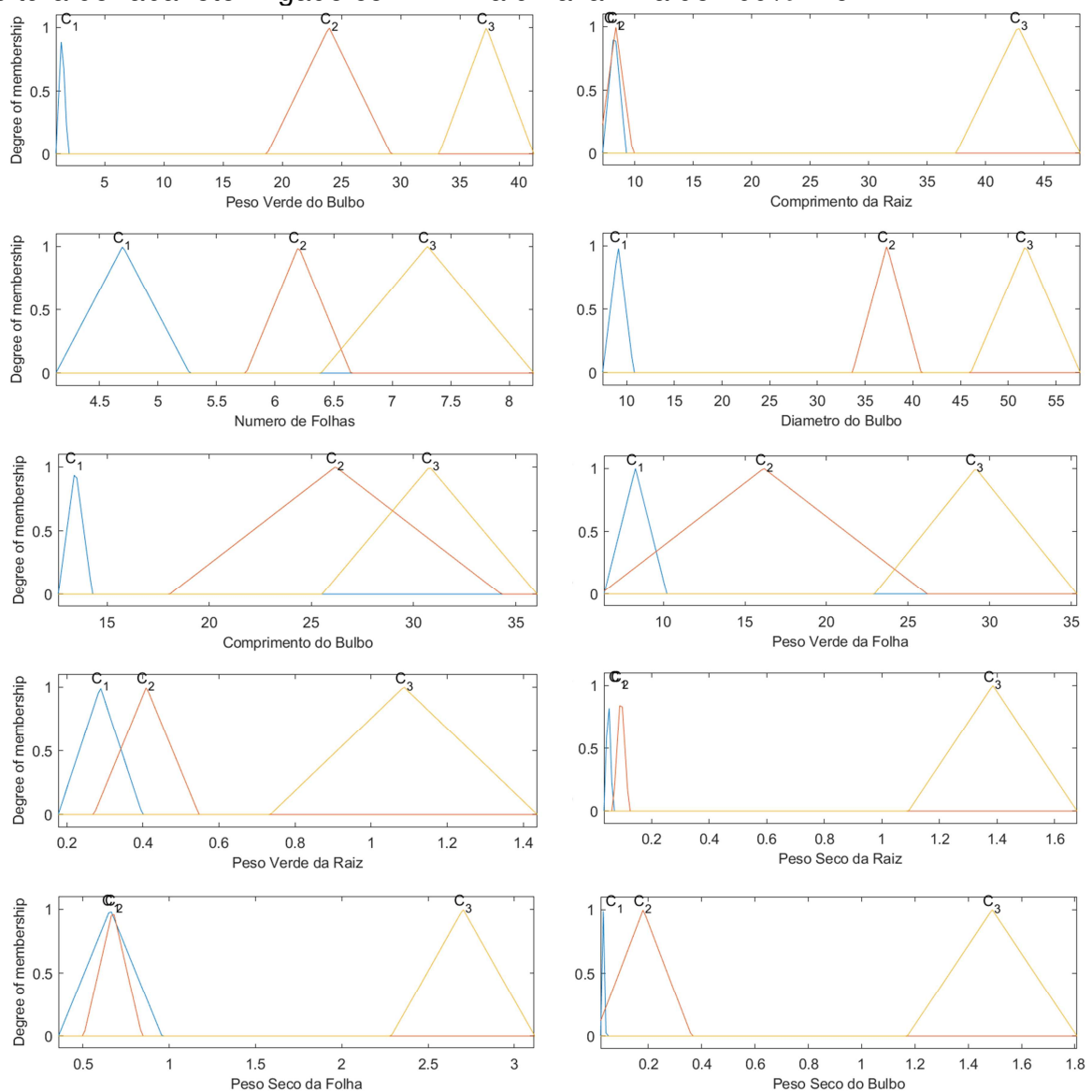
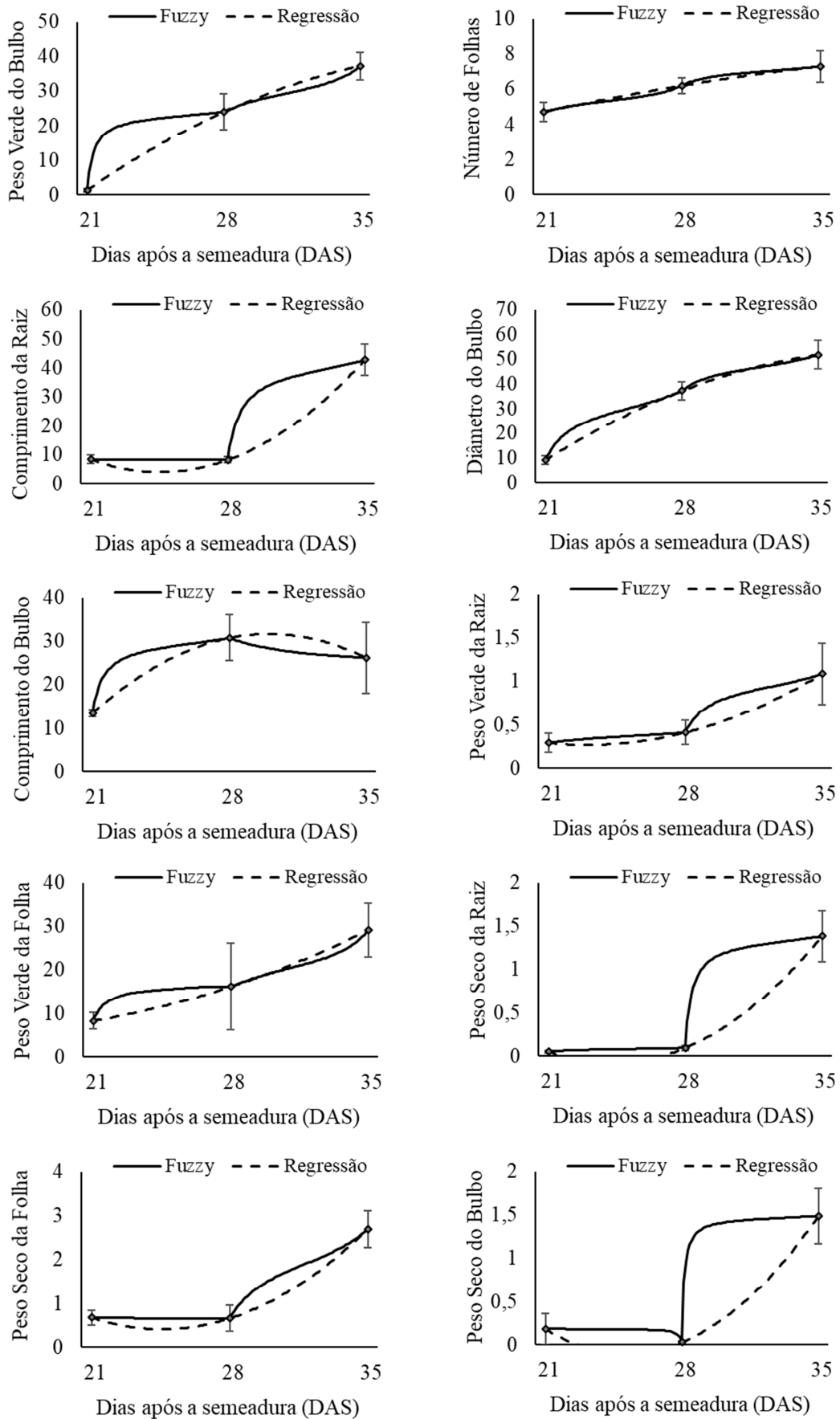


Figura 10 - Funções resposta obtidas pelo modelo fuzzy para a cultura do rabanete irrigado com ATM a uma lâmina de 100% da ETc.



4 CONCLUSÕES

As variações climáticas que ocorreram durante o experimento podem ter influenciado o crescimento e o desempenho do rabanete.

Como forma de avaliar o SBRF foram inseridos neste trabalho os conjuntos de análises e testes de validação em que os dados pudessem ser submetidos, para que o modelo proposto fosse testado e validado formalmente.

Os modelos fuzzy elaborados pelo SBRF apresentaram aferições mais refinadas que mostram a capacidade de desempenho do modelo fuzzy frente a função de regressão.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA, G. J.; MARTÍN, R. M. Água tratada magneticamente estimula a germinação e desenvolvimento de mudas de *solanum lycopersicum* L. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.6, n.1., p.47-53, Mar, 2016.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. Experimentação agrícola. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247 p.
- CARBONELL PADRINO, M. V.; RAMÍREZ, E. M., DÍAZ ORTIZ, J. E., GARCÍA, M. F.; DE LA ESCOSURA, J. M. A. G., Estudio de la evaporación en diferentes tipos de suelo humedecidos con agua tratada magnéticamente **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias** 2003, 12, Ago 2016.
- 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, v. 19, n. 3, p. 196-199, novembro 2001.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; GUADAGNIN, J.P. Consistência do padrão de agrupamento de cultivares de milho. **Ciência Rural**, v.41, p.1503-1508, 2011.
- CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C.R.; PACCOLA, A.A. Legenda atualizada do Levantamento de Solos da Fazenda Lageado-Estação Experimental “Presidente Médice” Boletim Cl. FCA/UNESP, Botucatu, n.1, 1983. 95p.
- 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. ix, 97 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2008.
- 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**, Botucatu, v.25, n.1, p.21-39, 2010.
- CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; PUTTI, F. F.; LUDWIG, R.; SILVA JUNIOR, J.F. Resposta da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente e convencional. In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA 2015), 2015, São Pedro-SP. XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA 2015). Jaboticabal: SBEA - Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. v. 54. p. 1-9.
- DUARTE, C. E.; RODRÍGUEZ, R.; REY, R.; GONZÁLEZ, L.; GUEVARA, G. Algunas consideraciones sobre el uso del agua tratada magnéticamente en especies ornamentales del Jardín Botánico Nacional. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, vol.14, núm. 1, La Habana, Cuba, 2005.
- FERRO, M. G. F.; COSTA, R. DE H; JÚNIOR, J. P. F. DE A.; BARBOSA, A. L. P.; DOS SANTOS, M. A. L. Análise da cultura do rabanete submetida a diferentes níveis

de salinidade e lâminas de irrigação. In. **INOVAGRI**, III, 2015, Fortaleza, Brasil, International Meeting, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION - FAO. **Crop Evapotranspiration Guidelines For Computing Crop Water Requirements - Irrigation and drainage**. Local: FAO, 56 p., 1998.

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**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 813-825, 2011.

GABRIEL FILHO, L. R. A. Sistemas Fuzzy aplicados nas Ciências Agrárias. 2015. 258p. Tese (Livre-Docência em Matemática Aplicada e Computacional) - FCE/UNESP, Tupã, 2015.

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.

HAIR JR., J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. & BLACK, W. C. Análise multivariada de dados. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

INSUA, D. A.; GARCIA, C. P.; MONTIEL, I. P.; PRADO, E. A. S. Efecto del agua tratada magnéticamente sobre los procesos biológicos. **Revista electrónica de Veterinária**. Vol. 10 nº 4, Abril 2009.

KLAR, A. E.; PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; SILVA JUNIOR, J. F. ; CREMASCO, C. P. The effects of different irrigation depths on radish crops. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA, p. 150-159, 2015.

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

LACERDA, V. R. L.; GONÇALVES B. G.; OLIVEIRA F. G.; SOUSA, Y. B.; CASTRO, I. L. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E PRODUTIVAS DO RABANETE SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.11, nº.1, p. 1127 - 1134, 2017.

LOPES, M. M.; CASTELO BRANCO, V. T. F.; SOARES J. B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Transportes** v. 21, n. 1, p. 59–66, 2013.

MAHESHWARI B. L., GREWAL, H. S. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. **Agricultural Water Management** 96, 2009.

MARQUELLI, W. A.. Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. - 2 ed. rev. atual. ampl. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica . 2008. 150 p. : il.

NESPOLI, A.; COCHEV, J. S.; NEVES, J. M. A. S.; SEABRA JÚNIOR, S. Produção de hortaliças pela agricultura familiar de alta floresta, Amazônia matogrossense. **Campo-território: revista de geografia agrária**, v. 10, n. 21, p. 159-191, ago.; 2015.

PEDÓ, T. et al. Crescimento de três cultivares de rabanete (*Raphanus sativus*) ao longo da ontogenia das plantas. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, João Pessoa, v. 4, n. 3, p. 23-28, 2010.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO GABRIEL, C. P.; NETO, A. B.; BONINI, C. S. B.; RODRIGUES DOS REIS, A..A Fuzzy mathematical model to estimate the effects of global warming on the vitality of *Laelia purpurata* orchids. **Mathematical Biosciences**, v. 288, p. 124-129, 2017.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; KLAR, A. E.; SILVA JUNIOR, J. F.; CREMASCO, C. P.; LUDWIG, R. Response of lettuce crop to magnetically treated irrigation water and different irrigation depths. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos v. 10, n. 22, p. 2300-2308, 2015.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; SILVA, A. O.; LUDWIG, R.; CREMASCO, C. P. Fuzzy logic to evaluate vitality of *Catasetum fimbriatum* species (Orchidaceae). **Irriga**, Botucatu, v.19, n.3, p.405-413, 2014.

REICHARDT, K. **Água e sustentabilidade no sistema solo-planta-atmosfera**. Barueri, SP: Manole, 2016.

ROSS, Sheldon M. - Introduction to probability and statistics for engineers and scientists, 1987.

SCHUSTER, M. Z.; KAWAKAMI, J.; BROETTO, D.; SZYMCAK, L. S.; RAMALHO, K. R. O. Influência do fotoperíodo e da intensidade de radiação solar no crescimento e produção de tubérculos de rabanete. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 2, p. 73-86, out. 2012.

SILVA, L. F. DE O. DA; CAMPOS, K. A.; MORAIS, A. R.; COGO, F. D.; ZAMBON, C. R. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanetes. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 5, p. 624-629, out. 2012.

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

TUNDISI, José Galizia. **Recursos hídricos no século XXI** – São Paulo : Oficina de Textos, 2011.

YOSHIMI TANAKA, O.; DRUMOND JÚNIOR, M.; CRISTO, E. B.; SPEDO, S. M.; SILVA PINTO, N. R.. Uso da análise de clusters como ferramenta de apoio à gestão no SUS. **Saude soc.**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 34-45, Mar. 2015.

ZLOTOPOLSKI, V. The Impact of magnetic water treatment on salt distribution in a large unsaturated soil column, **International Soil and Water Conservation Research**, 2017.

ZUÑIGA ESCOBAR, O.; JIMÉNEZ, C. O.; BENAVIDES, J. A.; GUTIÉRREZ, M. A.; TORRES, C. Efecto del agua magnetizada en el desarrollo y la producción de cúrcuma (*Curcuma longa* L.). **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 10, n. 1, p. 176-185, jul 2016.