

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CÂMPUS DE TUPÃ

Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

DEYVER BORDIN

**PLATAFORMA COMPUTACIONAL FUZZY PARA AVALIAÇÃO NOS
ESTÁGIOS DO TOMATEIRO DOS EFEITOS DA IRRIGAÇÃO E
SALINIDADE DA ÁGUA**

TUPÃ - SP

2016

DEYVER BORDIN

**PLATAFORMA COMPUTACIONAL FUZZY PARA AVALIAÇÃO NOS
ESTÁGIOS DO TOMATEIRO DOS EFEITOS DA IRRIGAÇÃO E
SALINIDADE DA ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Tupã, como requisito para 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

Coorientador: Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti

TUPÃ - SP

2016

B644p

Bordin, Deyver.

Plataforma computacional fuzzy para avaliação nos estágios do tomateiro dos efeitos da irrigação e salinidade da água / Deyver Bordin. – Tupã, 2016. 60 f.

Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Universidade Estadual Paulista, Campus de Tupã, 2016.

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

1. Lógica fuzzy. 2. Cultura de tomate. 3. Produtividade. 4. Otimização. I. Autor. II. Título.

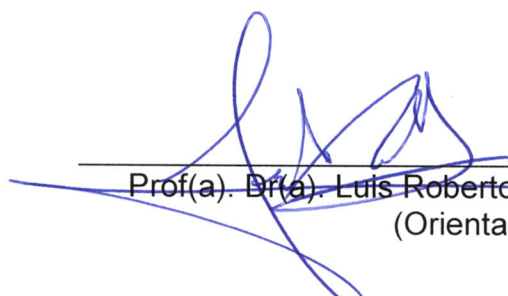
CDD 635.642

DEYVER BORDIN

**PLATAFORMA COMPUTACIONAL FUZZY PARA AVALIAÇÃO NOS
ESTÁGIOS DO TOMATEIRO DOS EFEITOS DA IRRIGAÇÃO E SALINIDADE
DA ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e
Desenvolvimento (UNESP/Tupã), como requisito para obtenção do título de Mestre.

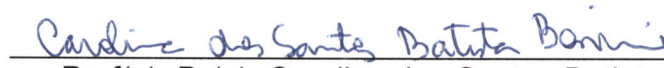
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof(a). Dr(a). Luis Roberto Almeida Gabriel Filho
(Orientador)



Prof(a). Dr(a). Alfredo Bonini Neto
(UNESP/Tupã)



Prof(a). Dr(a). Carolina dos Santos Batista Bonini
(UNESP/Dracena)

Dissertação defendida e aprovada em:
29 de fevereiro de 2016

Dedico,

Primeiramente a Deus e a todos que contribuíram de maneira direta e/ou indireta para a superação deste grande desafio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, mantenedor e precipitador de toda graça. Graça essa e verdade que vieram por intermédio de Jesus Cristo, que foi quem tornou Deus conhecido.

A Deus, por ser o mentor e criador da massa, matéria, tempo e tudo o que a partir disso ocorreu.

A Deus pela imensurável graça e misericórdia que cada vez mais tem se intensificado em minha vida, o que me possibilitou chegar a esse momento.

Aos meus pais, esposa e familiares que muito me apoiaram nos momentos de dificuldades.

Ao grande amigo e orientador Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho (Beto) e sua esposa Profa Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel que me adotaram como filho e me conduziram desde a graduação até ser aceito como aluno regular no doutorado.

Pessoas estas indescritíveis como profissionais, mas que, pela infinita misericórdia de Deus, muito melhores enquanto seres humanos. É também nesse sentido que, a cada dia de minha vida sou grato a Deus por terem cruzado meu caminho e me aceito, mesmo com minhas singularidades.

Ao Prof. Beto pela dedicação, determinação, paciência, orientação e, principalmente, por sua compreensão, o que possibilitou a realização deste trabalho.

Aos grandes amigos Prof. Daniel dos Santos Viais Neto e Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti que contribuíram intensamente para a realização deste trabalho.

A todos os docentes e demais servidores do Campus da Unesp de Tupã-SP, que de alguma forma contribuíram para que eu conseguisse vencer mais uma das várias e árduas etapas pela qual já passei.

O meu muito obrigado!

EPÍGRAFE

Quando chegaram, Samuel viu Eliabe e pensou: “Com certeza este aqui é o que o Senhor quer ungir”.

O Senhor, contudo, disse a Samuel: “Não considere a sua aparência nem sua altura, pois eu o rejeitei. **O Senhor não vê como o homem: o homem vê a aparência, mas o Senhor vê o coração**”. (1 Samuel 16:6-7, Tradução NVI, grifo meu).

Bordin, Deyver. **Plataforma computacional *fuzzy* para avaliação nos estágios do tomateiro dos efeitos da irrigação e salinidade da água**. 2016. 60 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) - Universidade Estadual Paulista (UNESP). Tupã, 2016.

RESUMO

O tomate é uma importante cultura, não só em termos de produção, mas também em valor econômico, por ser uma hortaliça bastante industrializada e ainda conta com um aumento da produção per capita anual no Brasil, o que coloca o produto em destaque, além de estar diariamente na dieta alimentar de grande parte da população. Para o cultivo do tomate, duas preocupações devem ser levadas em conta: a quantidade de água, pois a baixa umidade do solo restringe seu crescimento reduzindo, sua produção e a qualidade da água que será utilizada na irrigação do tomateiro, pois, esta deve estar livre de contaminantes biológicos, teor de sais inferior a $1,5 \text{ g L}^{-1}$ para evitar o murchamento foliar nos horários mais quentes do dia, queimadura do ápice e dos bordos da folha pela morte do tecido foliar e até mesmo da planta. Visando economia de recursos e aumento na produtividade no cultivo do tomate, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema computacional para a avaliação da cultura do tomate híbrido (*Lycopersicum esculentum*). Em que foi utilizado um sistema baseado em regras *fuzzy* por meio do *software Matlab®* utilizando dados biométricos da cultura do tomate submetido em diferentes níveis de irrigação e salinidade, sendo avaliado ao longo do ciclo. O experimento foi realizado em uma casa de vegetação da UNESP/FCA. Para tanto, foi utilizado a linguagem *Delphi*, os dados do experimento e a modelagem *fuzzy*. Este *software* possibilita ao produtor um indicativo da viabilidade de produção, além de fornecer subsídios para avaliar e manejar de forma eficiente e eficaz, assim sendo uma poderosa ferramenta de tomada de decisão, que visa obter maior produtividade e economia dos recursos hídrico e energéticos.

PALAVRAS-CHAVE: Lógica *Fuzzy*. produtividade. *Lycopersicum esculentum*. otimização.

Bordin, Deyver. **Fuzzy computing platform for evaluation in tomato stages of the effects of irrigation and water salinity**. 2016. 60 p. Dissertation (Masters in Agribusiness and Development) - São Paulo State University (UNESP). Tupã, 2016.

ABSTRACT

The tomato is an important crop, not only in terms of production, but also in economic value, being a vegetable very industrialized and also includes an increase in annual per capita production in Brazil, which puts the product highlighted, and be daily in the diet of most of the population. For growing tomatoes, two concerns should be taken into account: the amount of water because of the low soil moisture restricts its growth reducing production and quality of water to be used in tomato irrigation, therefore it must be free of biological contaminants, salt content less than 1.5 g L^{-1} to prevent leaf wilting in the hottest times of the day, apex burn and leaf edges of the death of leaf tissue and even the plant. Aiming to save resources and increase productivity in growing tomatoes, this study aimed to develop a computer system for the evaluation of hybrid tomato crop (*Lycopersicon esculentum*). It was used a system based on fuzzy rules using the Matlab software using biometric data of the tomato crop submitted at different levels of irrigation and salinity, and evaluated over the cycle. The experiment was conducted in a greenhouse at UNESP/FCA. Therefore, we used the *Delphi* language, experimental data and *fuzzy* modeling. This software enables the producer indicative of production feasibility, and provide subsidies to assess and manage efficiently and effectively, making it a powerful decision-making tool, which aims to achieve greater productivity and economy of water and energetic resources.

KEYWORDS: Fuzzy Logic. Productivity. *Lycopersicon esculentum*. optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema baseado em regras <i>fuzzy</i> para avaliação do desenvolvimento de tomateiros, tendo como variáveis de entrada a irrigação e a salinidade	20
Figura 2 – Funções de pertinência definidas para os conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de entrada (a) Irrigação [kPa], Salinidade [dS m^{-1}]	21
Figura 3 – Funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de saídas (a) altura da planta (Alt) [cm], (b) diâmetro do caule (Diam) [cm], (c) área foliar (AF) [cm^2], (d) fitomassa verde (FV) [g], (e) fitomassa seca (FS) [g], (f) número de frutos (NF) [unid], (g) peso médio dos frutos (PMF) [g] e (h) porcentagem de frutos deficientes (PFD) [%]	22
Figura 4 – Fluxograma de funcionalidade do <i>software</i>	28
Figura 5 – Interface inicial do <i>Software</i> de avaliação do desenvolvimento de tomateiros.	29
Figura 6 – Interface do <i>software</i> , no momento de inserir os dados para análise, sendo a Irrigação em kPa e Salinidade em dS m^{-1}	31
Figura 7 – Resultado da análise no <i>Software</i> , no qual foi inserida irrigação de 17 kPa e salinidade $2,54 \text{ dS m}^{-1}$	31
Figura 8 – Interface do <i>software</i> , em que automaticamente classifica e calcula os valores entre os menores e maiores valores de irrigação e salinidade, assim abrangendo todo o intervalo de dados	32
Figura 9 - Superfície de representação dos valores das variáveis de saída	33
Figura 10 - Mapa de contorno de representação dos valores das variáveis de saída	34
Figura 11 – Boxplot para dados amostrais dos dados para (a) altura da planta (Alt) [cm], (b) diâmetro do caule (Diam) [cm], (c) área foliar (AF) [cm^2], (d) fitomassa verde (FV) [g], (e) fitomassa seca (FS) [g], (f) número de frutos (NF) [unid], (g) peso médio dos frutos (PMF) [g] e (h) porcentagem de frutos deficientes (PFD) [%]	35
Figura 12 – Distribuição da quantidade de tomateiros de (a) altura da planta (Alt) [cm], (b) diâmetro do caule (Diam) [cm], (c) área foliar (AF) [cm^2], (d) fitomassa verde (FV) [g], (e) fitomassa seca (FS) [g], (f) número de frutos (NF) [unid], (g) peso médio dos frutos (PMF) [g] e (h) porcentagem de frutos deficientes (PFD) [%], para cada classificação	35

Figura 13 – Sistema baseado em regras <i>fuzzy</i> para avaliação do desenvolvimento de tomateiros das funcionalidades 1 e 2	43
Figura 14 – Funções de pertinência definidas para os conjuntos <i>fuzzy</i> da variável DAS	44
Figura 15 – Funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de saídas (a) diâmetro do caule (Diam) [cm], (b) área foliar (AF) [cm ²], (c) fitomassa verde (FV) [g], (d) fitomassa seca (FS) [g], da funcionalidade 1	45
Figura 16 – Funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de saídas (a) altura da planta (Alt) [cm], (b) diâmetro do caule (Diam) [cm], (c) área foliar (AF) [cm ²], (d) fitomassa verde (FV) [g], (e) fitomassa seca (FS) [g], da funcionalidade 2	46
Figura 17 - Inserção manual de dados, referentes as funcionalidades 1 e 2	50
Figura 18 - Simulação de valores com informações referentes as funcionalidades 1	51
Figura 19 - Simulação de valores com informações referentes as funcionalidades 2	51
Figura 20 – Boxplot para dados amostrais dos dados de (a) diâmetro do caule (Diam) [cm], (b) área foliar (AF) [cm ²], (c) fitomassa verde (FV) [g], (d) fitomassa seca (FS) [g], da funcionalidade 1.....	52
Figura 21 – Boxplot para dados amostrais dos dados de (a) altura da planta (Alt) [cm], (b) diâmetro do caule (Diam) [cm], (c) área foliar (AF) [cm ²], (d) fitomassa verde (FV) [g], (e) fitomassa seca (FS) [g], da funcionalidade 2	53
Figura 22 – Distribuição da quantidade de tomateiros de (a) diâmetro do caule (Diam) [cm], (b) área foliar (AF) [cm ²], (c) fitomassa verde (FV) [g], (d) fitomassa seca (FS) [g], da funcionalidade 1.....	53
Figura 23 – Distribuição da quantidade de tomateiros de (a) altura da planta (Alt) [cm], (b) diâmetro do caule (Diam) [cm], (c) área foliar (AF) [cm ²], (d) fitomassa verde (FV) [g], (e) fitomassa seca (FS) [g], da funcionalidade 2	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Definição das funções de pertinência das variáveis de entrada	21
Tabela 2 - Definição das funções de pertinência das variáveis de saída.....	22
Tabela 3 – Base de regras das variáveis associados aos conjuntos <i>fuzzy</i>	24
Tabela 4 - Definição das funções de pertinência das variáveis de entrada	44
Tabela 5 – Base de regras das variáveis associados aos conjuntos <i>fuzzy</i> da funcionalidade 1	47
Tabela 6 – Base de regras das variáveis associados aos conjuntos <i>fuzzy</i> da funcionalidade 2	47
Tabela 7 - Definição das funções de pertinência das variáveis de saída da funcionalidade 1 .	48
Tabela 8 - Definição das funções de pertinência das variáveis de saída da funcionalidade 2 .	49

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
AF	Área foliar	cm ²
Alt	Altura da planta	cm
Diam	Diâmetro do caule	cm
FS	Fitomassa seca	g
FV	Fitomassa verde	g
NF	Número de frutos	unid.
PFD	Porcentagem de frutos deficientes	%
PMF	Peso médio dos frutos	g

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	14
CAPÍTULO I – PLATAFORMA COMPUTACIONAL <i>FUZZY</i> PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA IRRIGAÇÃO E SALINIDADE DA ÁGUA NO PONTO DE COLHEITA DO TOMATE.....	16
1.1 INTRODUÇÃO	18
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
1.2.1 Metodologias de determinação das variáveis de entrada.....	20
1.2.2 Metodologias de determinação das variáveis de saída	21
1.2.3 Metodologia para o desenvolvimento da plataforma computacional	25
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
1.4 CONCLUSÕES	36
1.5 REFERÊNCIAS.....	37
CAPÍTULO II – PLATAFORMA COMPUTACIONAL <i>FUZZY</i> PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA IRRIGAÇÃO E DA SALINIDADE DA ÁGUA NOS ESTÁGIOS DO TOMATEIRO	39
2.1 INTRODUÇÃO	41
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
2.2.1 Metodologias de determinação das variáveis de entrada.....	43
2.2.2 Metodologias de determinação das variáveis de saída	44
2.2.3 Metodologia para o desenvolvimento das funcionalidades da plataforma computacional	49
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
2.4 CONCLUSÕES	55
2.5 REFERÊNCIAS.....	55
CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS.....	59

INTRODUÇÃO

O tomate (*Lycopersicum esculentum*), pertencente à família das solanáceas, é uma planta altamente perene que possui grande capacidade de adaptação a vários tipos de clima, com exceção às geadas (ROSA et al., 2011). Ele é produzido para consumo *in natura*, em praticamente todas as regiões geográficas do Brasil, em épocas, formas de cultivo e níveis de manejo cultural diferentes, sendo a segunda hortaliça mais cultivada no mundo, superada apenas pela batata (MATOS et al., 2012).

A cultura desta hortaliça é fundamental, tanto no que diz respeito à sua produção, quanto em se tratando de valor econômico, pois é um produto muito industrializado que gera grande quantidade de emprego e está presente na alimentação diária da maioria das pessoas. Além do tomate poder ser comercializado para consumo *in natura*, como já foi dito, o mesmo pode passar por processos de industrialização para produção de extratos de tomate, molhos prontos e ketchup (KROSS et al., 2001).

A produção per capita anual é crescente, passando de 15,42 kg/ano em 1990 a 19,71 kg/ano em 2012 (IBGE, 2014).

A cultura do tomate é bastante exigente em se tratando de quantidade de água, o que torna a prática de irrigação imprescindível, pois a baixa umidade do solo restringe seu desenvolvimento, comprometendo sua produtividade. Portanto, as irrigações devem ser constantes e leves, com objetivo apenas de repor a água necessária ao consumo diário do tomateiro segundo Alvarenga (2004). Todavia, a água em excesso, pode saturar o solo e, com isso, expulsar o oxigênio da zona radicular.

O efeito da salinidade é de natureza osmótica podendo afetar diretamente o rendimento das culturas (HOLANDA et al. 2010). Medeiros (2010) afirma que a salinidade altera a nutrição mineral das culturas, reduzindo a atividade dos íons em solução e alterando os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta.

Segundo Alvarenga et al. (2004), o indicativo do efeito salino no tomateiro, (conteúdo de sais na solução do solo) é notado, inicialmente, pelo murchamento foliar nos horários mais quentes do dia, depois ocorre a queimadura do ápice e dos bordos da folha pela morte do tecido foliar e, conseqüentemente, a morte da planta. Para tal, a água utilizada para irrigar o tomateiro deve ser de boa qualidade e livre de contaminantes biológicos, o teor de sais deve ser inferior a $1,5 \text{ g L}^{-1}$ (equivalente à condutividade elétrica inferior a $2,2 \text{ dS m}^{-1}$) e do íon cloreto inferior a 200 mg L^{-1} (ALVARENGA, 2004).

Frente ao exposto, Viais Neto (2016) realizou um estudo do desenvolvimento do tomate em diferentes níveis de irrigação com base nos potenciais matriciais de água no solo e diferentes doses de salinidade da água de irrigação ao longo de seu ciclo por meio de uma modelagem *fuzzy*. Nesta modelagem, buscou-se produzir os pontos ótimos das variáveis estudadas.

Deste modo, justifica-se a implementação de um sistema computacional com base na modelagem que facilite a determinação dos pontos ótimos de tais variáveis para que se obtenha eficiência no cultivo do tomate, poupando assim recursos financeiros e naturais.

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema computacional, utilizando sistema baseados em regras *fuzzy*, a partir da modelagem proposta e simular as consequências da real aplicação dos resultados para auxiliar a tomada de decisão do produtor, demonstrando os efeitos dos níveis de irrigação e das doses de salinidade na água no desenvolvimento do tomate.

Para atingir os objetivos propostos, a dissertação foi dividida em 2 capítulos, sendo o primeiro capítulo intitulado “PLATAFORMA COMPUTACIONAL *FUZZY* PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA IRRIGAÇÃO E SALINIDADE DA ÁGUA NO PONTO DE COLHEITA DO TOMATE” e o segundo capítulo intitulado “PLATAFORMA COMPUTACIONAL *FUZZY* PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA IRRIGAÇÃO E DA SALINIDADE DA ÁGUA NOS ESTÁGIOS DO TOMATEIRO”.

CAPÍTULO I – PLATAFORMA COMPUTACIONAL FUZZY PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA IRRIGAÇÃO E SALINIDADE DA ÁGUA NO PONTO DE COLHEITA DO TOMATE

Resumo

O tomate é uma planta que se adapta em diferentes ambientes sendo o clima um fator determinante mais ponderável para seu crescimento e desenvolvimento. A irrigação é uma técnica artificial utilizada para disponibilizar água para as plantas, principalmente para uma cultura tão exigente. A salinidade do solo, pode resultar em redução da produção, mudanças de cor e de aparência e alterações na qualidade do produto colhido. Os sais da água de irrigação reduzem, de forma significativa, a altura das plantas, área foliar, produção da biomassa seca da parte aérea, produção de frutos e a evapotranspiração da cultura do tomate. O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema computacional, utilizando sistemas baseados em regras fuzzy para a avaliação da cultura do tomate híbrido (*Lycopersicum esculentum*) quando submetida em diferentes níveis de irrigação e salinidade da água aos 120 dias após semeadura. Para tanto, foram utilizados dados de um experimento e uma modelagem fuzzy para o desenvolvimento do software em que as variáveis biométricas avaliadas foram: altura da planta, diâmetro do caule, área foliar, fitomassa verde, fitomassa seca, número de frutos, peso médio dos frutos e porcentagem de frutos deficientes. Nos resultados, apresentou-se um software com uma interface de simples de fácil compreensão e uso que poderá auxiliar os produtores estabelecer níveis ótimos de irrigação e doses de salinidade visando uma maior produtividade, pois possibilita a simulação de diversas combinações não observadas experimentalmente, exibindo resultados quantitativos e qualitativos para as variáveis de saída.

PALAVRAS-CHAVE: Lógica Fuzzy. Produtividade. *Lycopersicum esculentum*. otimização.

CHAPTER I - FUZZY COMPUTING PLATFORM FOR ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF IRRIGATION AND WATER SALINITY IN TOMATO CROP POINT

Abstract

The tomato is a plant that fits in different environments and weather a factor more considerable for their growth and development. Irrigation is an artificial technique used to provide water to plants, especially for a culture as demanding. Soil salinity can result in reduced production, color changes and changes in appearance and quality of the product. Irrigation water salts reduce significantly, plant height, leaf area, dry biomass of shoots, fruit production and evapotranspiration of tomato cultivation. The aim of this study was to develop a computer system, using systems based on fuzzy rules for the evaluation of hybrid tomato crop (*Lycopersicum esculentum*) when subjected to different levels of irrigation and salinity of the water at 120 days after sowing. Therefore, data from an experiment and *fuzzy* modeling for software development in which the biometric variables were used: plant height, stem diameter, leaf area, green biomass, dry weight, number of fruits, average weight fruit and percentage of disabled fruits. The results, presented a software with a simple interface easy to understand and use that can help producers establish optimum levels irrigation and salinity doses aimed at greater productivity, as it allows the simulation of different combinations observed experimentally, displaying results quantitative and qualitative for the output variables.

KEYWORDS: *Fuzzy* Logic. Productivity. *Lycopersicum esculentum*. Optimization.

1.1 INTRODUÇÃO

O tomate é uma planta originária da Cordilheira dos Andes, pertencente à família Solanaceae, com hábitos de crescimento determinado ou indeterminado e que se adapta em diferentes ambientes, sendo o clima o fator determinante mais ponderável para seu crescimento e desenvolvimento (CARMO; CALIMAN, 2010). No Brasil, seu cultivo destaca-se por sua importância socioeconômica, principalmente em função de seu valor econômico e por ser uma atividade geradora de empregos, melhorando a renda dos trabalhadores rurais e produtores (SOUZA et al., 2010).

A irrigação é uma técnica utilizada para disponibilizar água para as plantas de forma que se possa extrair o máximo de sua produtividade (MARQUES, 2013), além disso, é fundamental para qualquer cultura; entretanto, para uma cultura tão exigente em água e de custo elevado como o tomateiro, o seu manejo torna-se ainda mais importante, pois permite minimizar os riscos do empreendimento (BALBINO et al., 2010).

Outro fator importante é a salinidade do solo, tanto causada pela irrigação com água salina como pela combinação dos fatores água e solo, pois pode resultar em redução da produção, mudanças de cor e de aparência e alterações na qualidade do produto colhido (RHOADES et al., 2000). Segundo Oliveira et al. (2007), os sais da água de irrigação reduzem, de forma significativa, a altura das plantas, área foliar, produção da biomassa seca da parte aérea, produção de frutos e a evapotranspiração da cultura do tomate.

A Teoria dos Conjuntos Fuzzy e a Lógica Fuzzy objetivam modelar modos de representação e raciocínio imprecisos que têm um papel essencial na tomada de decisões em ambientes de imprecisão e incerteza (BENINI, 2012). A Lógica Fuzzy provê um método de traduzir expressões verbais, vagas, imprecisas e qualitativas, comuns na comunicação humana em valores numéricos (MARÇAL; SUSIN, 2005).

Aplicações tais como modelagem do efeito de lâmina de irrigação em cultivares de beterraba (GABRIEL FILHO, 2015), avaliação do desenvolvimento da cultura da alface, quando irrigada com água tratada magneticamente e convencional (PUTTI, 2015), desenvolvimento de um sistema automático de controle e gerenciamento do processo de aeração em silos, para obter uma melhor e maior conservação dos grãos (BILOBROVEC, 2005), divisão de pomar de laranjeiras em classes distintas de comportamento produtivo por meio da análise de agrupamentos visando ao gerenciamento localizado da produção (PARISE; VETTORAZZI, 2005) entre outras compõem as diferentes aplicações que esta teoria, baseada em métodos matemáticos e inteligência computacional, é capaz de envolver.

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema computacional, utilizando sistemas baseados em regras *fuzzy*, para a avaliação da cultura do tomate híbrido (*Licopersicum esculentum*) quando submetida em diferentes níveis de irrigação e salinidade da água aos 120 dias após semeadura.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de junho a outubro de 2011, sendo em ambiente protegido e situado na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), Campus de Botucatu–SP, cuja altitude é de aproximadamente 786 m, a latitude é 22°51'03" Sul e a longitude 48°25'37" Oeste. O clima é considerado quente e úmido segundo Cunha e Martins (2009), e no mês mais quente do ano a temperatura pode ser superior a 22 °C.

A partir do experimento conduzido por Silva Junior (2012) em que utilizou no manejo da cultura do tomate diferentes níveis de irrigação baseado no potencial matricial de água no solo e doses de salinidade na água de irrigação, em que se avaliou informações biométricas ao longo do ciclo.

As amostras de solo utilizadas foram do tipo latossolo vermelho distroférrico e foram coletadas na camada de 0 - 20 cm de profundidade e com submissão a análise química. Para a salinização, por irrigação foi adotado as concentrações de 0,08 a 5 dS m⁻¹ com solução de NaCl. Quanto ao manejo de irrigação, foi estabelecido com lâminas de irrigação para fornecimento de água à cultura em três condições de potenciais matriciais mínimos de água do solo ($\psi = -60, -30$ e -10 kPa).

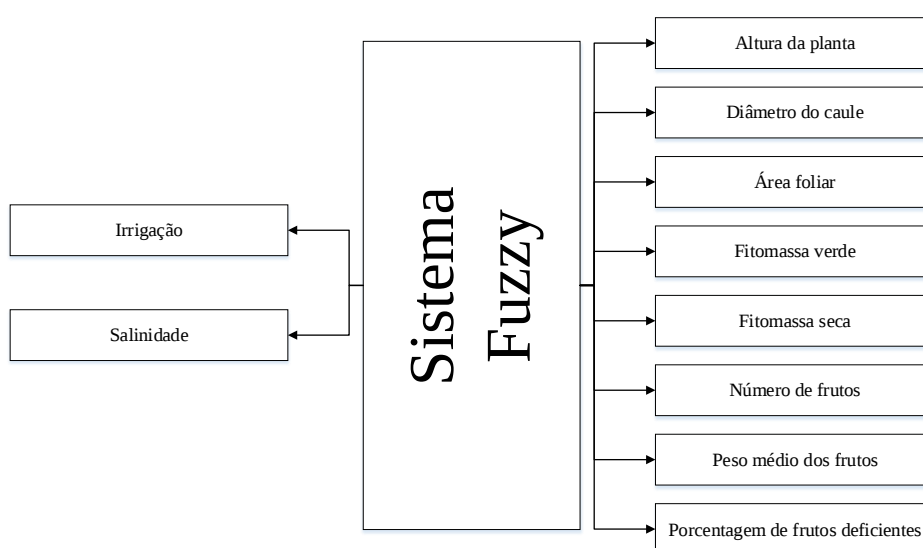
A calagem, adubações de plantio e cobertura foram realizadas seguindo-se a recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo (TRANI; RAIJ, 1997). A variedade da planta do tomate utilizada foi o cultivar Kátia. Quanto as mudas, estas foram preparadas pelo Departamento de Horticultura e replantadas em vasos quando atingiram o estágio de quatro a cinco folhas definitivas, 40 dias após a semeadura, aproximadamente. A condução foi com haste única, onde as plantas foram distribuídas em vasos com capacidade para 15 litros distanciados 1 m entre si, com espaçamento de 0,6 m entre plantas. O tutoramento foi realizado individualmente com fitilho, eliminando-se todas as brotações das axilas das folhas.

Para compor a base de regras para avaliação biométrica do tomate, foram utilizadas as seguintes variáveis de entrada: irrigação e salinidade. E como variáveis de saída

considerou-se: altura da planta (Alt), diâmetro do caule (Diam), área foliar (AF), fitomassa verde (FV), fitomassa seca (FS), número de frutos (NF), peso médio dos frutos (PMF) e porcentagem de frutos deficientes (PFD). Ressalta-se ainda que as informações de entrada são referentes a 120 dias após a semeadura (DAS), período em que se espera a presença de frutos.

A partir do sistema *fuzzy* desenvolvido por Viais Neto (2016), utilizou-se combinações entre as variáveis de entrada, e tendo como saída as variáveis biométricas do tomateiro, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Sistema baseado em regras *fuzzy* para avaliação do desenvolvimento de tomateiros, tendo como variáveis de entrada a irrigação e a salinidade



Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com tal modelo, foi determinado os percentis dos dados para que o empirismo seja eliminado da avaliação e os delimitadores foram calculados para que a avaliação ocorra de forma quantitativa e generalizada. Assim, a cultura do tomate é comparada apenas com as plantas do experimento. Essa maneira de avaliação, bem como os valores coletados atende apenas às especificidades do plantio do tomate (*Lycopersicum esculentum*), visto que o processo de desenvolvimento é diferente de acordo com as particularidades de cada espécie.

1.2.1 Metodologias de determinação das variáveis de entrada

Para resultar as variáveis de saídas do sistema foram adotados os níveis de irrigação e salinidade utilizadas no experimento, em que possibilitou formar as combinações para a formulação das bases de regras. Na determinação dos delimitadores dos conjuntos *fuzzy*,

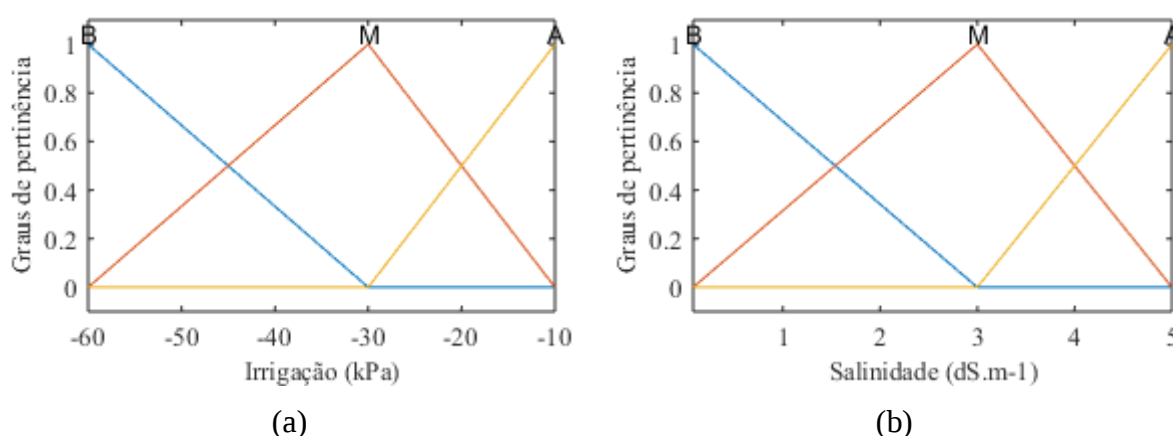
foi utilizado o método proposto por Gabriel Filho (2015), Putti (2015) e Viais Neto (2016). A partir das variáveis de entrada (irrigação e salinidade) foram adotados 3 conjuntos *fuzzy* (Baixo, Médio, Alto) (Tabela 1 e Figura 2).

Tabela 1 - Definição das funções de pertinência das variáveis de entrada

Variável	Conjunto Fuzzy	Tipo	Delimitadores
Irrigação	“Baixa” (B)	Triangular	[-61; -60; -30]
	“Média” (M)	Triangular	[-60; -30; -10]
	“Alta” (A)	Triangular	[-30; -10; -9]
Salinidade	“Baixa” (B)	Triangular	[-0,92; 0,08; 3]
	“Média” (M)	Triangular	[0,08; 3; 5]
	“Alta” (A)	Triangular	[3; 5; 6]

Fonte: Viais Neto (2016).

Figura 2 – Funções de pertinência definidas para os conjuntos *fuzzy* das variáveis de entrada (a) Irrigação [kPa], Salinidade [dS m^{-1}]



Fonte: Viais Neto (2016).

1.2.2 Metodologias de determinação das variáveis de saída

Na determinação das variáveis de saída obtidas via experimento e modeladas utilizando sistema baseados em regras *fuzzy* (VIAIS NETO, 2016) foi possível classificar em 9 conjuntos *fuzzy* (Baixo 1, Baixo 2, Baixo 3, Médio 1, Médio 2, Médio 3, Alto 1, Alto 2 ou Alto 3) visando a comparação. Posteriormente, o modelo fornece valores referentes a cada variável de saída, assim possibilitando também uma classificação em um dos 9 níveis, conforme disposto na Tabela 2.

Tabela 2 - Definição das funções de pertinência das variáveis de saída.

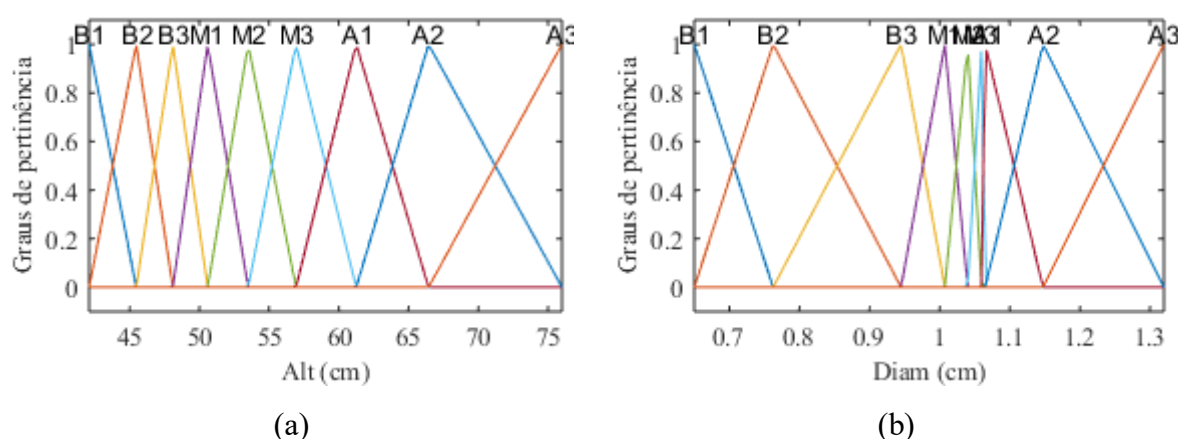
Conjunto <i>Fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores
“Baixo 1” (B1)	Triangular	[Limite inferior - 1; Limite inferior; P12,5%]
“Baixo 2” (B2)	Triangular	[Limite inferior; P12,5%; P25%]
“Baixo 3” (B3)	Triangular	[P12,5%; P25%; P37,5%]
“Médio 1” (M1)	Triangular	[P25%; P37,5%; P50%]
“Médio 2” (M2)	Triangular	[P37,5%; P50%; P62,5%]
“Médio 3” (M3)	Triangular	[P50%; P62,5%; P75%]
“Alto 1” (A1)	Triangular	[P62,5%; P75%; P87,5%]
“Alto 2” (A2)	Triangular	[P75%; P87,5%; Limite Superior]
“Alto 3” (A3)	Triangular	[P87,5%; Limite Superior; Limite Superior + 1]

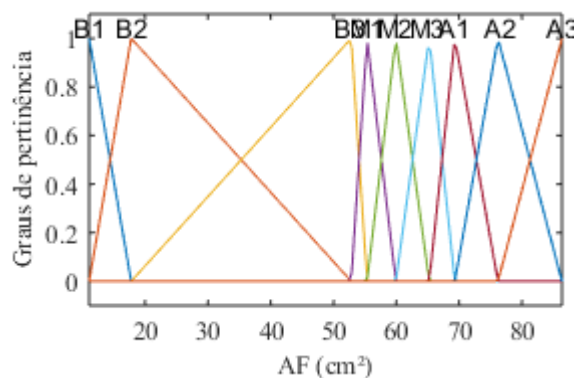
Fonte: Viais Neto (2016).

As informações dos valores mínimo, percentis 12,5%; 25%; 37,5%; 50%; 62,5%; 75%; 87,5% e máximo, bem como os limites inferior e superior formaram os delimitadores dos conjuntos na qual cada variável de saída abrangente por este trabalho serão classificados.

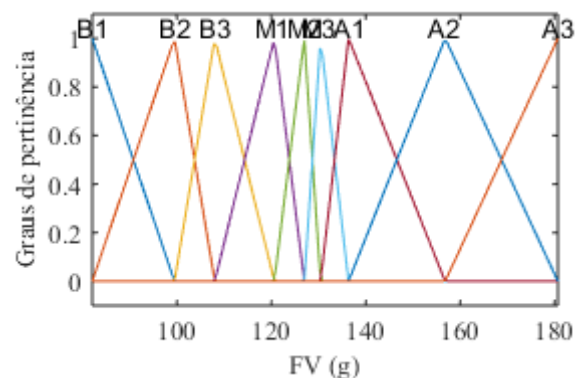
Na Figura 3 está representado graficamente todas as funções de pertinência das variáveis de saída do modelo proposto.

Figura 3 – Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* das variáveis de saídas (a) altura da planta (Alt) [cm], (b) diâmetro do caule (Diam) [cm], (c) área foliar (AF) [cm²], (d) fitomassa verde (FV) [g], (e) fitomassa seca (FS) [g], (f) número de frutos (NF) [unid], (g) peso médio dos frutos (PMF) [g] e (h) porcentagem de frutos deficientes (PFD) [%]

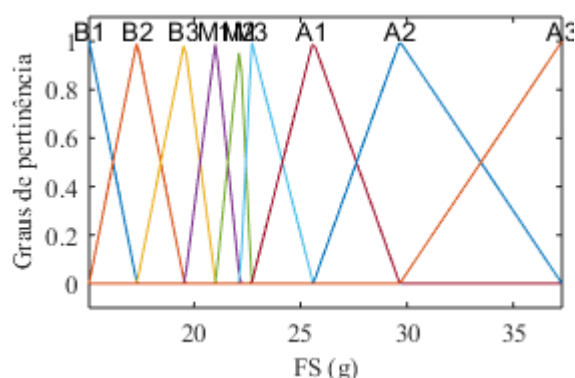




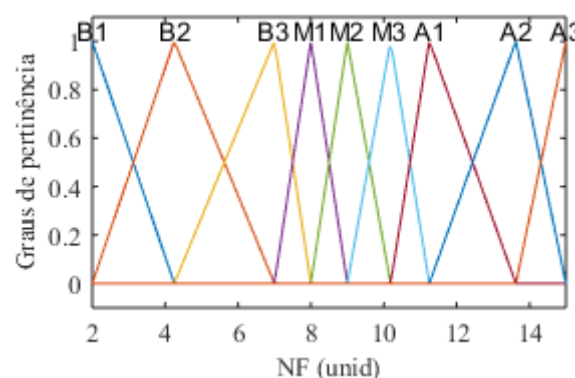
(c)



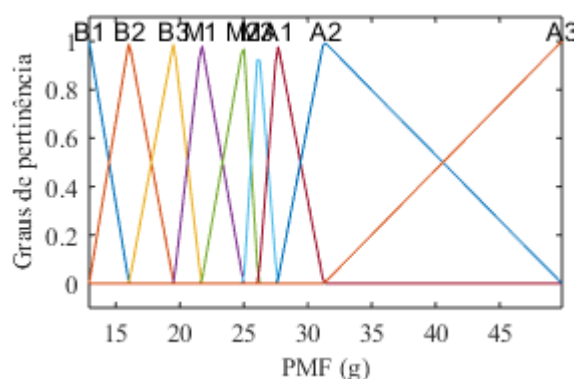
(d)



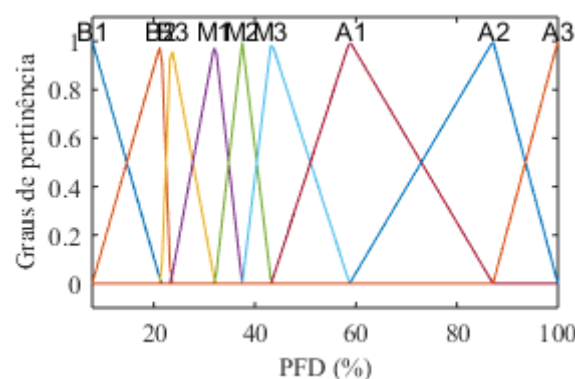
(f)



(g)



(h)



(i)

Fonte: Viais Neto (2016).

Para a obtenção da base de regras, o sistema *fuzzy* proposto, considerou-se as 9 (3×3) combinações entre os conjuntos *fuzzy* das duas variáveis de entrada (irrigação x salinidade). A classificação de cada combinação foi realizada considerando para irrigação os valores [-60; -30; -10 kPa] e para salinidade [0,08; 3; 5 dS m⁻¹] e as variáveis linguísticas utilizadas foram Baixo (B), Médio (M) e Alto (A), respectivamente. A Tabela 3 apresenta a base de regras de todas as variáveis assim consideradas e as combinações dos conjuntos *fuzzy* descritas.

Tabela 3 – Base de regras das variáveis associados aos conjuntos *fuzzy*.

Irrigação (kPa)	Salinidade (dS m ⁻¹)	Alt	Diam	AF	FV	FS	NF	PMF	PDF
B	B	M1	M2	M3	M2	M3	B1	M2	A3
B	M	M1	M2	M3	M2	M1	M2	M3	B3
B	A	M2	A1	M2	B2	B3	B2	B3	M1
M	B	B3	M3	A2	A1	A1	M1	A1	A2
M	M	M3	M3	A1	M3	M2	M3	B2	M3
M	A	B3	M2	M1	M1	B3	M1	B2	M3
A	B	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A3	B1
A	M	A3	B2	B2	A1	A2	A2	A1	B2
A	A	A1	B1	B1	B1	B2	A2	M1	M1

Fonte: Viais Neto (2016).

Segundo o esquema de classificação proposto na Tabela 3, a determinação das variáveis linguísticas, foram pelos percentis nos níveis $\frac{P(0\%)+P(12,5\%)}{2}$; $\frac{P(12,5\%)+P(25\%)}{2}$; $\frac{P(25\%)+P(37,5\%)}{2}$; $\frac{P(37,5\%)+P(50\%)}{2}$; $\frac{P(50\%)+P(62,5\%)}{2}$; $\frac{P(62,5\%)+P(75\%)}{2}$; $\frac{P(75\%)+P(87,5\%)}{2}$ e $\frac{P(87,5\%)+P(100\%)}{2}$ dos dados coletados, aos 120 dias após a semeadura, desta forma, para efeito de determinação do maior grau de pertinência, para compor a base de regras do sistema *fuzzy*, foi adotada a seguinte convenção:

- Se $Saída < \frac{P(0\%)+P(12,5\%)}{2}$ então a Saída é “Baixo 1” (B1);
- Se $\frac{P(0\%)+P(12,5\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(12,5\%)+P(25\%)}{2}$ então a Saída é “Baixo 2” (B2);
- Se $\frac{P(12,5\%)+P(25\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(25\%)+P(37,5\%)}{2}$ então a Saída é “Baixo 3” (B3);
- Se $\frac{P(25\%)+P(37,5\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(37,5\%)+P(50\%)}{2}$ então a Saída é “Médio 1” (M1);
- Se $\frac{P(37,5\%)+P(50\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(50\%)+P(62,5\%)}{2}$ então a Saída é “Médio 2” (M2);
- Se $\frac{P(50\%)+P(62,5\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(62,5\%)+P(75\%)}{2}$ então a Saída é “Médio 3” (M3);
- Se $\frac{P(62,5\%)+P(75\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(75\%)+P(87,5\%)}{2}$ então a Saída é “Alto 1” (A1);
- Se $\frac{P(75\%)+P(87,5\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(87,5\%)+P(100\%)}{2}$ então a Saída é “Alto 2” (A2);

- Se $Saída > \frac{P(87,5\%) + P(100\%)}{2}$ então a Saída é “Alto 3” (A3),

onde $P(x\%)$ representa o percentil no nível $x\%$ do conjunto dos valores calculados dos tomateiros do experimento aos 120 dias após a semeadura.

O método de inferência utilizado para o cálculo do valor numérico da variável de saída de acordo com a base de regras foi o de *Mamdani*.

Com o auxílio da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do *software Matlab® 7.17*, Copyright 1984-2012 The MathWorks Inc., foi possível criar um sistema baseado em regras *fuzzy* e computacionalmente sendo possível gerar superfícies ou mapas de contorno de representação do sistema. Os estudos numéricos e experimentais deste projeto foram desenvolvidos no Laboratório de Matemática Aplicada e Computacional (LabMAC) instalado na Unesp, Campus de Tupã-SP, onde, possui licenças para utilização do referido *software*.

1.2.3 Metodologia para o desenvolvimento da plataforma computacional

Após a implementação do sistema *fuzzy* foi elaborado um banco de dados com a combinação Irrigação (1) e Salinidade (2) contendo, 25.143 combinações criando-se pares dos valores por meio de laços de repetição para as variáveis de entrada, em que se variou 1 e 0,01 unidades para as variáveis irrigação e salinidade respectivamente.

Com o comando “*evalfis*” do *software Matlab®*, foram calculados todos os possíveis valores de cada variável de saída e criado um banco de dados utilizando o Sistema Gerenciador de Banco de Dados *SQLite*, que foi o formato escolhido por ser de livre distribuição, não necessitar a instalação de qualquer *software* de gerenciamento, além de ser amplamente utilizado pela sua confiabilidade até mesmo por grandes empresas como Google, Apple, Adobe, Dropbox entre outras.

Com o banco de dados de resultados, implementou-se o *software* em linguagem *Delphi* que de tal forma, quaisquer combinações informadas pelo usuário pudessem ser determinadas pelo banco de dados.

A linguagem *Delphi* foi utilizada para o desenvolvimento do *software*. Esta linguagem de programação gera resultados para *Windows*, *Mac*, *Android*, *IOS* e *WEB*, além de ser totalmente visual e orientada a objetos. É uma maneira rápida de gerar aplicativos ricos em recursos. Seu Ambiente de Rápido Desenvolvimento com design visual do tipo "arrastar-e-soltar" facilita e simplifica todo e qualquer trabalho, reduzindo o tempo de execução das tarefas.

O ambiente de desenvolvimento do *Delphi* possui inúmeros componentes pré-instalados (são centenas controles visuais como: botões de rádio, caixas de seleção, barra de progresso, entre outros). Seu ambiente facilita todo o trabalho e diminui o tempo de desenvolvimento, além disso, é possível a instalação de componentes de terceiros (são milhares gratuitos e comerciais) que aumenta ainda mais o poder da linguagem e consequentemente a produtividade.

Suas aplicações podem ser, praticamente, para toda e qualquer natureza e grau de complexidade, pois mesmo com seus recursos nativos, é possível, como por exemplo, acesso direto aos diversos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados, além de possibilitar aplicações com tela interativa sensível ao toque, aplicativos multicamadas, para computação nas nuvens, é possível construir aplicativos que necessitam de velocidade: visualização de dados, controle de hardware em tempo real, manipulação de objetos em 3D, etc.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

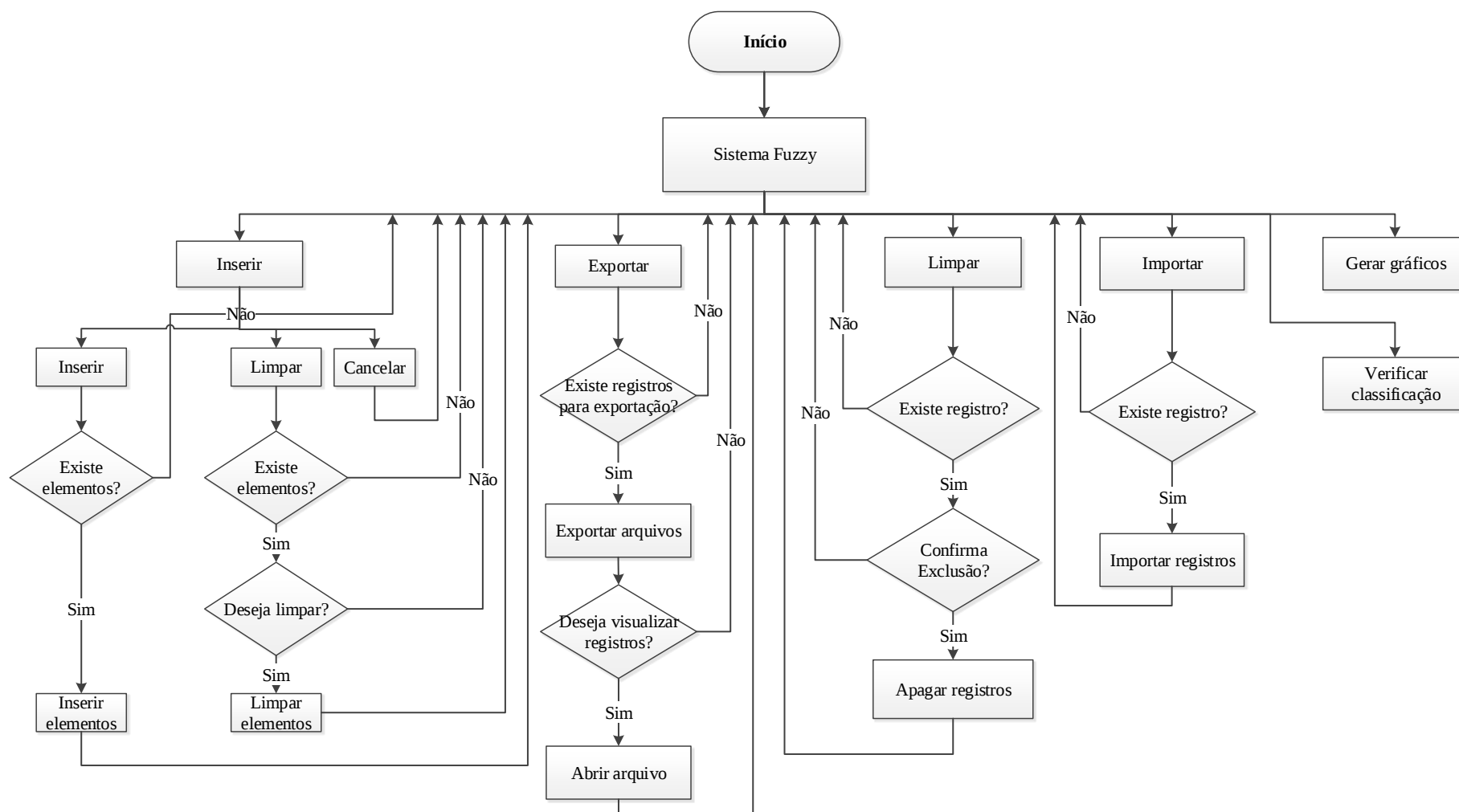
O *software* desenvolvido em linguagem *Delphi* possui interface simplificada para facilitar a compreensão do uso e assim otimizar a execução das tarefas. O cadastro do tomateiro pode ser realizado a partir da importação de dados de uma planilha eletrônica ou diversos outros formatos contendo apenas os dados de dos níveis de irrigação e salinidade, em análise, sendo que deve ser inserido na seguinte ordem: (1) Irrigação e (2) Salinidade, havendo também a possibilidade da inserção individual no *software* pela função inserir.

Os intervalos da irrigação e salinidade, que foram adotados do experimento realizado, e utilizado para o estudo foram, respectivamente, $[-60; -10 \text{ kPa}]$ e $[0,08; 5 \text{ dS m}^{-1}]$. Com esses valores foi possível estabelecer um banco de dados, com todas as combinações possíveis de irrigação e salinidade, e calculou-se os valores de saídas pelo *software Matlab®*, após esta etapa, foi desenvolvido o *software* em linguagem *Delphi*, onde tais combinações foram utilizadas como base de cálculos para os demais valores não adotados no experimento.

O *software* possibilita a classificação de todas as variáveis de saída em 9 níveis de comparação com os dados dos tomateiros do experimento (Baixo 1, Baixo 2, Baixo 3, Médio 1, Médio 2, Médio 3, Alto 1, Alto 2 ou Alto 3).

Posteriormente, o *software* exibe os valores das variáveis de saída de cada planta, mesmo as quais possuem informações de entrada que não foram aferidas via experimento, em que pode-se observar as informações biométricas, classificando-as também qualitativamente.

A lógica funcional do *software* está representada no fluxograma que define as principais funções disponíveis aos usuários (Figura 4).

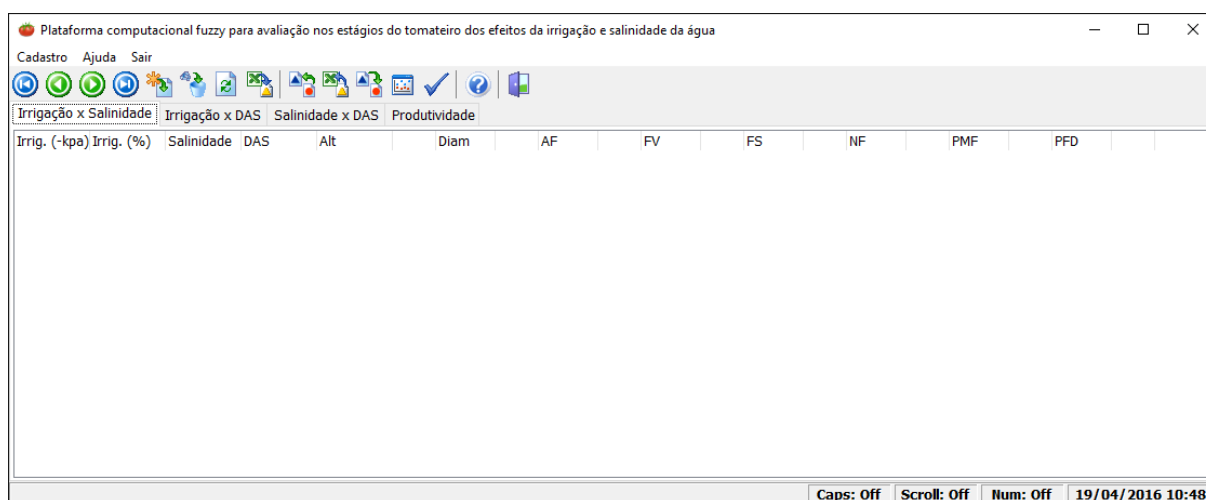
Figura 4 – Fluxograma de funcionalidade do *software*

Fonte: Elaborada pelo autor.

O *software* desenvolvido (Figura 5) é utilizado para cadastrar e verificar a situação que o tomateiro se encontra, em que a classificação é realizada qualitativa e quantitativamente, sendo que ocorre de forma automática.

Na interface do *software*, apresenta os recursos para a inserção de forma manual ou por meio de importação de vários formatos inclusive para as planilhas eletrônicas, possibilitando a inserção simultânea de diversas combinações de irrigação e salinidade. Também o *software* possibilita a exportação dos resultados das combinações, das variáveis de saída e classificações qualitativas, sendo que há a possibilidade da exportação em diferentes formatos.

Figura 5 – Interface inicial do *Software* de avaliação do desenvolvimento de tomateiros.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na inserção dos dados no sistema computacional, o usuário poderá escolher a combinação entre as variáveis analisadas, níveis de irrigação, doses de salinidade da água e DAS, deste modo podendo analisar a situação no momento da colheita ou manejo do tomateiro.

Para inserção de níveis de irrigação, o produtor poderá indicar o potencial matricial de água no solo (kPa), ou a umidade do solo (%). Para conversão de unidades, kPa em % ou vice-versa, o software utiliza o modelo proposto por Van Genuchten (1980), em que θ representa kPa e Ψ representa a umidade do solo. Foram estimados os parâmetros utilizando o *software Soil Water Retention Curve* (DOURADO NETO et al.,1990), chegando a seguinte fórmula:

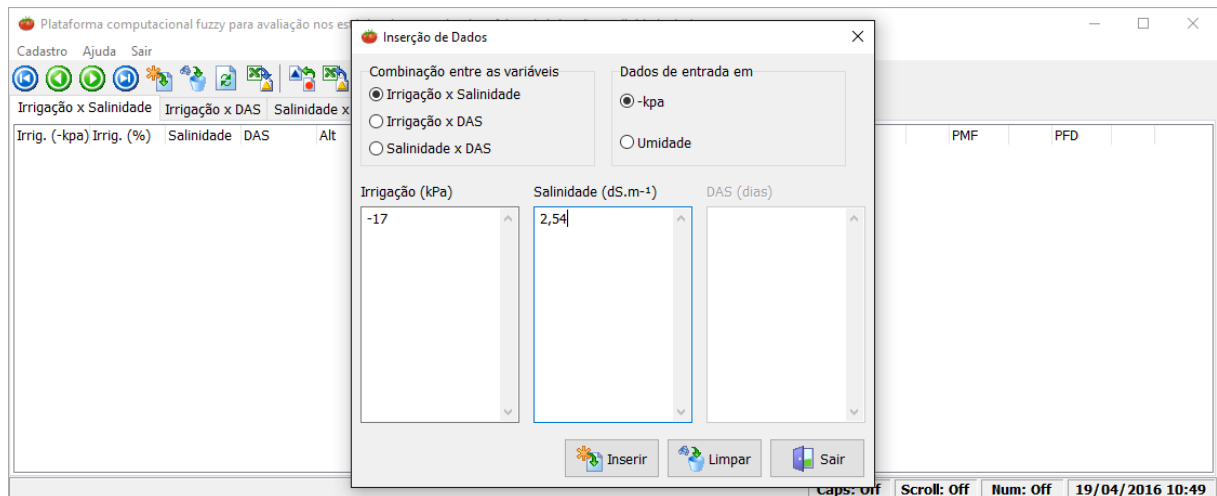
$$\theta = 0,1922 + \frac{0,1136}{[1 + (0,07034 \cdot |\Psi|)^{1,8552}]^{0,4610}}$$

Foi necessária efetuar uma manipulação algébrica, para efetuar a conversão de kPa para umidade do solo (%), conforme os passos a seguir:

$$\begin{aligned}
 \theta &= 0,1922 + \frac{0,1136}{[1 + (0,07034 \cdot |\Psi|)^{1,8552}]^{0,4610}} \Rightarrow \\
 \theta - 0,1922 &= \frac{0,1136}{[1 + (0,07034 \cdot |\Psi|)^{1,8552}]^{0,4610}} \Rightarrow \\
 \theta - 0,1922 &= \frac{0,1136}{[1 + (0,07034 \cdot |\Psi|)^{1,8552}]^{0,4610}} \Rightarrow \\
 [1 + (0,07034 \cdot |\Psi|)^{1,8552}]^{0,4610} &= \frac{0,1136}{\theta - 0,1922} \Rightarrow \\
 1 + (0,07034 \cdot |\Psi|)^{1,8552} &= \left(\frac{0,1136}{\theta - 0,1922} \right)^{\frac{1}{0,4610}} \Rightarrow \\
 1 + (0,07034 \cdot |\Psi|)^{1,8552} &= \left(\frac{0,1136}{\theta - 0,1922} \right)^{2,1692} \Rightarrow \\
 (0,07034 \cdot |\Psi|)^{1,8552} &= \left(\frac{0,1136}{\theta - 0,1922} \right)^{2,1692} - 1 \Rightarrow \\
 0,07034 \cdot |\Psi| &= \left[\left(\frac{0,1136}{\theta - 0,1922} \right)^{2,1692} - 1 \right]^{\frac{1}{1,8552}} \Rightarrow \\
 0,07034 \cdot |\Psi| &= \left[\left(\frac{0,1136}{\theta - 0,1922} \right)^{2,1692} - 1 \right]^{0,539} \Rightarrow \\
 |\Psi| &= \frac{1}{0,07034} \left[\left(\frac{0,1136}{\theta - 0,1922} \right)^{2,1692} - 1 \right]^{0,539} \Rightarrow \\
 |\Psi| &= 14,2167 \left[\left(\frac{0,1136}{\theta - 0,1922} \right)^{2,1692} - 1 \right]^{0,539}
 \end{aligned}$$

A inserção da dose de salinidade da água deve ser feita em dS m^{-1} e do DAS em dias (Figura 6).

Figura 6 – Interface do *software*, no momento de inserir os dados para análise, sendo a Irrigação em kPa e Salinidade em dS m^{-1}



Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir da simulação observada na Figura 6, em que foi adotado a irrigação mantendo a umidade no solo em -17 kPa e o nível de salinidade de $2,54 \text{ dS m}^{-1}$ na água, foi possível averiguar a situação em que o tomateiro se encontra. Na Figura 7 apresenta as variáveis de respostas qualitativas e quantitativas em que obteve os resultados de 65,30 cm; 0,88 cm; $37,46 \text{ cm}^2$; 146,33 g; 29,73 g; 11,88 unid; 30,17 g; 46,35 % e classificações A2, B3, B3, A1, A2, A1, A2 e M3 nas saídas Alt, Diam, AF, FV, FS, NF, PMF e PFD respectivamente.

Figura 7 – Resultado da análise no *Software*, no qual foi inserida irrigação de 17 kPa e salinidade $2,54 \text{ dS m}^{-1}$

Plataforma computacional fuzzy para avaliação nos estágios do tomateiro dos efeitos da irrigação e salinidade da água

—

□

×

Cadastro

Ajuda

Sair

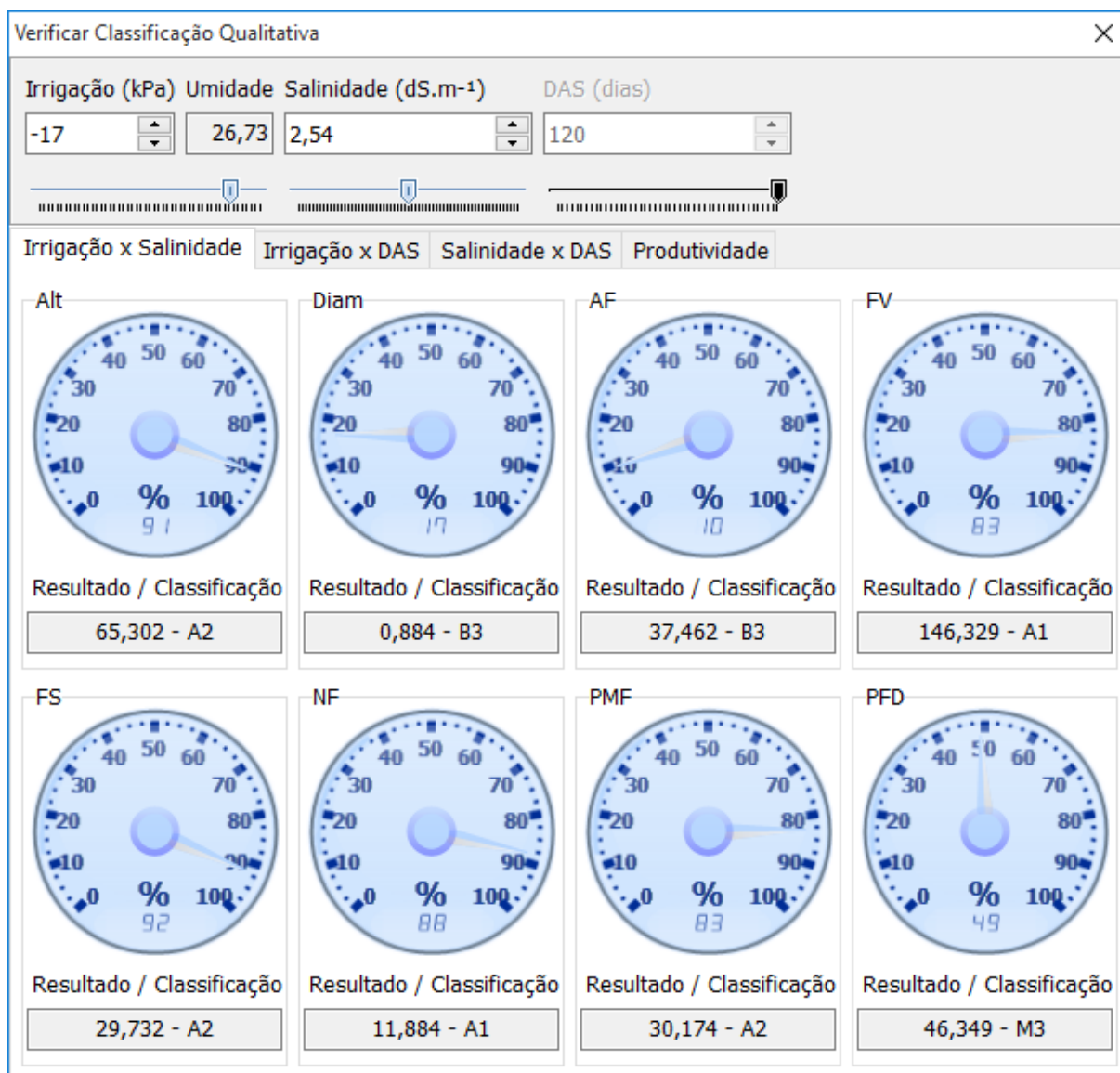
</

Fonte: Elaborada pelo autor.

O *software* por intermédio da função “*Verificar Classificação Qualitativa*”, apresenta em formato de relógios os percentis de saída, possibilitando obter os mesmos

resultados na Figura 7. Entretanto pode-se observar que na Figura 8 existe o recurso para alterar as combinações dos níveis de irrigação e salinidade da água dentro do intervalo dos valores testados experimentalmente. Assim obtendo as variáveis de saídas com seus respectivos valores quantitativos e qualitativos.

Figura 8 – Interface do *software*, em que automaticamente classifica e calcula os valores entre os menores e maiores valores de irrigação e salinidade, assim abrangendo todo o intervalo de dados

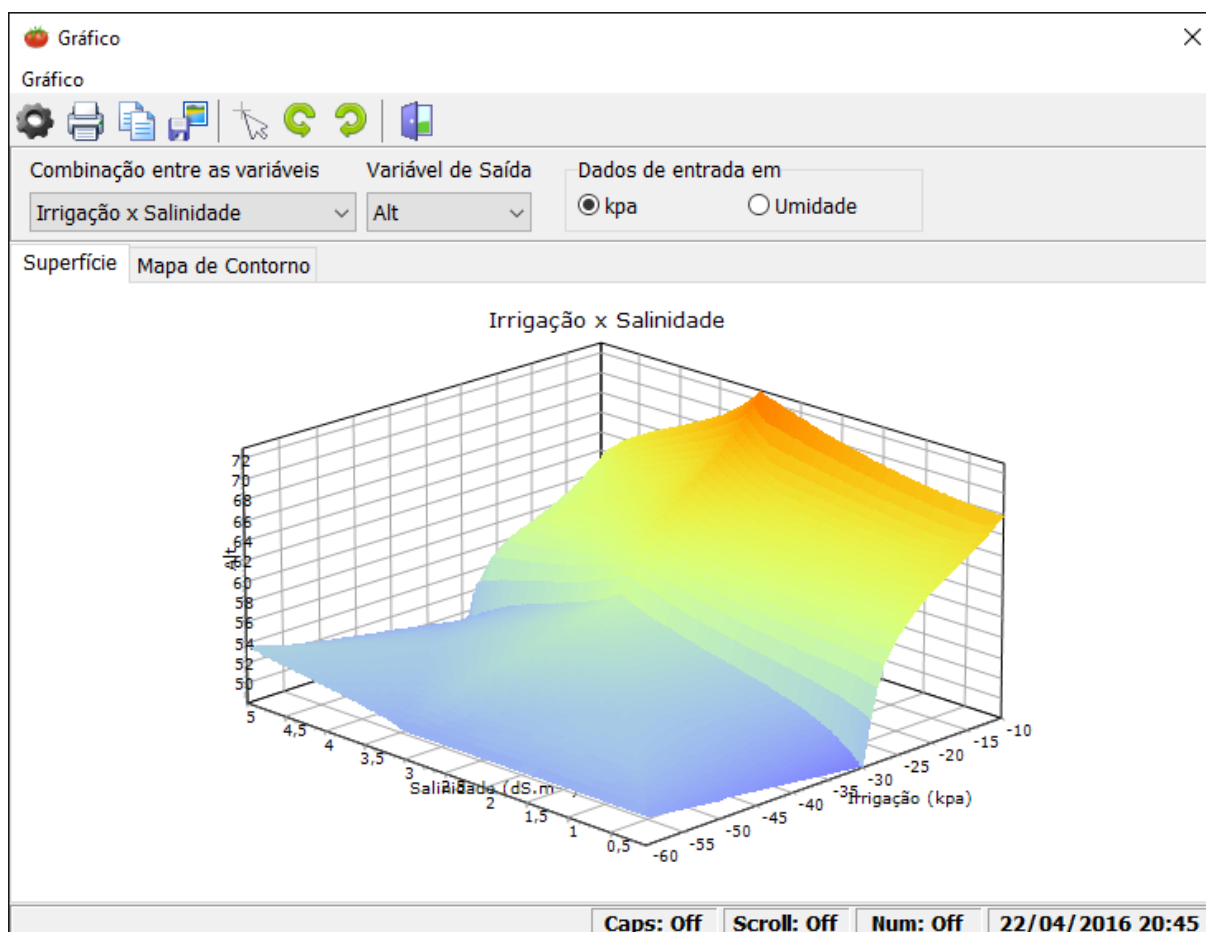


Fonte: Elaborada pelo autor.

O *software* gera uma superfície para cada variável de saída, utilizando todas as possíveis combinações entre as variáveis de entrada. As combinações entre as variáveis de entrada e a escolha da variável de saída, deve ser determinada por meio das duas caixas de seleção (“Combinação entre as variáveis” e “Variável de saída”). No caso da determinação da

unidade dos dados de Irrigação (kPa ou Umidade) deve ser determinada por meio dos botões de rádio. Ressalta-se ainda que as colorações das superfícies e mapas de contornos são correspondentes aos determinados valores para as variáveis de saída, indo do azul ao laranja, em que representam valores menores e maiores respectivamente (Figura 9).

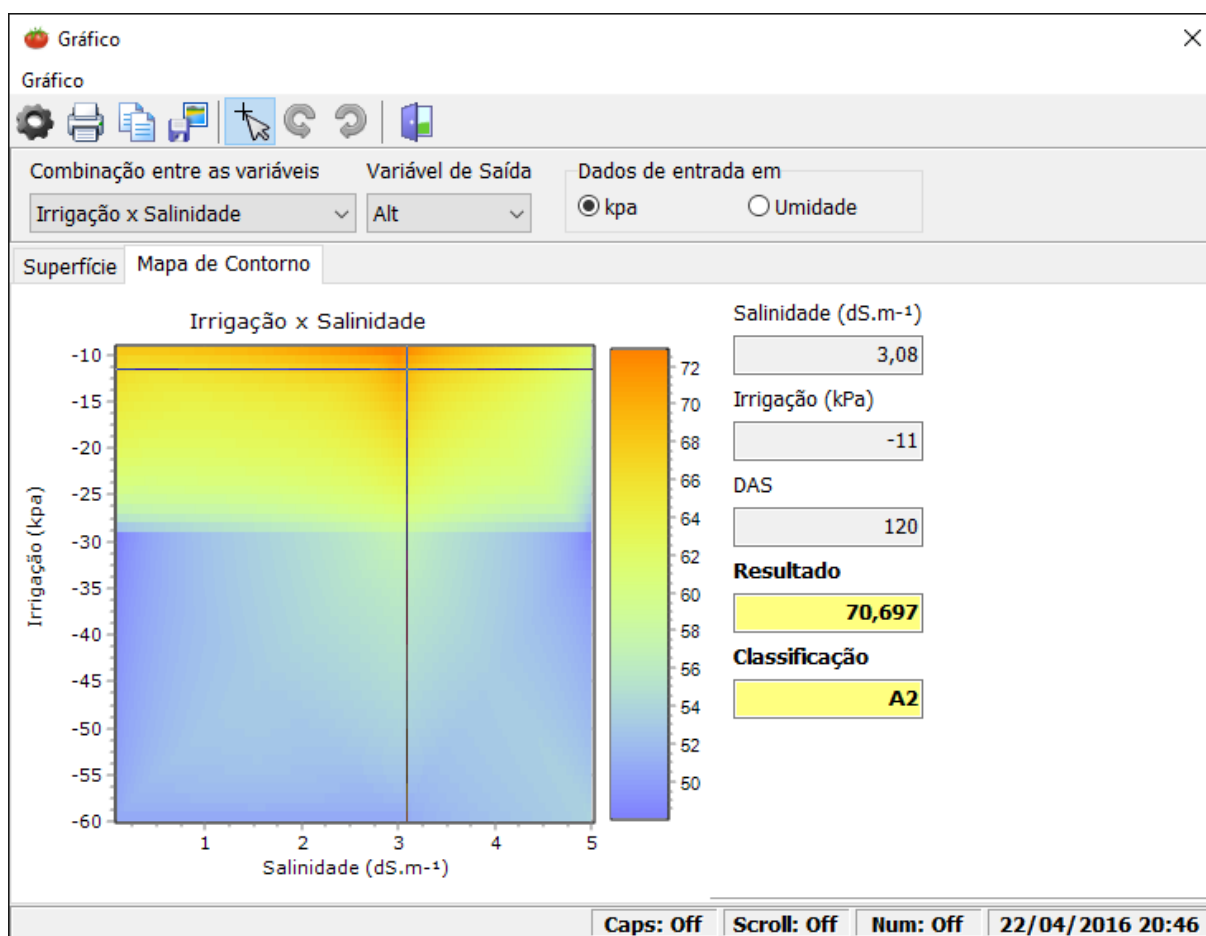
Figura 9 - Superfície de representação dos valores das variáveis de saída



Fonte: Elaborada pelo autor.

Simultaneamente ao gerar a superfície de resposta, é plotado o mapa de contorno, que pode ser visualizado na respectiva aba. O *software* ainda exibe um mapa de contorno para cada variável, contando ainda com o mesmo esquema de coloração, porém com esse recurso é possível verificar rapidamente o valor da saída da variável selecionada, apenas percorrendo o mouse sobre o mapa, onde uma cruz o acompanha a todo o momento. Lateralmente é exibido os valores posicionais dos eixos, o resultado e a classificação da variável selecionada (Figura 10).

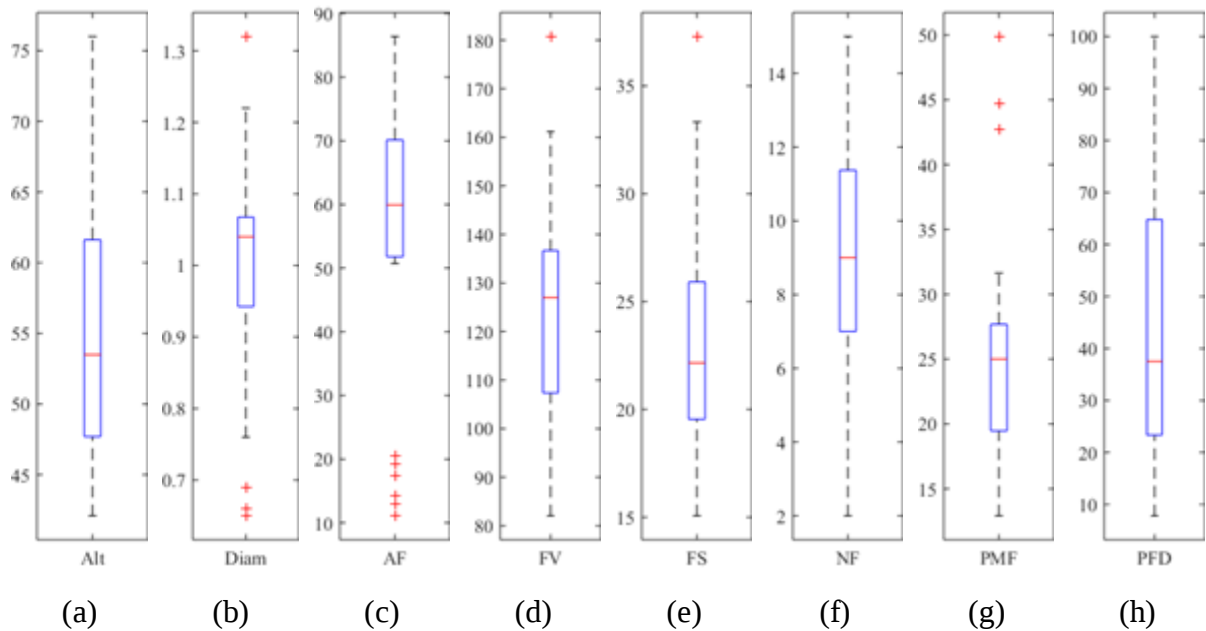
Figura 10 - Mapa de contorno de representação dos valores das variáveis de saída



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 11 apresenta os *boxplots* correspondente para as variáveis de saída da combinação entre diferentes níveis de irrigação e doses de salinidade. Nos gráficos a seguir, a caixa (box), contém metade dos dados e seu limite inferior e superior são delimitados pelos percentis 25% e 75%, respectivamente, sendo também possível ver o valor mediano, representado por uma linha vermelha, deve-se observar que os asteriscos representam *outliers* dos dados aferidos, que tratam-se dos valores discrepantes da amostra.

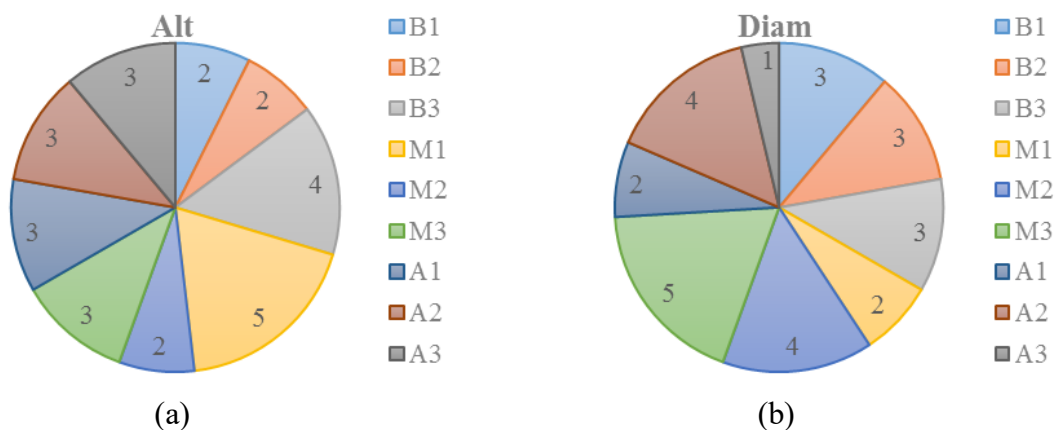
Figura 11 – Boxplot para dados amostrais dos dados para (a) altura da planta (Alt) [cm], (b) diâmetro do caule (Diam) [cm], (c) área foliar (AF) [cm²], (d) fitomassa verde (FV) [g], (e) fitomassa seca (FS) [g], (f) número de frutos (NF) [unid], (g) peso médio dos frutos (PMF) [g] e (h) porcentagem de frutos deficientes (PFD) [%]

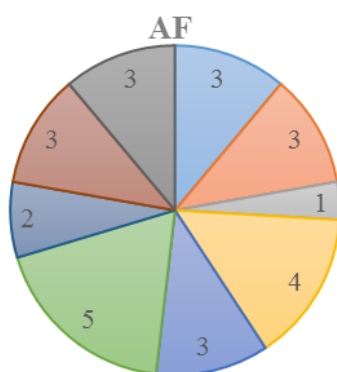


Fonte: Elaborada pelo autor.

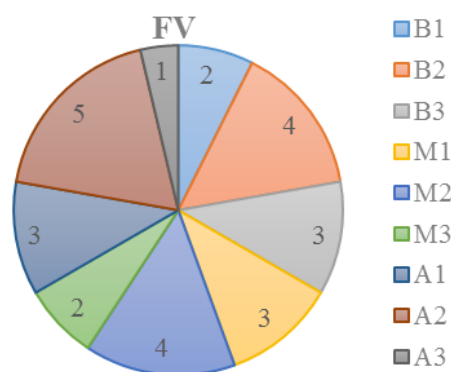
Na Figura 12 cada gráfico representa a classificação de uma variável de saída, utilizando os dados do próprio experimento. O tomateiro deve estar em uma região adequada de nível de irrigação e dose de salinidade para obter produção adequada, assim combinado as variáveis de entrada testadas experimentalmente pode-se obter a distribuição da quantidade da classificação qualitativa.

Figura 12 – Distribuição da quantidade de tomateiros de (a) altura da planta (Alt) [cm], (b) diâmetro do caule (Diam) [cm], (c) área foliar (AF) [cm²], (d) fitomassa verde (FV) [g], (e) fitomassa seca (FS) [g], (f) número de frutos (NF) [unid], (g) peso médio dos frutos (PMF) [g] e (h) porcentagem de frutos deficientes (PFD) [%], para cada classificação

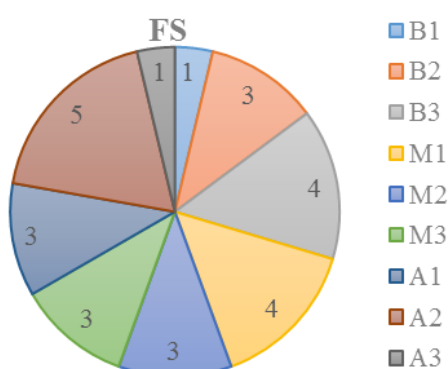




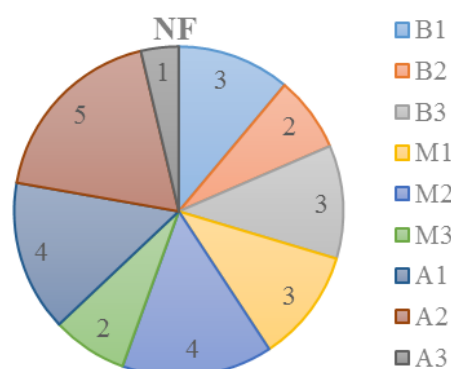
(c)



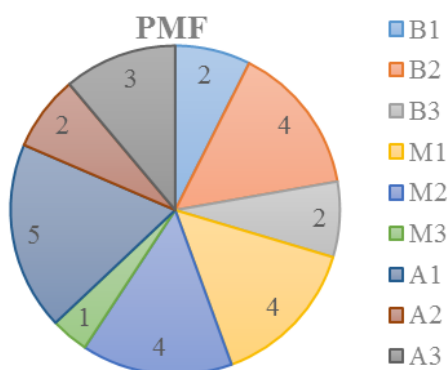
(d)



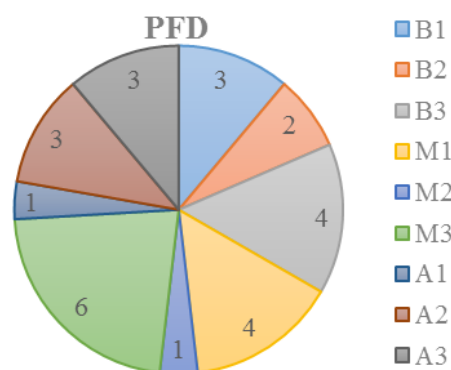
(e)



(f)



(g)



(h)

Fonte: Elaborada pelo autor.

1.4 CONCLUSÕES

O *software* para avaliação do desenvolvimento do tomateiro baseado em sistemas de regras *fuzzy* desenvolvido nesse trabalho é um programa de fácil uso, com o objetivo de auxiliar os produtores de qualquer região a estabelecer níveis ótimos de irrigação e doses de salinidade visando uma maior produtividade, ou simplesmente indicando a viabilidade da cultura frente a seus custos de determinado período, região, entre outros.

Pode-se dizer que o *software* é um método para a avaliação do desenvolvimento do tomateiro por meios quantitativos e qualitativos que fornecem subsídios para a tomada de decisão do produtor. Assim, o *software* possibilita a simulação de diversas combinações não observadas experimentalmente, deste modo abrangendo todo o range e demonstrando os valores e classificações para as variáveis de saída.

1.5 REFERÊNCIAS

- BALBINO, J. M. S.; ABAURRE, M. E. O.; CASTRO, L. L. F. **Manejo da água para a cultura**. Capítulo 7. In: INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Tomate. Vitória, ES: Incaper, 2010. 430 p.
- BENINI, L. C. **Uma introdução à teoria dos conjuntos fuzzy**. Congresso Brasileiro de Sistemas Fuzzy. Natal, 2012.
- BILOBROVEC, M. **Sistema especialista em lógica fuzzy para o controle, gerenciamento e manutenção da qualidade em processo de aeração de grãos**. 2005. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2005.
- CUNHA, R. A.; MARTINS, D. **Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP**. Irriga, v. 14, n. 1, p 1-11, 2009.
- CARMO, C. A. S.; CALIMAN, L. F. **Clima, época de plantio e cultivar**. Capítulo 5. In: INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Tomate. Vitória, ES: Incaper, 2010. 430 p.
- DOURADO NETO, D.; LIER, Q. J.V.; BOTREL, T.A.; LIBARDI, P. L. Programa para confecção da curva de retenção da água no solo utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia. Rural**, Piracicaba, v.1, n.2, p.92-102, 1990.
- GABRIEL FILHO, L. R. A. **Sistemas Fuzzy aplicados nas Ciências Agrárias**. 2015. 258p. Tese (Livre-Docência em Matemática Aplicada e Computacional) - Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP, Tupã, 2015.
- MARÇAL, R. F. M.; SUSIN, A. A. **O emprego de inteligência artificial como ferramenta de apoio à tomada de decisão na manutenção industrial**. In: III Seminário Catarinense – ABRAMAN. Joinville, 2005.

MARQUES, M. A. D. **Lâminas e frequências de irrigação para a cultura do tomateiro tipo grape, em Casa Nova**, 2013. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro, 2013.

PARISE, F. J. O.; VETTORAZZI, C. A. **Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin: II. classificação de dados espaço-temporais**. Rev. Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 48-51, 2005.

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 Agrônomicas - UNESP. Botucatu, 2015.

OLIVEIRA, B. C.; CARDOSO, M. A. A.; OLIVEIRA, J. C.; OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, L. F. **Características produtivas do tomateiro submetido a diferentes níveis de sais, na água de irrigação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 1, p. 11-16, 2007.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 48. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p.

SILVA JUNIOR, J. F. **Desenvolvimento do tomate em diferentes níveis de irrigação e de doses de salinidade**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP/FCA. Botucatu, 2012.

SOUZA, J. A. R.; MOREIRA, D. A.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T. **Avaliação de frutos de tomate de mesa produzidos com efluente do tratamento primário da água residuária da suinocultura**. Engenharia na Agricultura, v. 18, n. 3, p. 198-207, 2010.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. **Hortaliças**. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. p. 183-184.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 44, p.892-8, 1980.

VIAIS NETO, D. S. **Modelagem fuzzy para avaliação do desenvolvimento do tomate em diferentes níveis de irrigação e doses de salinidade da água**. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP. Botucatu, 2016.

CAPÍTULO II – PLATAFORMA COMPUTACIONAL FUZZY PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA IRRIGAÇÃO E DA SALINIDADE DA ÁGUA NOS ESTÁGIOS DO TOMATEIRO

Resumo

O tomate é o segunda olerícola cultivado no mundo, nas mais diferentes latitudes geográficas em campo ou protegido. A água é provavelmente o mais vital dos recursos naturais para o cultivo de tomate, que é normalmente produzido com irrigação. Sua falta ou excesso podem comprometer a produtividade e a qualidade de frutos além de contribuir com o aparecimento e o desenvolvimento de algumas pragas. A salinidade é um fator limitante ao desenvolvimento de algumas culturas inclusive do tomate, que é considerado uma cultura moderadamente sensível aos seus efeitos. Este trabalho teve por objetivo desenvolver um sistema computacional em linguagem *Delphi* que auxilie a avaliação da cultura do tomate híbrido (*Lycopersicum esculentum*) utilizando duas modelagens *fuzzy*. O sistema estimará os valores das variáveis biométricas da cultura do tomate em diversos níveis de irrigação com base nos potenciais matriciais de água no solo versus os dias após semeadura, e tais variáveis em diferentes doses de salinidade na água de irrigação versus os dias após semeadura. Para tanto, utilizou-se de dados de um experimento e uma modelagem *fuzzy* para a elaboração do *software*. As variáveis biométricas avaliadas foram: altura da planta, diâmetro do caule, área foliar, fitomassa verde e fitomassa seca. Nos resultados, apresentou-se um *software* com uma interface simplificada, facilitando a compreensão e consequentemente seu uso. Além disso, acredita-se que o mesmo auxiliará o produtor estabelecer níveis ótimos de irrigação e doses de salinidade visando uma maior produtividade do tomate, ou simplesmente indicando a viabilidade cultura frente a seus custos.

PALAVRAS-CHAVE: Lógica *Fuzzy*. produtividade. *Lycopersicum esculentum*. otimização.

CHAPTER II - COMPUTING PLATFORM FOR FUZZY EVALUATION OF EFFECTS OF IRRIGATION AND WATER SALINITY IN STAGES OF TOMATO

Abstract

The tomato is the second vegetable crop grown in the world, in many different geographical latitudes in the field or protected. Water is probably the most vital natural resources for tomato crop, which is usually produced with irrigation. His lack or excess can compromise fruit yield and quality and contribute to the emergence and development of some pests. Salinity is a limiting factor to the development of some crops including tomato, which is considered a moderately sensitive culture to its effects. This study aimed to develop a computer system in *Delphi* language that helps the evaluation of hybrid tomato crop (*Licopersicum esculentum*) using two *fuzzy* modeling. The system will estimate the values of the biometric variables of tomato cultivation in different irrigation levels based on matric potentials of water in the soil versus days after sowing, and these variables in different salinity doses in irrigation water versus days after sowing. Therefore, we used data from an experiment and fuzzy modeling for the development of software. The biometric parameters evaluated were: plant height, stem diameter, leaf area, green biomass and dry mass. In the results, we performed software with a streamlined interface, making it easier to understand and consequently its use. Furthermore, it is believed that the same will assist the producer to establish optimum levels of salinity irrigation and doses for the greater productivity of tomato, or simply indicating the viability of the culture front costs.

KEYWORDS: *Fuzzy* logic. productivity. *Licopersicum esculentum*. optimization.

2.1 INTRODUÇÃO

O tomate é o segunda olerícola mais cultivado no mundo, sendo sua quantidade produzida superada apenas pela batata, que juntamente com a cebola e o alho são os mais industrializados (FILGUEIRA, 2008). Além disso, o tomate é cultivado nas mais diferentes latitudes geográficas em campo ou em cultivo protegido sob diferentes manejos e tecnológicas (SHIRAHIGE, 2009).

Dentre os recursos naturais, a água é provavelmente o mais vital para o cultivo de tomate, que é normalmente produzido utilizando a irrigação para suprir a demanda hídrica, a água também proporciona a solubilização e a disponibilização dos nutrientes do solo (MAROUELLI et al., 2011a).

A quantidade de água necessária para a irrigação do tomateiro varia de 350 a 500 mm por ciclo, dependendo das condições climáticas, da cultivar e do sistema de irrigação (MAROUELLI; SILVA, 2002). Cultivos de tomateiro submetidos a condições de deficit ou excesso de água têm a produtividade e a qualidade de frutos comprometidas (MAROUELLI; SILVA, 2002). Existe ainda uma estreita relação entre o aparecimento e o desenvolvimento de algumas pragas no tomateiro e a forma com que a água é aplicada às plantas (MAROUELLI et al., 2011b).

A agricultura irrigada depende da quantidade e qualidade da água. Dentre as características que determinam a qualidade da água para a irrigação, a concentração de sais solúveis ou salinidade é um fator limitante ao desenvolvimento de algumas culturas (BERNARDO, 1996).

Segundo Duarte et al. (2007), o termo salinidade da água e do solo está diretamente ligado ao teor de sais contidos nos mesmos e que, quando em elevadas quantidades na zona radicular podem provocar uma baixa disponibilidade de água para as plantas, reduzindo assim, em alguns casos a produção das culturas.

O tomateiro é considerado uma cultura moderadamente sensível aos efeitos dos sais, apresentando reduções em seu rendimento potencial com águas de condutividade elétrica acima de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ (AYERS; WESTCOT, 1991).

De acordo com Freitas et al. (2010), a disponibilidade de água de boa qualidade para irrigação está cada vez mais difícil, uma vez que se prioriza a utilização desta para consumo humano, com isso, a utilização de água salina torna-se uma alternativa quando se trabalha com espécies tolerantes e através de práticas de manejo adequado.

Deste modo, para o melhor manejo da irrigação produtores utilizam tecnologias para facilitar e otimizar os recursos. Sendo, que os *softwares* facilitam e automatizam processos dentro da propriedade, assim é possível realizar atividades de alta complexidade em curto período de tempo, e apresentando alto grau de confiabilidade.

O desenvolvimento de *software* utilizando regras *fuzzy*, historicamente já foi utilizado por Gabriel Filho et al. (2012), em que foi proposto uma modelagem para avaliação de abate de bovinos, considerando o peso e a altura de um rebanho de nelores sul-mato-grossenses, ocasião que foi desenvolvido um modelo nomeado como IMC *Fuzzy*.

O objetivo do presente trabalho foi aplicar o “*Plataforma computacional fuzzy para avaliação nos estágios do tomateiro dos efeitos da irrigação e salinidade da água*”, para o auxílio do manejo da cultura do tomate híbrido (*Lycopersicum esculentum*) quando submetida em diferentes níveis de irrigação ou salinidade da água ao longo do ciclo.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados experimentais utilizados para o desenvolvimento do *software* que visa determinar o manejo do tomateiro, foram determinados por Silva Junior (2012). Em que o experimento foi conduzido no Departamento de Engenharia Rural, na Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em que adotaram-se 3 níveis de irrigação (-60; -30; -10 kPa) e 3 níveis de salinidade (0,08; 3; 5 dS m⁻¹) e para verificar o efeito do manejo foram aferidos nos momentos 75, 90, 105 e 120 dias após a semeadura (DAS) para diagnosticar a situação do tomateiro frente as condições adotadas no experimento.

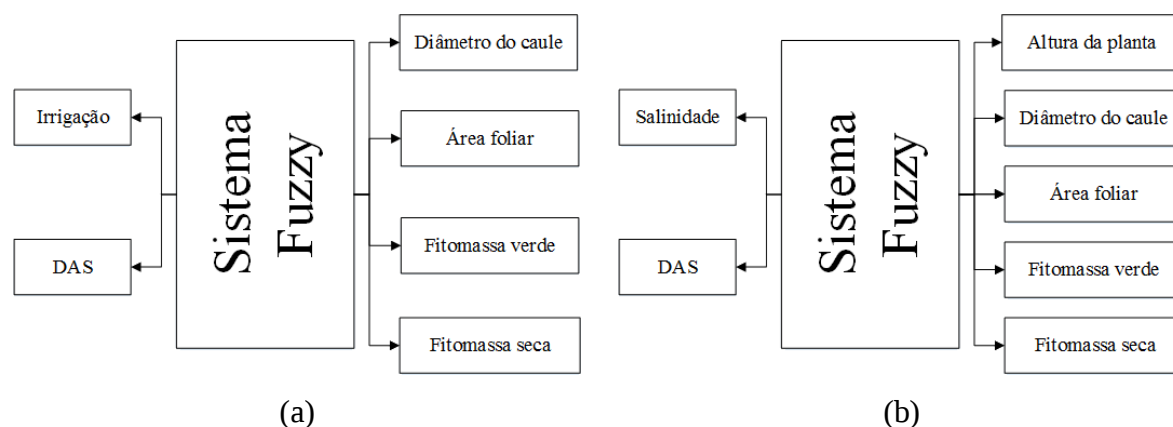
Assim, para verificar os efeitos ao longo do ciclo da irrigação e salinidade, foram utilizadas as funcionalidades desenvolvidas no sistema computacional, do Capítulo I.

Na funcionalidade 1 (Irrigação x DAS), objetivou-se verificar os efeitos da irrigação, quando o produtor obtiver água com salinidade 0,08 dS m⁻¹, sendo que foram observados os efeitos na avaliação biométrica do tomateiro, considerou-se as seguintes variáveis de saída: diâmetro do caule (Diam), área foliar (AF), fitomassa verde (FV), fitomassa seca (FS).

Na funcionalidade 2 (Salinidade x DAS), buscou analisar os efeitos da salinidade da água, quando o produtor manter a irrigação em -10 kPa, em que considerou-se as seguintes variáveis de saída: altura da planta (Alt), diâmetro do caule (Diam), área foliar (AF), fitomassa verde (FV), fitomassa seca (FS).

No sistema baseado em regras *fuzzy* desenvolvido por Vias Neto (2016), utilizou-se a combinação das variáveis de entradas das funcionalidades 1 e 2, apresentando como saída as variáveis biométricas da cultura do tomate (Figura 13).

Figura 13 – Sistema baseado em regras *fuzzy* para avaliação do desenvolvimento de tomateiros das funcionalidades 1 e 2



Fonte: Elaborada pelo autor.

Assim de forma análoga ao Capítulo I, para o desenvolvimento da metodologia de construção do sistema baseado em regras fuzzy foi adotado a metodologia proposta por Vias Neto (2016), Gabriel Filho (2015), Putti (2015) e Cremasco (2008).

2.2.1 Metodologias de determinação das variáveis de entrada

Para a composição do banco de dados, foram calculados os percentis para estabelecer os delimitadores e a classificação das entradas. Adotou-se a metodologia descrita no Capítulo I, com exceção da variável DAS que possuem 4 conjuntos *fuzzy* (Muito Baixo, Baixo, Média e Alto).

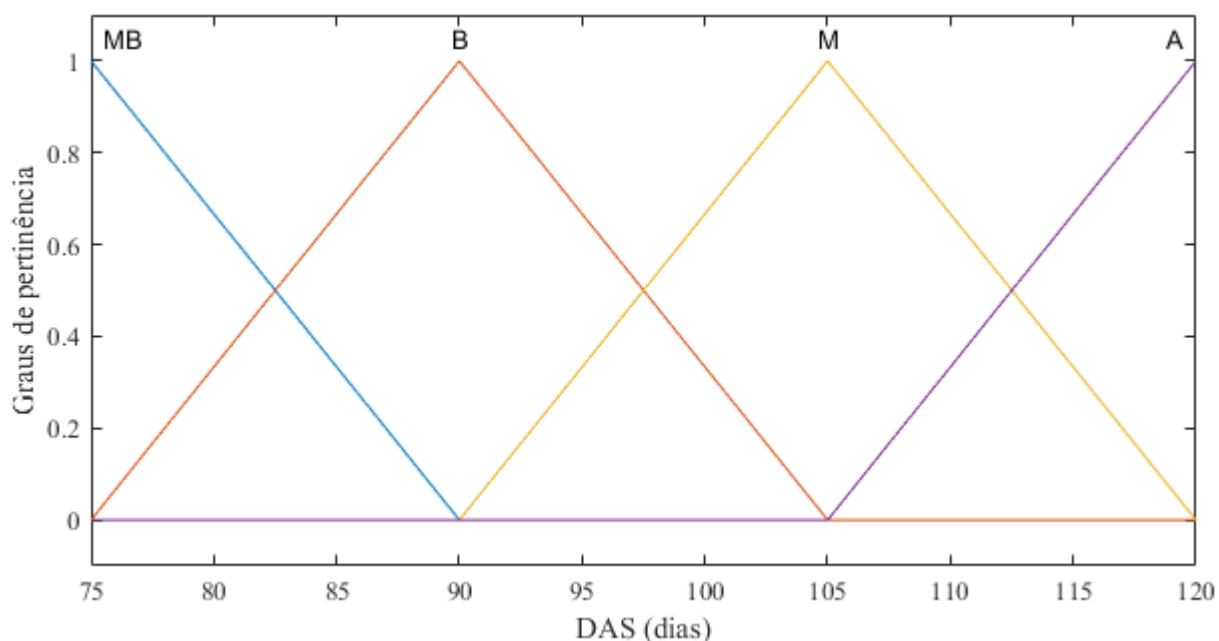
A Tabela 4 e a Figura 14 apresentam as funções de pertinência da variável de entrada DAS, enquanto as demais variáveis (Irrigação e Salinidade), foram determinadas de forma análoga a do Capítulo I.

Tabela 4 - Definição das funções de pertinência das variáveis de entrada

Variável	Conjunto Fuzzy	Tipo	Delimitadores
DAS	"Muito Baixa" (MB)	Triangular	[74; 75; 90]
	"Baixa" (B)	Triangular	[75; 90; 105]
	"Média" (M)	Triangular	[90; 105; 120]
	"Alta" (A)	Triangular	[105; 120; 121]

Fonte: Viais Neto (2016).

Figura 14 – Funções de pertinência definidas para os conjuntos fuzzy da variável DAS



Fonte: Viais Neto (2016).

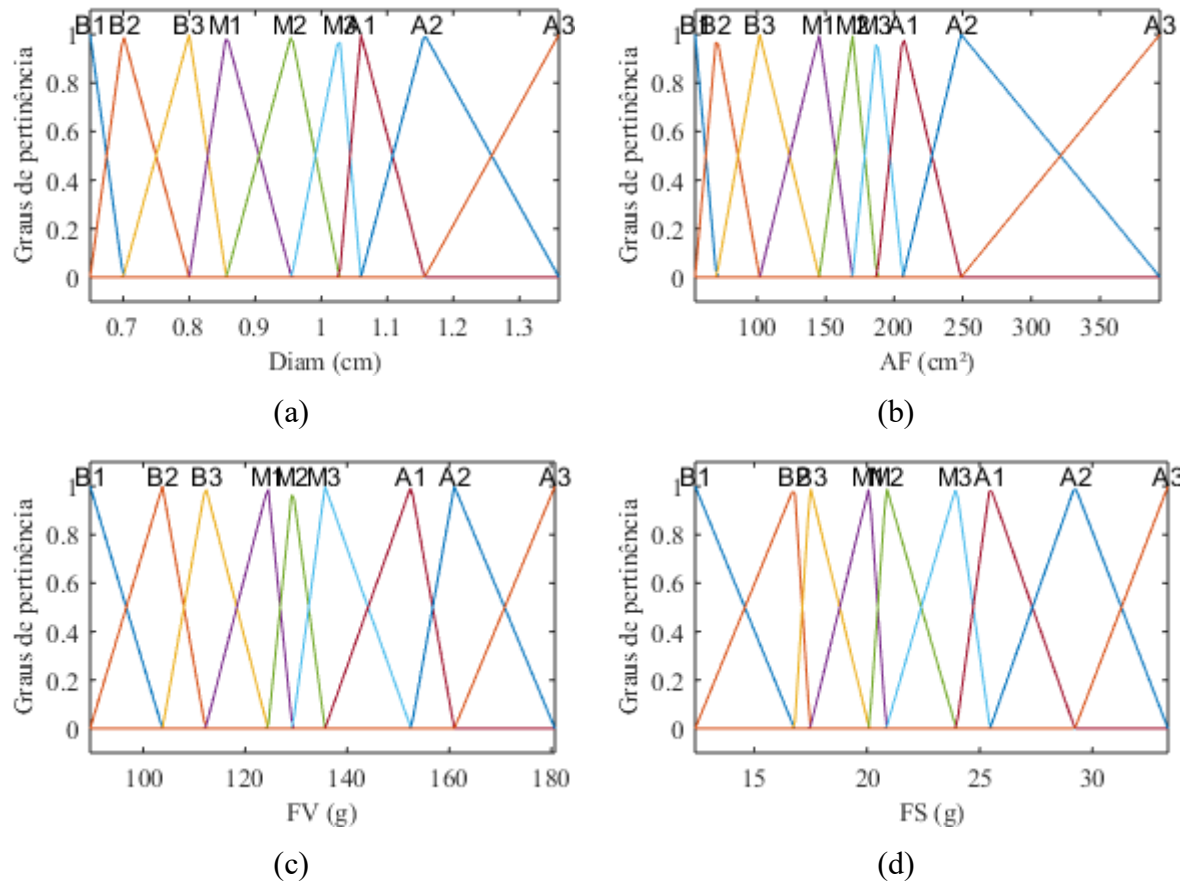
2.2.2 Metodologias de determinação das variáveis de saída

De mesmo modo como no Capítulo I, é possível classificar as saídas em 9 níveis de comparações (Baixo 1, Baixo 2, Baixo 3, Médio 1, Médio 2, Médio 3, Alto 1, Alto 2 ou Alto 3). Posteriormente, o modelo fornece valores referentes a cada variável de saída, conforme cada funcionalidade do *software*, fornecendo também uma classificação em um dos 9 níveis qualitativos, conforme disposto na Tabela 2 do Capítulo I.

As informações referentes dos valores mínimos, percentis e máximo, bem como os limites inferior e superior formaram os delimitadores dos conjuntos, na qual cada variável de saída, terá formato análogo ao adotado no Capítulo I.

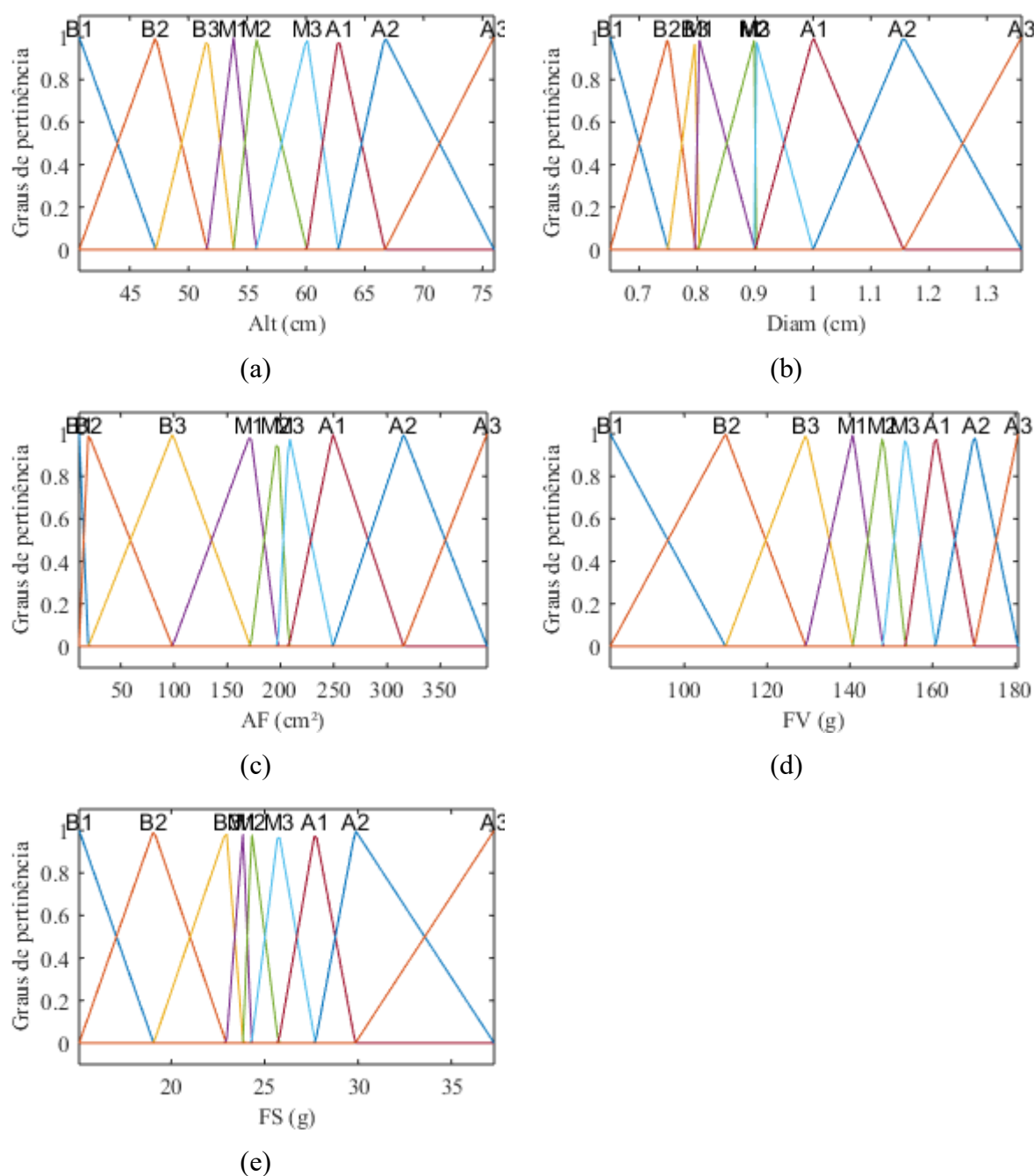
Nas Figura 15 e 16 estão representados graficamente todas as funções de pertinência das variáveis de saída que foram utilizadas para a elaboração das funcionalidades 1 e 2 do software, respectivamente.

Figura 15 – Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* das variáveis de saídas (a) diâmetro do caule (Diam) [cm], (b) área foliar (AF) [cm²], (c) fitomassa verde (FV) [g], (d) fitomassa seca (FS) [g], da funcionalidade 1



Fonte: Viais Neto (2016).

Figura 16 – Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* das variáveis de saídas (a) altura da planta (Alt) [cm], (b) diâmetro do caule (Diam) [cm], (c) área foliar (AF) [cm²], (d) fitomassa verde (FV) [g], (e) fitomassa seca (FS) [g], da funcionalidade 2



Fonte: Viais Neto (2016).

Para a obtenção da base de regras, considerou-se os 3 valores definidos no experimento entre os conjuntos *fuzzy* das duas variáveis de entrada Irrigação e Salinidade e 4 valores definidos para a variável de entrada DAS, formando assim 9 (3×3) ou 12 combinações (3×4), conforme o caso. A classificação de cada combinação foi realizada considerando para

irrigação os valores [-60; -30; -10 kPa], para salinidade [0,08; 3; 5 dS m⁻¹] e para DAS [75; 90; 105; 120 DAS] e as variáveis linguísticas foram adotadas de forma análoga ao Capítulo I. A

Tabela 5 apresenta a base de regras de todas as variáveis consideradas e as combinações dos conjuntos *fuzzy* descritas na funcionalidade 1.

Tabela 5 – Base de regras das variáveis associados aos conjuntos *fuzzy* da funcionalidade 1

Irrigação (kPa)	DAS (dias)	Diam	AF	FV	FS
B	MB	B3	M1	B2	B2
B	B	B2	A2	B2	B2
B	M	M2	M3	M2	M1
B	A	M3	B2	M2	M3
M	MB	M1	M2	M1	M1
M	B	B2	A1	B2	B3
M	M	A1	M1	M3	M1
M	A	A1	B2	M3	A1
A	MB	M3	M3	A1	A1
A	B	B3	A3	A2	A2
A	M	A3	A1	A2	A2
A	A	A2	B2	A2	A2

Fonte: Viais Neto (2016).

A Tabela 6, apresenta a base de regras de todas as variáveis assim consideradas e as combinações dos conjuntos *fuzzy* descritas na funcionalidade 2.

Tabela 6 – Base de regras das variáveis associados aos conjuntos *fuzzy* da funcionalidade 2

Salinidade (dS m⁻¹)	DAS (dias)	Alt	Diam	AF	FV	FS
B	MB	B3	A1	M1	M3	M2
M	MB	B3	M3	M3	M2	M1
A	MB	M2	M3	A1	A1	M1
B	B	M1	M1	A3	A1	A2
M	B	M2	M3	A2	B3	B3
A	B	M1	B2	A2	M1	M1
B	M	M1	A3	M2	A2	A1
M	M	A2	A1	M1	M3	A1
A	M	M1	M1	B3	B2	B2
B	A	A2	A2	B3	A1	A2
M	A	A3	B2	B2	M1	A2
A	A	A1	B1	B1	B1	B1

Fonte: Viais Neto (2016).

Similarmente ao método utilizado no modelo do Capítulo I, o método de inferência utilizado para o cálculo do valor numérico das variáveis de saída de acordo com a base de regras foi o de *Mamdani*. A implementação do modelo ocorreu com o auxílio da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do *software Matlab® 7.17, Copyright 1984-2012 The MathWorks Inc.*, em que, foram criados dois Sistemas baseado em regras *fuzzy* e os estudos numéricos e experimentais deste projeto foram desenvolvidos no Laboratório de Matemática Aplicada e Computacional (LabMAC) instalado na Unesp, Campus de Tupã-SP.

Analogamente como o método utilizado no Capítulo I, para a determinação de cada conjunto *fuzzy*, foi necessário à determinação dos intervalos dos pontos de cada variável de saída, para que com isso, pudessem ser estabelecidos delimitadores de cada conjunto *fuzzy* B1, B2, B3, M1, M2, M3, A1, A2 e A3, como descrito para a funcionalidade 1 (Tabela 7).

Tabela 7 - Definição das funções de pertinência das variáveis de saída da funcionalidade 1

	Diam	AF	FV	FS
Mínimo	0,80	58,62	135,77	24,14
Percentil 12,5	0,84	79,28	149,04	24,29
Percentil 25	0,90	149,41	151,66	24,75
Percentil 37,5	1,01	184,84	157,97	27,04
Percentil 50	1,13	197,53	160,18	28,03
Percentil 62,5	1,16	204,90	161,12	29,52
Percentil 75	1,24	235,88	170,47	30,22
Percentil 87,5	1,31	345,75	172,19	32,45
Máximo	1,36	393,86	180,75	33,35

Fonte: Viais Neto (2016).

Para a funcionalidade 2, as definições das funções de pertinências das variáveis de saída, estão presentes na Tabela 8.

Tabela 8 - Definição das funções de pertinência das variáveis de saída da funcionalidade 2

	Alt	Diam	AF	FV	FS
Mínimo	40,70	0,65	11,10	82,06	15,07
Percentil 12,5	47,21	0,75	19,70	109,97	19,06
Percentil 25	51,60	0,80	98,64	129,43	22,96
Percentil 37,5	53,84	0,80	171,96	140,78	23,85
Percentil 50	55,75	0,90	197,53	148,02	24,30
Percentil 62,5	60,08	0,90	207,84	153,51	25,74
Percentil 75	62,75	1,00	249,08	160,77	27,72
Percentil 87,5	66,70	1,16	315,53	170,13	29,86
Máximo	76,00	1,36	393,86	180,75	37,29

Fonte: Viais Neto (2016).

2.2.3 Metodologia para o desenvolvimento das funcionalidades da plataforma computacional

A metodologia para a determinação do desenvolvimento das funcionalidades do sistema computacional, seguiu o mesmo procedimento e ferramentas descritas no Capítulo I, com exceção da confecção do banco de dados, em que na funcionalidade 1, as variáveis de entrada (1) Irrigação e (2) DAS, ambas com variação de 1, gerou-se uma tabela no banco de dados de 2346 combinações. Na funcionalidade 2 as variáveis de entrada (1) Salinidade e (2) DAS, com variações de 0,01 e 1 respectivamente, resultou em 22.678 combinações. Assim, com as funcionalidades, e quaisquer combinações informadas pelo usuário pode ser determinada valores para as variáveis de saída, bem como suas classificações.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Assim como descrito na seção Resultados e Discussões do Capítulo I, o *software* possui uma interface simplificada, sendo bastante similar aos recursos de outras aplicações da plataforma *Windows*, facilitando a compreensão e consequentemente a realização das tarefas. O cadastro do tomateiro pode ser um a um ou por meio do recurso de importação de registros, sendo possível a leitura de uma grande variedade de arquivos, com destaque para as planilhas no formato do Microsoft Excel®. Para que a importação de registros ocorra com sucesso, necessariamente as colunas deverão estar na seguinte ordem: (1) Irrigação e (2) DAS ou (1) Salinidade e (2) DAS, de acordo com as variáveis de entrada das respectivas funcionalidades.

Os valores mínimo e máximo da irrigação, salinidade e DAS, que foram coletadas do experimento realizado, e utilizado para o estudo foram, respectivamente, [-60; -10

kPa], [0,08; 5 dS m⁻¹] e [75; 120 DAS]. Com esses valores foi possível estabelecer um banco de dados, com todas as combinações possíveis de irrigação e DAS ou salinidade e DAS, conforme as variáveis de entrada da respectiva funcionalidade, de forma análoga ao apresentado no Capítulo I.

A classificação para as variáveis de saída de cada funcionalidade, realizou-se de forma similar ao proposto no Capítulo I (Tabela 2), assim como a exibição de valores biométricos e classificação qualitativa de cada planta.

Na Figura 4 do Capítulo I, está disposta a lógica funcional do *software*, representada em um fluxograma que define as principais funções disponíveis aos usuários.

Os recursos disponíveis no sistema para as funcionalidades 1 e 2, são exatamente iguais as descritas no Capítulo I, sendo assim, todo o conteúdo descrito para as Figuras 5 a 10 seguem o mesmo padrão funcional e visual.

A funcionalidade 1 (Figura 17a) representa a combinação entre as variáveis de entrada níveis de irrigação (kPa) e DAS. Já na Figura 17b, representa a salinidade (dS m⁻¹) e DAS.

Figura 17 - Inserção manual de dados, referentes as funcionalidades 1 e 2

(a)

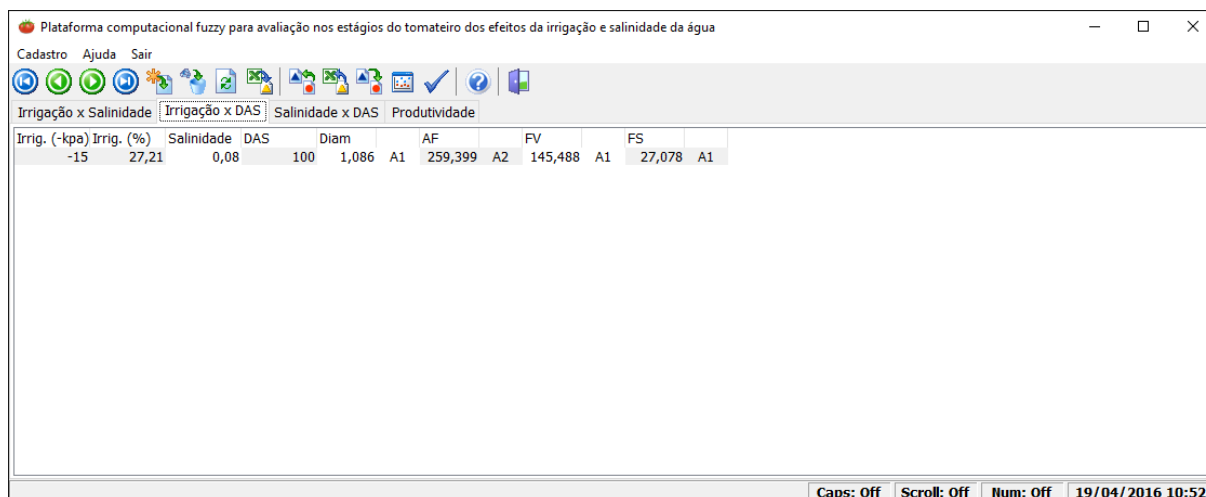
(b)

Fonte: Elaborada pelo autor.

As funcionalidades da Figura 17 são simulações de inserção manual de informações, assim deve-se ressaltar que apresentam os mesmos recursos observados na plataforma computacional do Capítulo I. A título de exemplificação foram simulados os valores de -15 kPa e 100 DAS para a funcionalidade 1, e para a 2 foram inseridos os valores de salinidade 1,22 dS m⁻¹ e 115 DAS.

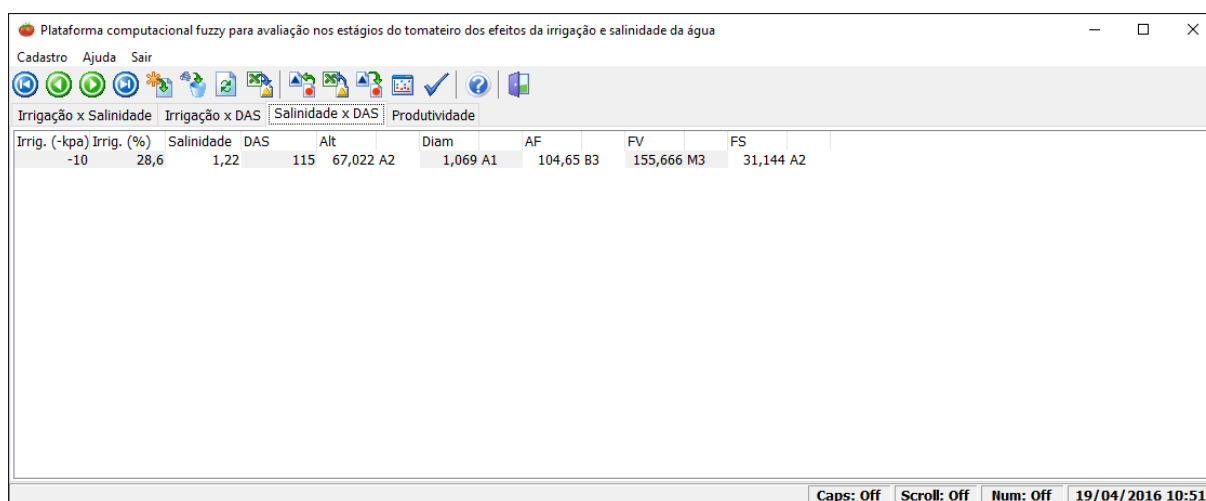
Os resultados da simulação acima podem ser observados nas Figuras 18 e 19, em que os valores biométricos do tomateiro são demonstrados e classificados.

Figura 18 - Simulação de valores com informações referentes as funcionalidades 1



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 19 - Simulação de valores com informações referentes as funcionalidades 2



Fonte: Elaborada pelo autor.

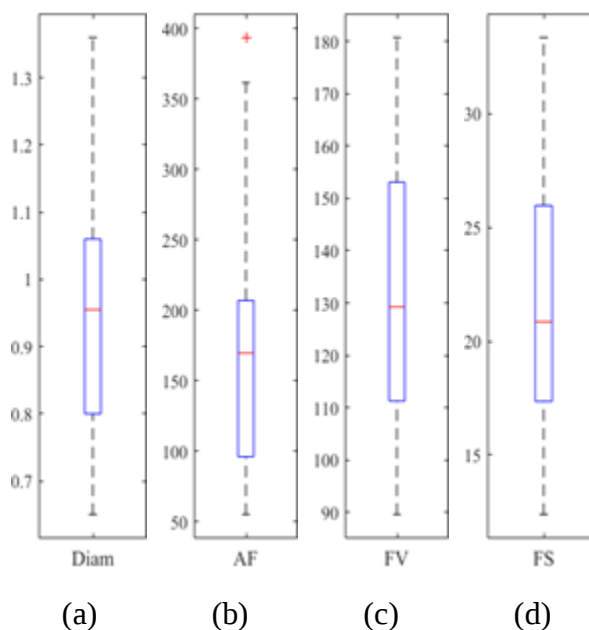
Observa-se que na funcionalidade apresentada na Figura 18, a salinidade de 0,08 dS m⁻¹, trata-se do valor encontrado na água utilizada no experimento, deste modo, simulando a variação da irrigação ao longo ciclo. No exemplo pode mensurar como o tomateiro se encontraria em seu desenvolvimento, neste caso podendo auxiliar o produtor na tomada de decisão de fornecer ou restringir a quantidade de água, visando o melhor desenvolvimento. Também verifica-se que o sistema possui a conversão automática entre os valores de irrigação de kPa para a % de umidade do solo.

Já na Figura 19, nota-se que o valor da irrigação é o recomendado para a cultura, em que ocorre a disponibilidade ideal para o pleno desenvolvimento, sendo combinado os valores de entrada da salinidade da água e DAS.

Deve-se ressaltar que ambas as funcionalidades apresentam os valores de saída das características biométricas da cultura, sendo apresentados os valores quantitativos e a classificação qualitativa.

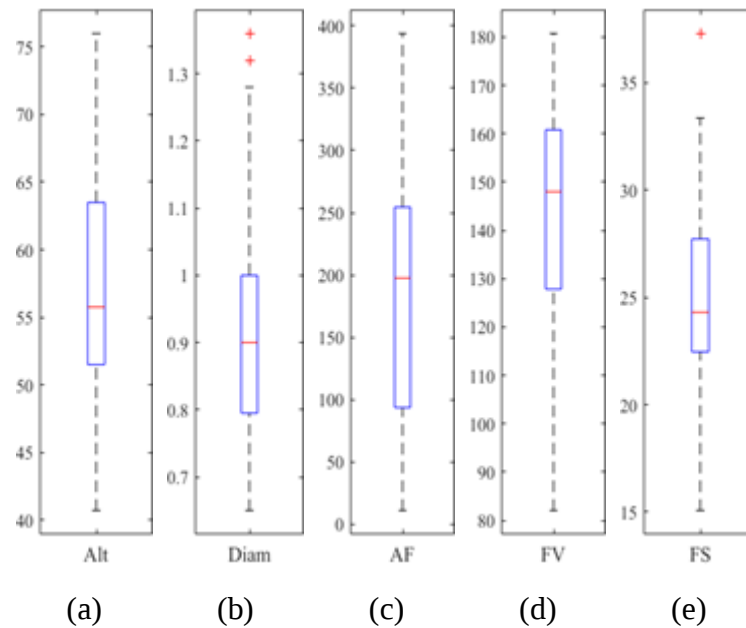
As Figuras 20 e 21 representam os valores inseridos nas funcionalidades 1 e 2 respectivamente e possuem 1 gráfico *boxplot* correspondente para cada variável de saída do modelo. Os *boxplots* representam a totalidade dos dados, em que a caixa representa metade dos dados, sendo ainda possível ver o valor mediano, representado por uma linha vermelha e os asteriscos sendo os valores *outliers*.

Figura 20 – Boxplot para dados amostrais dos dados de (a) diâmetro do caule (Diam) [cm], (b) área foliar (AF) [cm²], (c) fitomassa verde (FV) [g], (d) fitomassa seca (FS) [g], da funcionalidade 1



Fonte: Elaborada pelo autor.

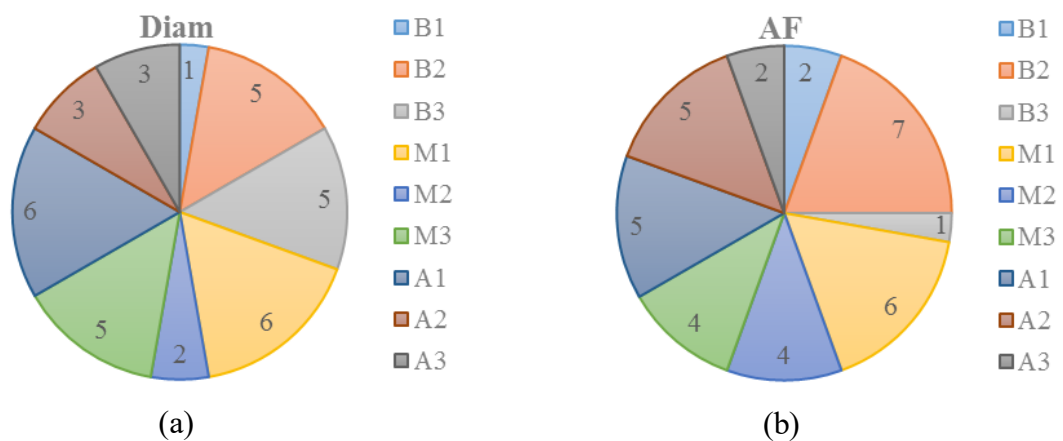
Figura 21 – Boxplot para dados amostrais dos dados de (a) altura da planta (Alt) [cm], (b) diâmetro do caule (Diam) [cm], (c) área foliar (AF) [cm²], (d) fitomassa verde (FV) [g], (e) fitomassa seca (FS) [g], da funcionalidade 2

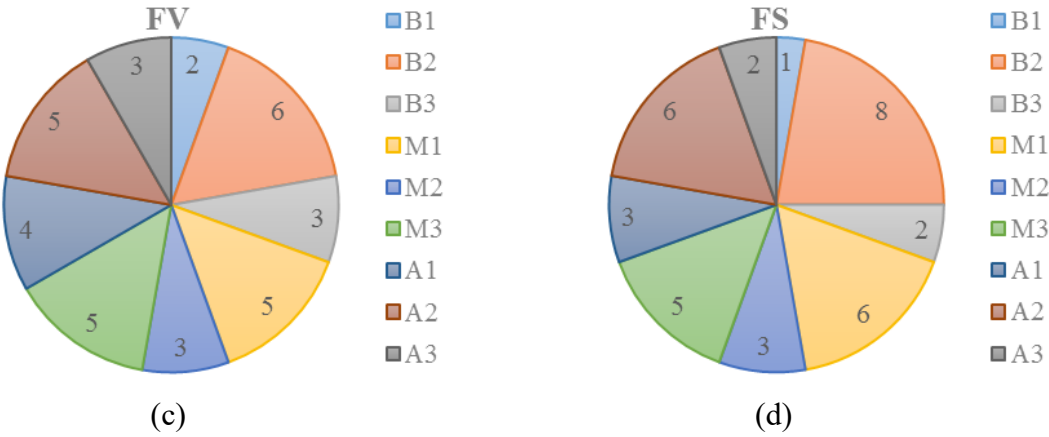


Fonte: Elaborada pelo autor.

As Figuras 22 e 23 representam a classificação qualitativa para as funcionalidades 1 e 2 respectivamente e cada gráfico representa a classificação de cada variável de saída. O tomateiro deve estar em uma região adequada de nível de irrigação ou dose de salinidade ao longo do ciclo para obter produção adequada, assim combinado as variáveis de entrada testadas experimentalmente pode-se obter a distribuição da quantidade da classificação qualitativa.

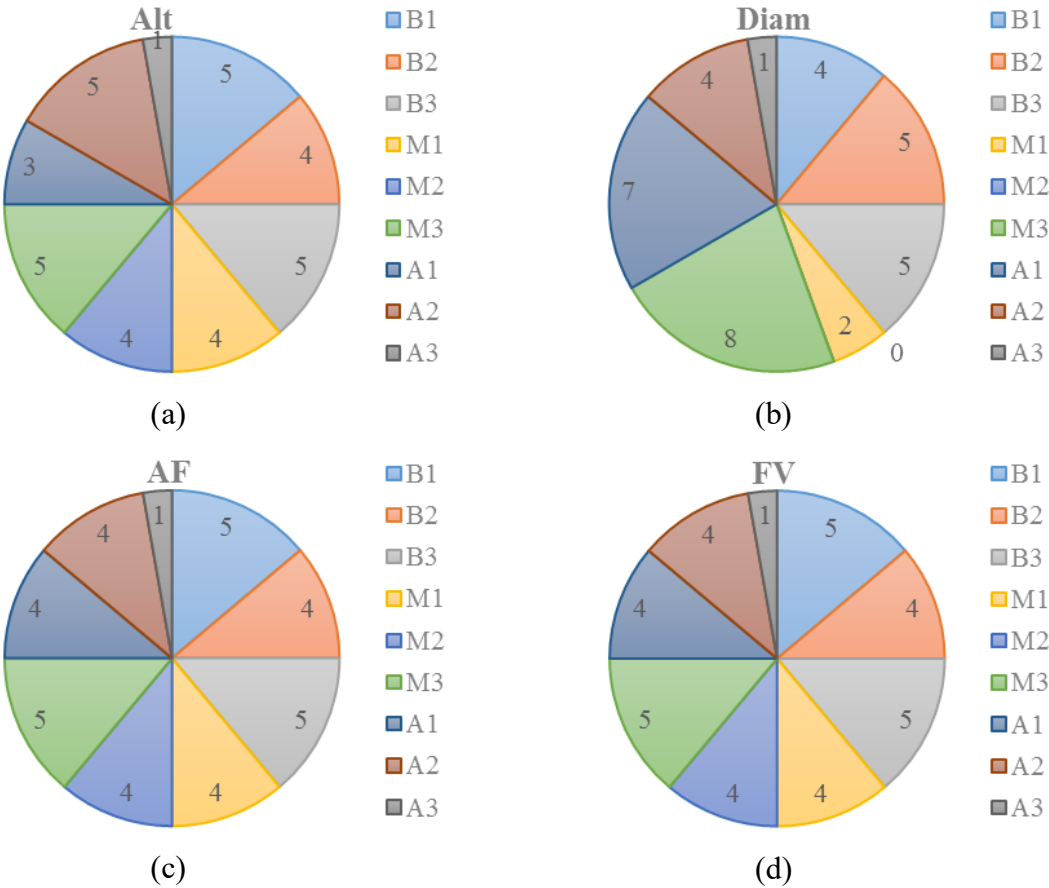
Figura 22 – Distribuição da quantidade de tomateiros de (a) diâmetro do caule (Diam) [cm], (b) área foliar (AF) [cm²], (c) fitomassa verde (FV) [g], (d) fitomassa seca (FS) [g], da funcionalidade 1

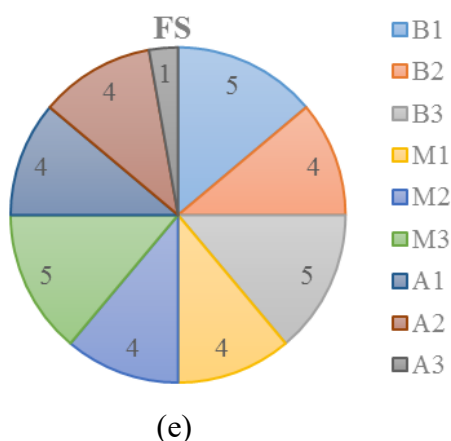




Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 23 – Distribuição da quantidade de tomateiros de (a) altura da planta (Alt) [cm], (b) diâmetro do caule (Diam) [cm], (c) área foliar (AF) [cm²], (d) fitomassa verde (FV) [g], (e) fitomassa seca (FS) [g], da fucionalidade 2





Fonte: Elaborada pelo autor.

2.4 CONCLUSÕES

No presente trabalho pode-se concluir que as funcionalidades desenvolvidas apresentaram além dos resultados testados experimentalmente, outros valores intermediários a eles. Tal fato deve a modelagem *fuzzy* ser capaz de realizar simulação entre os valores experimentados, deste modo torna-se uma poderosa ferramenta de tomada de decisão para o produtor, assim otimizando o recurso hídrico e reduzindo gastos.

Também ressalta-se que o sistema computacional possibilita diversas simulações envolvendo a qualidade da água, que no presente trabalho envolveu as questões da irrigação e da salinidade, em que o produtor utilizando as funcionalidades 1 e 2 pode verificar os efeitos na cultura do tomate ao longo do ciclo.

2.5 REFERÊNCIAS

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2 ed. Campina Grande: UFPB, 1991, 153 p.

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

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. Tese (Doutorado em Agronomia) - FCA/UNESP. Botucatu, 2008.

DUARTE, S. N. et al. **Recuperação de um solo salinizado devido a excesso de fertilizantes em ambiente protegido**. Irriga, Botucatu, 2007, v.12, n.3, p.422-428.

FILGUEIRA; F. A. R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3ª ed. UFV. Viçosa, 2008. 421 p.

FREITAS, R. M. O. et al. **Efeito da irrigação com água salina na emergência e crescimento inicial de plântulas de jucatã**. Revista Caatinga, Mossoró, 2010, v. 23, n. 3, p. 54-58.

GABRIEL FILHO, L. R. A.; PUTTI, F. F.; CREMASCO, C. P.; BORDIN, D. **Software para avaliação bovina a partir de sistemas baseados em regras fuzzy em rebanhos nelores sul-mato-grossenses**. In: XXXIV Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional (CNMAC 2012), 2012, Águas de Lindóia-SP. Anais do CNMAC. São Carlos: SBMAC - Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, 2012. v. 4. p. 962-968.

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

MARQUELLI, W. A.; MEDEIROS, M. A.; SOUZA, R. F.; RESENDE, F. V. **Produção de tomateiro orgânico irrigado por aspersão e gotejamento, em cultivo solteiro e consorciado com coentro**. Horticultura Brasileira 29. 2011 (a), p. 429-434.

MARQUELLI, W. A.; MEDEIROS, M. A. de; SOUZA, R. F. de; RESENDE, F. V.; GRAVINA, C. S. **Produção orgânica de tomate de mesa sob irrigação por aspersão e gotejamento, em cultivo solteiro e em consórcio com coentro**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 40, 2011, Cuiabá. Anais. Jaboticabal: SBEA, 2011 (b). CD-Rom.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Tomateiro para processamento industrial: irrigação e fertirrigação por gotejamento**. Circular Técnica, 30. Embrapa Hortaliças. Brasília, 2002. 32p.

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 Agrônomicas - UNESP. Botucatu, 2015.

SHIRAHIGE, F. H. **Produtividade e qualidade de híbridos de tomate (Solanum lycopersicum L.) dos segmentos Santa Cruz e Italiano em função do raleio de frutos, em ambiente protegido**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009.

SILVA JUNIOR, J. F. **Desenvolvimento do tomate em diferentes níveis de irrigação e de doses de salinidade.** 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP/FCA. Botucatu, 2012.

VIAIS NETO, D. S. **Modelagem *fuzzy* para avaliação do desenvolvimento do tomate em diferentes níveis de irrigação e doses de salinidade da água.** 2016. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP. Botucatu, 2016.

CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido estabelece uma ferramenta computacional capaz de interpretar variáveis biométricas do tomate híbrido (*Lycopersicum esculentum*) em qualquer região do país. Tal método, capaz de imitar parte do raciocínio humano, foi baseado na lógica *fuzzy*.

A modelagem visa avaliar o desenvolvimento dos tomateiros, comparando cada planta com os pares do experimento, sendo possível estabelecer identificações qualitativas e quantitativas para cada tomateiro auxiliando na tomada de decisão do produtor

Uma vantagem significativa frente aos sistemas baseados em regras *fuzzy* existentes é que a base de regras do sistema implementado não foi elaborada através de entrevistas com especialistas da área.

O *software* para avaliação do desenvolvimento do tomateiro baseado em sistemas de regras *fuzzy* desenvolvido nesse trabalho é um programa de fácil uso, com o objetivo de ajudar produtores de qualquer região a estabelecer níveis ótimos de irrigação e doses de salinidade visando uma maior produtividade, ou simplesmente indicando a viabilidade da cultura frente a seus custos de determinado período, região, entre outros.

Pode-se dizer que o *software* é um método de avaliação do desenvolvimento da cultura por meios quantitativos e qualitativos que fornecem subsídios para a tomada decisão do produtor. Caberá depois deste estudo, os produtores verificarem a rentabilidade do fato, o que dependerá como dito anteriormente dos custos relacionados ao plantio.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. A. R. **Sistemas de produção em campo aberto e em ambiente protegido**. Capítulo 7. In: ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. UFLA. Lavras, 2004.
- ALVARENGA, M. A. R.; LIMA, L. A.; FAQUIN, V. **Fertirrigação**. Capítulo 6. In: ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. UFLA. Lavras, 2004.
- HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. C. **Qualidade da água para irrigação**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. Fortaleza, 2010. p. 43-61.
- IBGE. **Banco de Dados Agregados. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 set 2014.
- KROSS, R. K.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; BRAGA, E. M. **Influência da epiderme do tomate (*Lycopersicon Esculentum* L.) na transferência de massa durante o tratamento osmótico**. Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos (SLACA), UNICAMP. Campinas, 2001.
- MATOS, E. S.; SHIRAHIGE, F. H.; MELO, P. C. T. **Desempenho de híbridos de tomate de crescimento indeterminado em função de Sistemas de condução de plantas**. *Horticultura Brasileira*, v. 30, n. 2, p. 240-245, abr./jun. 2012.
- MEDEIROS, P. R. F. **Manejo da fertirrigação em ambiente protegido visando o controle da salinidade para a cultura do tomate em solo franco-argiloso**. 2010. 85 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP. Piracicaba, 2010.
- ROSA, C. L. S.; SOARES, A. G.; FREITAS, D. F. G. C.; ROCHA, M. C.; FERREIRA, J. C. S.; GODOY, R. L. O. **Caracterização físico-química, nutricional e instrumental de quatro acessos de tomate italiano (*Lycopersicum esculentum* Mill) do tipo ‘Heirlooms’ produzido sob manejo orgânico para elaboração de polpa concentrada**. *Alim. Nutr.*, Araraquara, v. 22, n. 4, p. 649-656, out./dez. 2011.

VIAIS NETO, D. S. **Modelagem *fuzzy* para avaliação do desenvolvimento do tomate em diferentes níveis de irrigação e doses de salinidade da água**. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP. Botucatu, 2016.