

DEYVER BORDIN

**SISTEMAS COMPUTACIONAIS BASEADOS EM REGRAS *FUZZY* PARA
PREVISÃO DE COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE CULTURAS IRRIGADAS**

Botucatu

2020

DEYVER BORDIN

**SISTEMAS COMPUTACIONAIS BASEADOS EM REGRAS *FUZZY* PARA
PREVISÃO DE COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE CULTURAS IRRIGADAS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientadora: Camila Pires Cremasco Gabriel

**Botucatu
2020**

B729s Bordin, Deyver
Sistemas computacionais baseados em regras fuzzy para previsão de componentes de produção de culturas irrigadas / Deyver Bordin. -- Botucatu, 2020
123 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientadora: Camila Pires Cremasco Gabriel

1. Agronomia. 2. Irrigação. 3. Software. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: SISTEMAS COMPUTACIONAIS BASEADOS EM REGRAS FUZZY PARA PREVISÃO DE COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE CULTURAS IRRIGADAS

AUTOR: DEYVER BORDIN

ORIENTADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

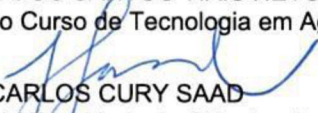
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:


Prof.^a Dr.^a CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

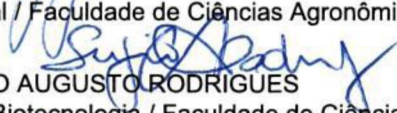
Coordenadoria do Curso de Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã


Prof. Dr. DANIEL DOS SANTOS VIAIS NETO

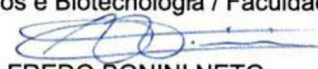
Coordenadoria do Curso de Tecnologia em Agronegócio / Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente


Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD

Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO RODRIGUES

Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. ALFREDO BONINI NETO

Coordenadoria do Curso de Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã

Botucatu, 17 de fevereiro de 2020.

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, familiares e amigos que muito me apoiaram nos momentos de dificuldades.

A Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel e seu esposo Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho (Beto) que me adotaram como filho e me conduziram desde a graduação até este momento.

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.

A Profa. Camila pela dedicação, determinação, paciência, orientação e, principalmente, por sua compreensão, o que possibilitou a realização deste trabalho.

A todos os docentes e demais servidores do Campus da Unesp de Botucatu/SP, que de alguma forma contribuíram para que eu conseguisse vencer mais esta etapa.

O meu muito obrigado!

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).

RESUMO

Para uma satisfatória produtividade, a cultura do rabanete (*Raphanus sativus* L.) exige principalmente boa qualidade do solo e grande disponibilidade de água. A irrigação é uma técnica artificial utilizada para disponibilizar água as plantas. Seu uso deve ser criterioso e para que se obtenha menores custos de produção, deve-se evitar o uso desnecessário de água, e conseqüentemente, energia elétrica. Formas de utilização da água são cada vez mais estudadas, entre elas, a água de irrigação tratada magneticamente, que tem mostrado aprimoramentos produtivos em diversas culturas. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um conjunto de sistemas computacionais baseados em regras *fuzzy* para previsão de componentes de produção de culturas irrigadas. Para tanto, foram utilizados dados de um experimento conduzido com água de irrigação convencional ou tratada magneticamente, sendo avaliadas variáveis biométricas, tais como: peso verde do bulbo, número de folhas, comprimento da raiz, diâmetro do bulbo, comprimento do bulbo, peso verde da raiz, peso verde da folha, peso seco da raiz, peso seco da folha e peso seco do bulbo. Como resultado, foi apresentado um conjunto de *softwares* com uma interface de simples uso e fácil compreensão, que poderá auxiliar os produtores na estimativa dos resultados das variáveis biométricas do rabaneteiro e de outras culturas irrigadas.

Palavras-chave: *Software*. modelagem matemática. hortaliça.

ABSTRACT

For satisfactory productivity, the cultivation of radish (*Raphanus sativus* L.) mainly requires good soil quality and great availability of water. Irrigation is an artificial technique used to make water available to plants. Its use must be judicious and to obtain lower production costs, unnecessary use of water and, consequently, electric energy should be avoided. Ways of using water are increasingly studied, among them, magnetically treated irrigation water, which has shown productive improvements in several cultures. The objective of this work was the development of a set of computational systems based on *fuzzy* rules for forecasting production components of irrigated crops. For that, data from an experiment conducted with conventional irrigation water or magnetically treated water were used, and biometric variables were evaluated, such as green bulb weight, number of leaves, root length, bulb diameter, bulb length, green weight root weight, green leaf weight, dry root weight, dry leaf weight, and dry bulb weight. As a result, a set of *software* was presented with a simple to use and easy to understand interface, which can assist producers in estimating the results of the biometric variables of the radish feet and other irrigated crops.

Keywords: *Software*. mathematical modeling. greenery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema <i>fuzzy</i> para avaliação das variáveis biométricas do rabanete.....	33
Figura 2 – Funções de pertinência definidas para os conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de entrada DAT e lâminas de irrigação.	35
Figura 3 – Funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de saídas – água convencional – Ciclo 1: (a) peso verde do bulbo (PVB) [g], (b) número de folhas (NF) [unid.], (c) comprimento da raiz (CR) [mm], (d) diâmetro do bulbo (DB) [mm], (e) comprimento do bulbo (CB) [mm], (f) peso verde da raiz (PVR) [g], (g) peso verde da folha (PVF) [g], (h) peso seco da raiz (PSR) [g], (i) peso seco da folha (PSF) [g], (j) peso seco do bulbo (PSB) [g].....	36
Figura 4 – Fluxograma de funcionalidade do <i>software</i>	42
Figura 5 – Interface do <i>software</i> de classificação do rabanete.....	43
Figura 6 – Interface inicial da seção 1 do <i>software</i> de avaliação do rabanete.	44
Figura 7 – Interface inicial da seção 2 do <i>software</i> de avaliação do rabaneteiro.	44
Figura 8 – Interface do <i>software</i> (seção 1) no momento de inserir os dados para análise, sendo o ciclo, tipo de água, DAT.	45
Figura 9 – Resultado da análise no <i>software</i> , no qual foi inserido ciclo 1, água tratada magneticamente, DAT de 30 dias.	46
Figura 10 – Gráfico de representação dos valores estimados das variáveis de saída.	46
Figura 11 – Simulações com variação do DAT, considerando lâmina de irrigação igual a 100%.	48
Figura 12 – Simulações com variação na lâmina de irrigação, considerando DAT igual a 35 dias.....	51
Figura 13 – Tela inicial do <i>software</i> de simulação e análise de sistemas <i>fuzzy</i> gerados a partir de qualquer conjunto de dados aferidos experimentalmente.	54
Figura 14 – Tela da funcionalidade do <i>software</i> para a inserção do número de variáveis de entrada e saída e geração do modelo <i>fuzzy</i>	54
Figura 15 – Resultado da funcionalidade “Visualizar Modelo”, com duas variáveis de entrada, e dez variáveis de saída, com o método de inferência de Mamdani, e com 15 regras.	56

Figura 16 – Resultado da funcionalidade “Funções de Pertinência” – Primeira aba, exibindo simultaneamente todas funções de pertinência das variáveis.....	57
Figura 17 – Resultado da funcionalidade “Funções de Pertinência” – Segunda aba 2, exibindo as funções de pertinência da primeira variável de entrada (DAT), e quarta aba, exibindo as funções de pertinência da primeira variável de saída (Número de Folhas).....	58
Figura 18 – Resultado da funcionalidade “Curvas / Superfícies” – Primeira aba, representando o comportamento da variável de saída “Número de Folhas” em uma superfície tridimensional, e também na forma bidimensional (mapa de contorno), considerando-se todas respostas em função das variáveis de entrada lâminas de irrigação e DAT.....	59
Figura 19 – Pontos selecionados pelo usuário mostrando as coordenadas (x, y, z) na superfície e (x, y) no mapa bidimensional, relativos ao resultado da funcionalidade “Curvas e Superfícies” na primeira aba da variável de saída “Número de Folhas”...	60
Figura 20 – Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	61
Figura 21 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	62
Figura 22 – Mosaico de superfícies tridimensionais do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	65
Figura 23 – Mosaico de mapas de contorno do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	66
Figura 24 – Superfícies tridimensionais com respectivas mapas de contorno do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	67
Figura 25 – Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	74

Figura 26 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	75
Figura 27 – Mosaico de superfícies tridimensionais do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	78
Figura 28 – Mosaico de mapas de contorno do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	79
Figura 29 – Superfícies tridimensionais com os respectivos mapas de contorno do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	80
Figura 30 – Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	87
Figura 31 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	88
Figura 32 – Mosaico de curvas modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	91
Figura 33 – Curvas do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	92
Figura 34 – Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	95
Figura 35 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	96
Figura 36 – Mosaico de curvas modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	99
Figura 37 – Curvas do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	100
Figura 38 – Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	103

Figura 39 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	104
Figura 40 – Mosaico de curvas modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	107
Figura 41 – Curvas do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	108
Figura 42 – Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	112
Figura 43 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	112
Figura 44 – Mosaico de curvas modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	115
Figura 45 – Curvas do modelo <i>fuzzy</i> das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do <i>software</i>	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros climáticos durante o experimento.....	29
Tabela 2 – Definição de funções de pertinência triangulares de variáveis de entrada.	34
Tabela 3 – Definição das funções de pertinência triangulares das variáveis de saída.	37
Tabela 4 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i>	70
Tabela 5 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.	73
Tabela 6 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo a base de regras do modelo <i>fuzzy</i>	73
Tabela 7 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i>	83
Tabela 8 – Planilhas geradas pelo relatório final do <i>software</i> com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.	86
Tabela 9 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo a base de regras do modelo <i>fuzzy</i>	86
Tabela 10 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.	93
Tabela 11 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída do modelo <i>fuzzy</i>	94
Tabela 12 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo a base de regras do modelo <i>fuzzy</i>	94
Tabela 13 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.	101
Tabela 14 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de Entrada e Saída do modelo <i>fuzzy</i>	102
Tabela 15 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo a Base de Regras do modelo <i>fuzzy</i>	102
Tabela 16 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.	109

Tabela 17 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de Entrada e Saída do modelo <i>fuzzy</i>	110
Tabela 18 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo a Base de Regras do modelo <i>fuzzy</i>	111
Tabela 19 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.	117
Tabela 20 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de Entrada e Saída do modelo <i>fuzzy</i>	118
Tabela 21 – Planilhas gerada pelo relatório final do <i>software</i> contendo a Base de Regras do modelo <i>fuzzy</i>	119

LISTA DE SÍMBOLOS

AC	Água convencional
ATM	Água tratada magneticamente
CR	Comprimento da raiz
CB	Comprimento do bulbo
DB	Diâmetro do bulbo
DAT	Dias após transplante
NF	Número de folhas
PSF	Peso seco da folha
PSR	Peso seco da raiz
PSB	Peso seco do bulbo
PVF	Peso verde da folha
PVR	Peso verde da raiz
PVB	Peso verde do bulbo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.1	Descrição do experimento objeto da modelagem matemática	29
2.2	Descrição do Laboratório de Matemática Aplicada e Computacional	31
2.3	Modelagens <i>fuzzy</i>	32
2.4	Determinação das variáveis de entrada	33
2.5	Determinação das variáveis de saída.....	35
2.6	Método de inferência e defuzzificação.....	39
2.7	Plataforma computacional para a cultura do rabanete	39
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1	<i>Software</i> elaborado para avaliação da cultura do rabanete.....	41
3.2	<i>Software</i> elaborado para quaisquer culturas	53
3.2.1	Resultados do <i>software</i> genérico para a cultura do rabanete com variações simultâneas nos dias após transplântio e nas lâminas de irrigação	55
3.2.1.1	Resultados para irrigação com AC	55
3.2.1.2	Resultados para irrigação com ATM.....	74
3.2.2	Resultados do <i>software</i> genérico para a cultura do rabanete sem estresse hídrico com variações nos dias após transplântio	87
3.2.2.1	Resultados para irrigação com AC	87
3.2.2.2	Resultados para irrigação com ATM.....	95
3.2.3	Resultados do <i>software</i> genérico para a cultura do rabanete no momento de colheita com variações nas lâminas de irrigação	103
3.2.3.1	Resultados para irrigação com AC	103
3.2.3.2	Resultados para irrigação com ATM.....	111
4	CONCLUSÕES	120
	REFERÊNCIAS.....	121

1 INTRODUÇÃO

O rabanete (*Raphanus sativus* L.) é uma planta herbácea que pertence à família das Brassicaceae. Originário do Mediterrâneo é conhecido em diversos países, no entanto, frente a outros alimentos tem uma modesta demanda. Pode ser consumido na forma crua ou cozida, suas raízes globulares caracterizam-se por possuírem a casca avermelhada e a polpa branca (PAIVA et al., 2013). É pouco calórico e em sua composição está presente significativa quantidade de vitaminas C e B6, ácido fólico, potássio e fibras alimentares (CAMARGO et al., 2007).

Para uma satisfatória produtividade na cultura do rabanete, é imprescindível principalmente uma boa qualidade de solo e grande disponibilidade de água. Além disso, seu ciclo varia entre 25 a 35 dias, variando em função principalmente da temperatura e da qualidade do solo (EMBRAPA, 2012). Quando produzido em temperaturas médias abaixo de 25°C produz-se raízes com melhor palatabilidade.

Recente estudo do Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2014), aponta a agricultura como o setor que mais consome água doce no Brasil. Ainda este estudo, a agropecuária utiliza cerca de 70% da água do país e quase metade é utilizada com projetos de irrigações mal elaborados, falta de controle pela quantidade de água necessária para determinada cultura ou até mesmo no processamento inadequado de produtos.

Os resultados desse uso indiscriminado de água podem ter sérias implicações na qualidade da vida humana, pois com a crise hídrica não somente os lençóis freáticos como os rios podem diminuir ou até mesmo secar.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO, 2015), o uso de água cresceu em um ritmo duas vezes maior que o populacional no último século. Isso é bastante preocupante, visto que a água é uma necessidade humana essencial e sua ausência tem implicações socioeconômicas, estando relacionada diretamente a vida, à saúde e a alimentação. Essa situação é alarmante, pois estima-se que a população irá dobrar até a metade do século e, conseqüentemente, a demanda por alimentos e água.

Segundo a UNESCO (2015), a falta de saneamento básico, além de não acompanhar o crescimento populacional, não oferece estrutura condizente com a dimensão da atual população. Nesse sentido, o grande desafio é gerir de forma eficiente e sustentável o uso da água.

De acordo com a ONU (1992), pela “Declaração Universal dos Direitos da Água”:

“Os recursos naturais de transformação da água em água potável são lentos, frágeis e muito limitados. Assim sendo, a água deve ser manipulada com racionalidade, precaução e parcimônia. O equilíbrio e o futuro de nosso planeta dependem da preservação da água e de seus ciclos. Estes devem permanecer intactos e funcionando normalmente para garantir a continuidade da vida sobre a Terra. Esse equilíbrio depende em particular da preservação dos mares e oceanos, por onde os ciclos começam”.

Considerando lento o ciclo de transformação da água, o equilíbrio e futuro de nosso planeta dependem de sua preservação, sendo assim, é imprescindível que façamos o uso racional de nossos recursos hídricos, principalmente na agricultura, que é responsável por grande parcela desse consumo. Com a percepção dessa necessidade, surge a “*pegada hídrica*”, que é um método que promete apontar a quantidade de água necessária para a fabricação ou cultivo de determinado bem ao longo de toda cadeia produtiva.

Levando em consideração que água em abundância é imprescindível para a produção do rabanete e que este é um escasso e precioso recurso, é lógico e justificável o estudo de formas de otimização do uso da água em todas as suas formas de utilização, especialmente na irrigação, que muito consome e desperdiça no Brasil.

Putti (2013) aponta que o uso da água de irrigação induzida magneticamente, proporciona maior qualidade e produtividade na cultura, ficando demonstrado em uma produção da alface em que se obteve melhores resultados frente a utilização de água convencional na irrigação.

Gabriel Filho (2011) demonstra melhor produtividade e desenvolvimento geral na criação de animais que consomem água tratada magneticamente.

Estas pesquisas, além do estudo por comparação de médias dos tratamentos com uso de análises estatísticas, permitem a modelagem matemática de seus resultados. Neste sentido, uma teoria promissora vem se destacando com o uso da lógica *fuzzy*.

Segundo Cremasco (2008), a lógica *fuzzy* estabelece a criação de algoritmos genéticos capazes de imitar parte do raciocínio humano. Estes métodos foram sintetizados, criando-se um programa computacional baseado em regras determinadas a partir desta lógica, surgindo então um sistema baseado em regras *fuzzy*. Esta teoria, que busca aplicar à matemática conceitos difusos, foi introduzida por Zadeh (1965).

A teoria *fuzzy* vem sendo utilizada em diversos ramos científicos tais como: na avaliação da racionalidade e eficiência do consumo de energia elétrica em granjas de galinhas poedeiras (CREMASCO, 2008), na avaliação do bem-estar de galinhas (PEREIRA, 2008), para avaliar se rebanhos bovinos estão propícios para o abate (GABRIEL FILHO, 2011), na análise espacial da erosão hídrica em um latossolo vermelho amarelo sob cultivo de café conilon (SILVA et al., 2007), na definição de zonas de manejo na lavoura de café com base na condutividade elétrica e as implicações produtivas (VALENTE et al., 2012).

Adicionalmente, surge a necessidade da elaboração de softwares que facilitem o acesso aos resultados gerados pelos modelos matemáticos *fuzzy*. Diversas pesquisas fazem uso do software Matlab para a estruturação do modelo matemático *fuzzy* e também para a criação de softwares. Além disso, também é muito utilizada a linguagem de programação Delphi, permitindo mais liberdade ao programador para que insira maiores possibilidades de ações de parte do usuário.

Segundo Bordin (2016) 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.

Segundo ainda o mesmo autor, 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 (BORDIN, 2016).

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um conjunto de sistemas computacionais baseados em regras *fuzzy* para previsão de componentes de produção de culturas irrigadas.

Os objetivos específicos desta pesquisa foram:

O desenvolvimento de um *software* para a avaliação de dados biométricos da cultura do rabanete utilizando como variáveis de entrada dias após transplântio (DAT) e lâminas de irrigação (água convencional ou tratada magneticamente).

O desenvolvimento de um *software* genérico para a avaliação de dados diversos de produção de culturas irrigadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do experimento objeto da modelagem matemática

Os dados experimentais utilizados para o desenvolvimento dos *softwares* de avaliação de dados biométricos da cultura do rabanete, bem como de outras culturas irrigadas, do presente estudo, foram analisados estatisticamente em Klar et al. (2015). O experimento foi realizado durante os meses de setembro a novembro de 2013, em um ambiente protegido situado no Departamento de Engenharia Rural da UNESP, Faculdade Ciências Agronômicas, Fazenda Experimental Lageado, localizada no município de Botucatu, São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22° 51' S, longitude 48° 26' W e altitude de 786 m. De acordo com a classificação de Köppen (KOPPEN e GEIGER, 1928), a região apresenta clima do tipo Cfa (Clima Subtropical Húmido).

Os parâmetros climáticos foram registrados por uma estação meteorológica automática. Os detalhes climáticos ao longo do experimento podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros climáticos durante o experimento.

Parâmetros		Ciclo 1	Ciclo 2
Temperatura (°C)	Mínimo	14 ± 3,19	16,99 ± 2,18
	Máximo	28,98 ± 4,90	32,38 ± 4,74
	Média	21,49 ± 3,02	24,69 ± 9,17
Umidade (%)	Mínimo	32,02 ± 17,30	29,19 ± 12,58
	Máximo	79,14 ± 11,33	74,77 ± 10,76
	Média	55,5 ± 13,09	51,98 ± 9,17
Evapotranspiração (mm)		114,2	135,2

Fonte: Klar et al. (2015)

O solo da casa de vegetação foi classificado de acordo com Carvalho et al. (1993) como Nitossolo Vermelho Distrófico Latossólico, apresentando moderada estrutura médio-argilosa, apresentando seguintes características químicas: pH (CaCl₂) = 5,9; M.O. = 24 g dm⁻³; P (resina) = 191 mg dm⁻³; K = 4,8 mmolc dm⁻³; Ca = 68 mmolc dm⁻³; Mg = 25 mmolc dm⁻³; H+Al = 17 mmolc dm⁻³; SB = 67 mmolc dm⁻³; B = 0,51 mmolc dm⁻³; Cu = 4,8 mmolc dm⁻³; Fe = 20 mmolc dm⁻³; Mn = 10,10 mmolc dm⁻³; Zn = 8 mmolc dm⁻³; CTC = 114 mmolc dm⁻³; V = 85%.

O solo foi preparado utilizando um trator, com uma enxada rotativa que revolveu uma camada superficial de aproximadamente 30 cm, depois delimitou-se os canteiros que foram levantados com enxada. Os combates de plantas daninhas foram realizados manualmente quando necessário (KLAR et al., 2015).

A semeadura foi efetuada diretamente no solo, sendo que o desbaste ocorreu aos 14 dias após a semeadura. O espaçamento adotado foi de 25 cm × 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 × 2 e dez repetições. Os tratamentos foram constituídos das lâminas de irrigação correspondente a reposição de 25%, 50%, 75% 100% e 125% da evaporação da cultura (ETc) 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, os quais foram constituídos de uma linha principal com fitas gotejadoras. A mangueira possuía espaçamento de 0,30 m entre gotejadores, sendo sua vazão média de 1,47 L h⁻¹, quando submetido a uma pressão de 10 mca.

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

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

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:

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

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 (%).

Foram utilizados valores de Kc recomendados pela FAO 56 (1998), a qual estabelece 0,6 no início, 1,15 na meia estação e 0,8 no final.

Para compor a base de regras para avaliação biométrica do rabanete, foram utilizadas as seguintes variáveis de entrada: dias após transplante e tipo de água (convencional ou tratada magneticamente). E como variáveis de saída teremos: peso verde do bulbo (PVB), 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 seco da raiz (PSR), peso seco da folha (PSF), peso seco do bulbo (PSB).

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 dos *softwares* Sigmastat e Minitab (BANZATTO e KRONKA, 2006).

2.2 Descrição do Laboratório de Matemática Aplicada e Computacional

Os estudos numéricos e experimentais deste projeto foram desenvolvidos por dois mestrandos no Laboratório de Matemática Aplicada e Computacional da

UNESP/Campus de Tupã. Este laboratório foi construído a partir do projeto intitulado “*Aplicação da lógica fuzzy para avaliação do conforto térmico de aquecedores solares compostos por embalagens recicláveis*” – Processo 480985/2008-1 – Edital MCT/CNPq 14/2008 – Universal, do qual o proponente do mesmo faz parte da equipe.

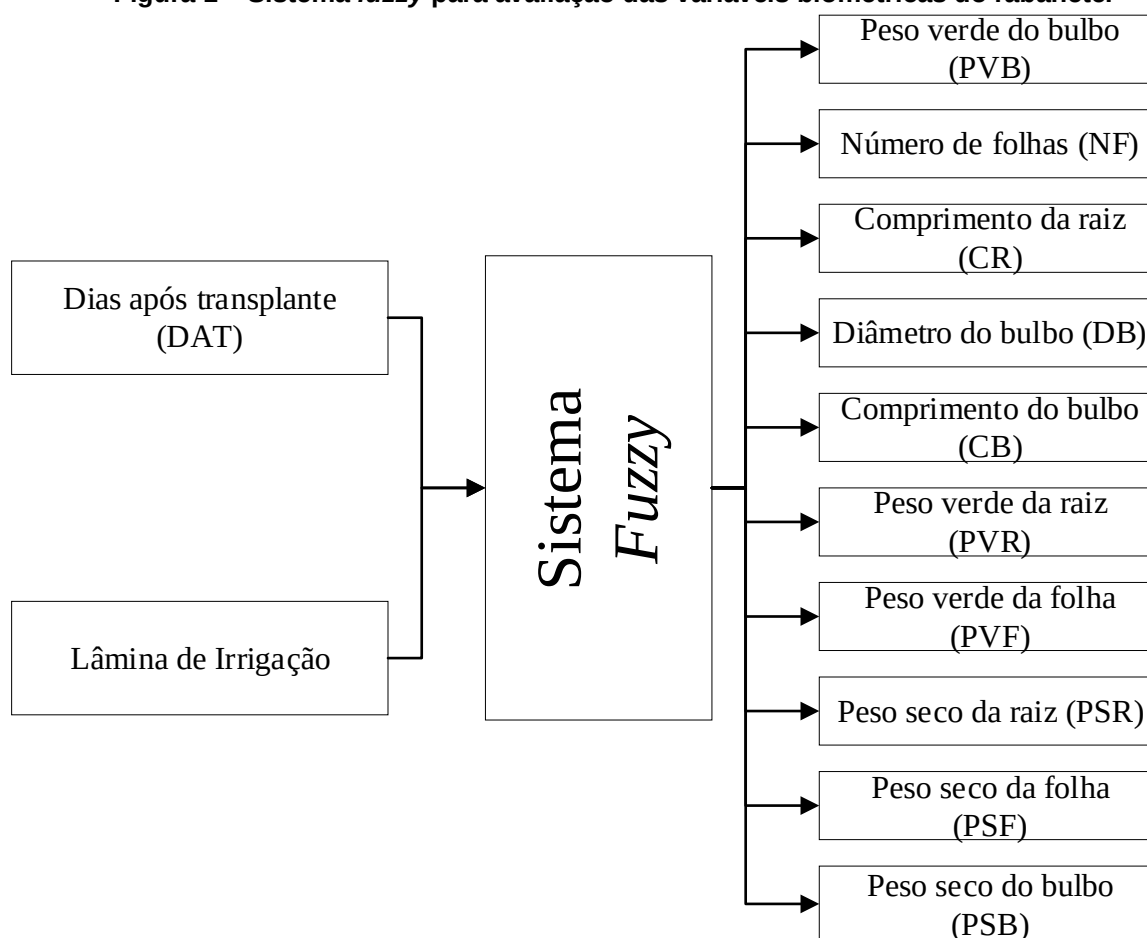
2.3 Modelagens *fuzzy*

A variável de entrada deste sistema constituiu-se o número de DAT (entre 21 e 35) e/ou lâminas de irrigação entre (25%, 50%, 75% 100% e 125%). Já para as variáveis de saída foram as avaliações biométricas. Para cada tipo de variável foram construídas as funções de pertinência dos seus conjuntos *fuzzy*.

As bases de regras deste sistema *fuzzy* não foram realizadas por entrevistas com especialistas, mas sim desenvolvidas analiticamente por meio de métodos matemáticos e estatísticos, utilizando o método da determinação dos quartis desenvolvido por Cremasco (2008).

Para a elaboração dos sistemas *fuzzy*, 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 – Sistema *fuzzy* para avaliação das variáveis biométricas do rabanete.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O sistema *fuzzy* desenvolvido utilizou-se o método de inferência de Mamdani (MAMDANI e ASSILIAN, 1975) para o cálculo do valor numérico das variáveis de saída e foram programados computacionalmente com a ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do *software* Matlab® 9.7.

A modelagem matemática dos experimentos foi realizada utilizando sistemas baseados em regras *fuzzy*, conduzidas por Choueri (2018) e Boso (2018). Com relação a elaboração do sistema, foi possível a determinação de gráficos de respostas das funções de representação dos sistemas possibilitando verificar quais os pontos ótimos em relação aos DAT ou lâminas de irrigação e tipo de água.

2.4 Determinação das variáveis de entrada

Para compor as variáveis de entradas do *software* para avaliação da cultura do rabanete, foram adotados os DAT e as lâminas de irrigação do experimento, o que

possibilitou formar as combinações para a formulação das bases de regras. Na determinação dos delimitadores dos conjuntos *fuzzy*, em geral, foi utilizado o método proposto em Gabriel Filho (2011), Putti (2013), Viais Neto (2016), Choueri (2018) e Boso (2018). As funções de pertinência das variáveis de entrada estão definidas na Tabela 2.

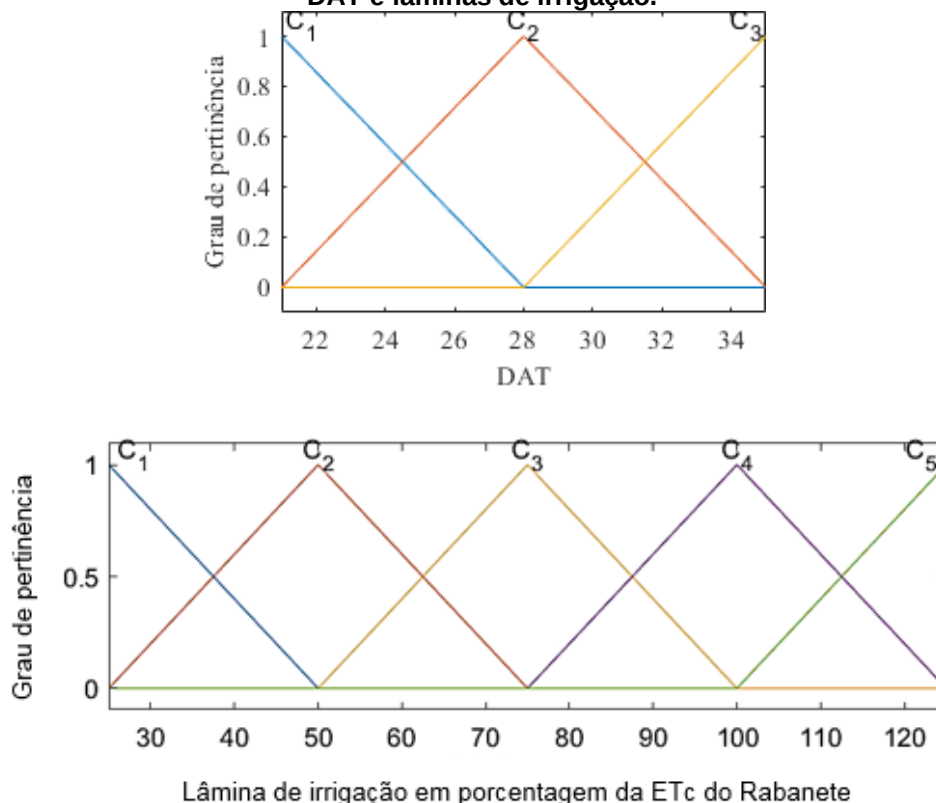
Tabela 2 – Definição de funções de pertinência triangulares de variáveis de entrada.

Variável	Conjunto <i>Fuzzy</i>	Delimitadores
DAT	C1	[14; 21; 28]
	C2	[21; 28; 35]
	C3	[28; 35; 42]
lâminas de irrigação	C1	[0 25 50]
	C2	[25 50 75]
	C3	[50 75 100]
	C4	[75 100 125]
	C5	[100 125 150]

Fonte: Choueri (2018) e Boso (2018).

Vale ressaltar que a primeira classe de *softwares* desenvolvida para a avaliação da cultura do rabanete, utiliza-se das entradas DAT ou lâminas de irrigação (Figura 2).

Figura 2 – Funções de pertinência definidas para os conjuntos *fuzzy* das variáveis de entrada DAT e lâminas de irrigação.



Fonte: Choueri (2018) e Boso (2018).

Já na segunda classe dos *softwares* desenvolvida para a avaliação de outras culturas irrigadas (a partir do *software* de geração de modelagens), foi possível assim como na primeira classe, gerar modelos com apenas uma variável de entrada, porém, neste caso, pode-se gerar com múltiplas variáveis de entrada simultaneamente.

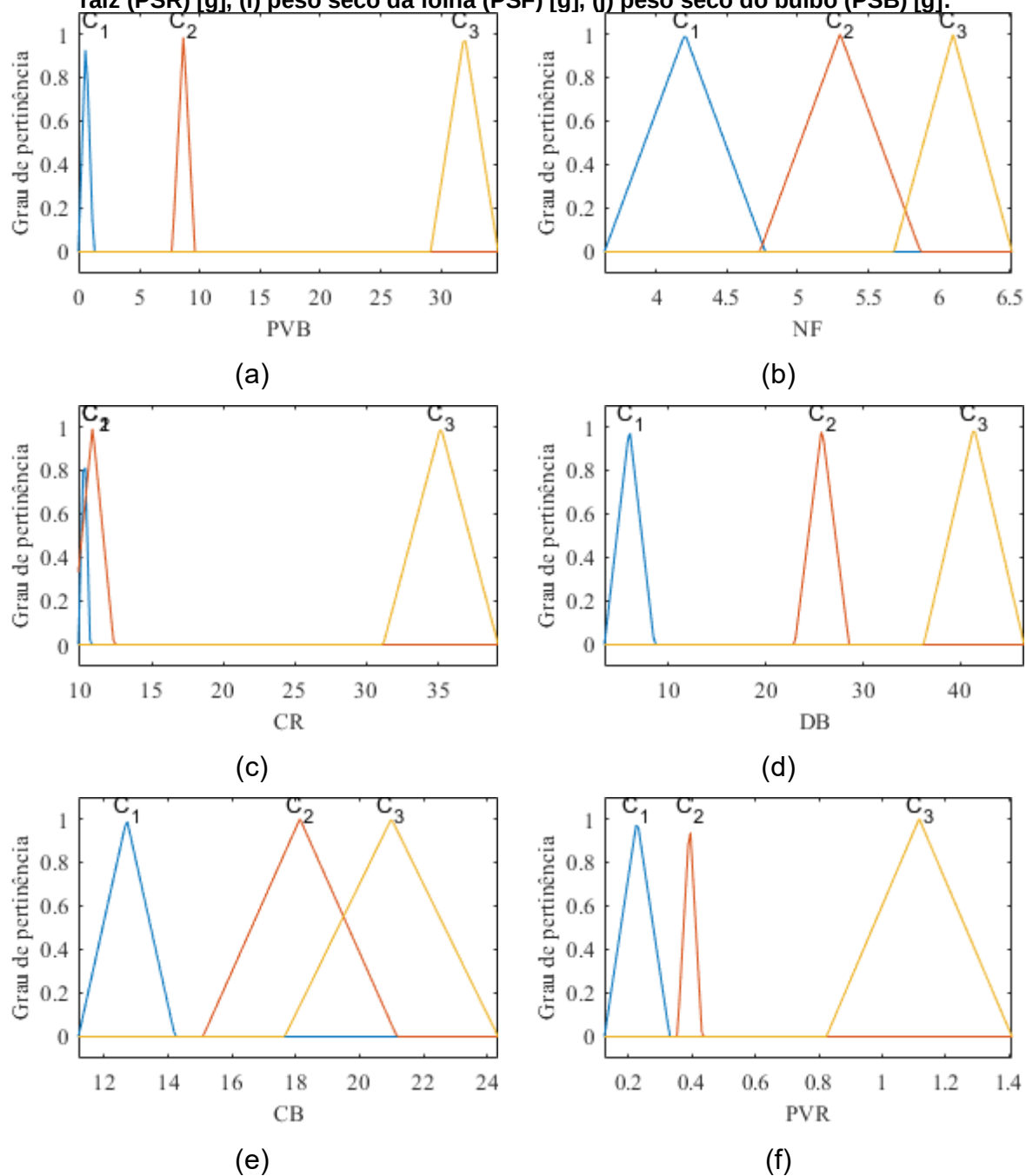
2.5 Determinação das variáveis de saída

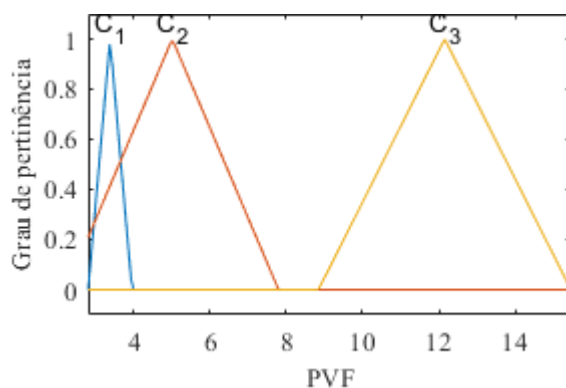
As variáveis de saída da cultura do rabanete utilizadas foram: peso verde do bulbo (PVB), número de folhas (NF), comprimento da raiz (CR), diâmetro do bulbo (DB), comprimento do bulbo (CB), peso verde da raiz (PVR), peso verde da folha (PVF), peso seco da raiz (PSR), peso seco da folha (PSF), peso seco do bulbo (PSB).

Foram adotadas as propostas metodológicas de Choueri (2018) e Boso (2018) para a definição dos conjuntos *fuzzy*, que utilizaram o desvio padrão para cada centro dos triângulos que definem cada função de pertinência (Figura 3). Todavia, elaboraram-se funções de pertinência diferentes destas para o *software* genérico,

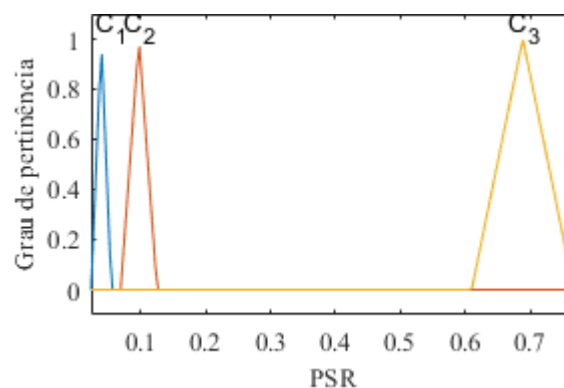
buscando-se que tais funções conjuntamente contemplasse todo o intervalo da variável de saída.

Figura 3 – Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* das variáveis de saídas – água convencional – Ciclo 1: (a) peso verde do bulbo (PVB) [g], (b) número de folhas (NF) [unid.], (c) comprimento da raiz (CR) [mm], (d) diâmetro do bulbo (DB) [mm], (e) comprimento do bulbo (CB) [mm], (f) peso verde da raiz (PVR) [g], (g) peso verde da folha (PVF) [g], (h) peso seco da raiz (PSR) [g], (i) peso seco da folha (PSF) [g], (j) peso seco do bulbo (PSB) [g].

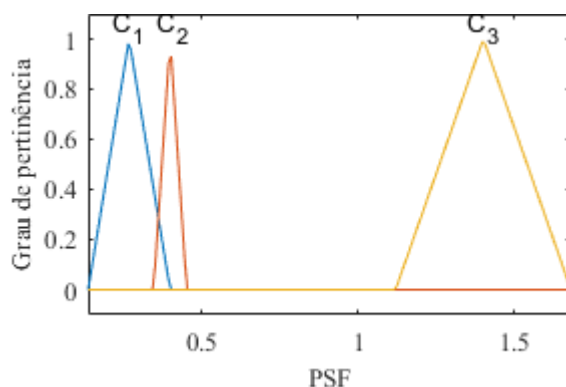




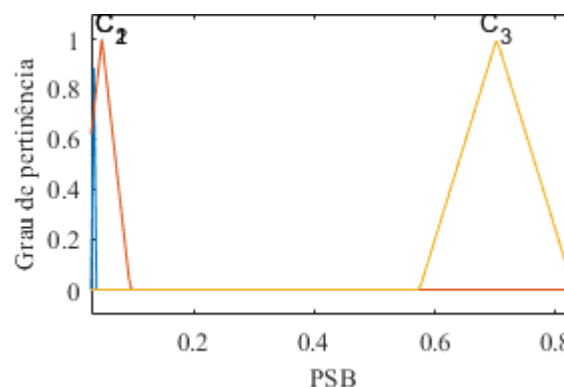
(g)



(h)



(i)



(j)

Fonte: Choueri (2018).

A metodologia de construções de funções de pertinência utilizada no *software* genérico, visando abrangência de todo o intervalo não nulo das variáveis de saída, é análoga às adotadas por Bordin (2016) e Viais Neto (2016), que a título de exemplo, geraram 9 conjuntos *fuzzy*, todos com função de pertinência triangular como está descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Definição das funções de pertinência triangulares das variáveis de saída.

Conjunto Fuzzy	Delimitadores
C1	[Limite inferior - 1; Limite inferior; P12,5%]
C2	[Limite inferior; P12,5%; P25%]
C3	[P12,5%; P25%; P37,5%]
C4	[P25%; P37,5%; P50%]
C5	[P37,5%; P50%; P62,5%]
C6	[P50%; P62,5%; P75%]
C7	[P62,5%; P75%; P87,5%]
C8	[P75%; P87,5%; Limite Superior]
C9	[P87,5%; Limite Superior; Limite Superior + 1]

Fonte: Adaptado de Bordin (2016) e Viais Neto (2016).

Nesta metodologia, para a obtenção da base de regras, o sistema *fuzzy*, considerou-se todas as combinações entre os conjuntos *fuzzy* da variável de entrada. Segundo o esquema de classificação 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 em questão. 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 C1;
- Se $\frac{P(0\%)+P(12,5\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(12,5\%)+P(25\%)}{2}$ então a saída é C2;
- Se $\frac{P(12,5\%)+P(25\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(25\%)+P(37,5\%)}{2}$ então a saída é C3;
- Se $\frac{P(25\%)+P(37,5\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(37,5\%)+P(50\%)}{2}$ então a saída é C4;
- Se $\frac{P(37,5\%)+P(50\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(50\%)+P(62,5\%)}{2}$ então a saída é C5;
- Se $\frac{P(50\%)+P(62,5\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(62,5\%)+P(75\%)}{2}$ então a saída é C6;
- Se $\frac{P(62,5\%)+P(75\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(75\%)+P(87,5\%)}{2}$ então a saída é C7;
- Se $\frac{P(75\%)+P(87,5\%)}{2} \leq Saída < \frac{P(87,5\%)+P(100\%)}{2}$ então a saída é C8;
- Se $Saída > \frac{P(87,5\%)+P(100\%)}{2}$ então a saída é C9,

Onde $P(x\%)$ representa o percentil no nível $x\%$ do conjunto dos valores dos dados em questão.

Também para o *software* genérico, as funções de pertinência de saída foram consideradas triangulares com parâmetros do tipo $[a \ b \ c]$. A partir das médias de todos tratamentos, digamos n tratamentos, associa-se um conjunto *fuzzy* à esta média, sendo no parâmetro b da função de pertinência deste conjunto *fuzzy* atribuído o valor desta média. Sendo assim tem-se o conjunto ordenado $\{b_1, \dots, b_n\}$ definido pelas médias dos tratamentos e associado aos conjuntos *fuzzy* $C_i, i = 1, \dots, n$. Define-se:

$$a_1 = b_1 - (b_2 - b_1)$$

$$c_n = b_n + (b_n - b_{n-1})$$

$$a_k = b_{k-1}$$

$$c_k = b_{k+1}$$

Desta forma, ficam definidos todos parâmetros das funções de pertinência de saída. A base de regras fica também naturalmente definida desta forma, uma vez que os tratamentos são combinações de níveis das variáveis de entrada, e estão desta forma já associados à conjuntos *fuzzy* de saída. Visto que tais níveis também por definição estão associados aos conjuntos *fuzzy* de entrada, a base de regras fica totalmente definida com estas associações.

2.6 Método de inferência e defuzzificação

O método de inferência 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, podendo ser calculado da seguinte forma:

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

Para a implementação computacional dos sistemas *fuzzy* desenvolvidos, foram utilizados os *softwares* Microsoft Excel 2016 e Matlab. Ainda, com o auxílio da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do *software* Matlab, foi possível elaborar a representação do Sistema Baseado em Regras *Fuzzy*, determinando as funções de pertinência e gráficos de representação do sistema.

2.7 Plataforma computacional para a cultura do rabanete

Após a implementação do sistema *fuzzy* foi elaborado um banco de dados calculados, contendo todas as combinações possíveis das variáveis de entrada, criando-se pares dos valores por meio de laços de repetição.

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

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 *Software* elaborado para avaliação da cultura do rabanete

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 rabaneteiro pode ser realizado a partir da importação de dados de uma planilha eletrônica ou diversos outros formatos contendo apenas dados do ciclo, tipo de água e DAT ou lâmina de irrigação, devendo estarem dispostos nesta mesma ordem, havendo também a possibilidade de inserção individual no *software* pela função inserir.

Para a primeira classe de *softwares* desenvolvida, com variável de entrada o DAT, os intervalos do ciclo, tipo de água e DAT (dias), adotados do experimento realizado e utilizados para o estudo foram: [1; 2], [0; 1], [21; 35], respectivamente. Caso a variável de entrada seja lâmina de irrigação, os intervalos do ciclo, tipo de água e a lâmina de irrigação (%), foram: [1; 2], [0; 1], [25; 125], respectivamente.

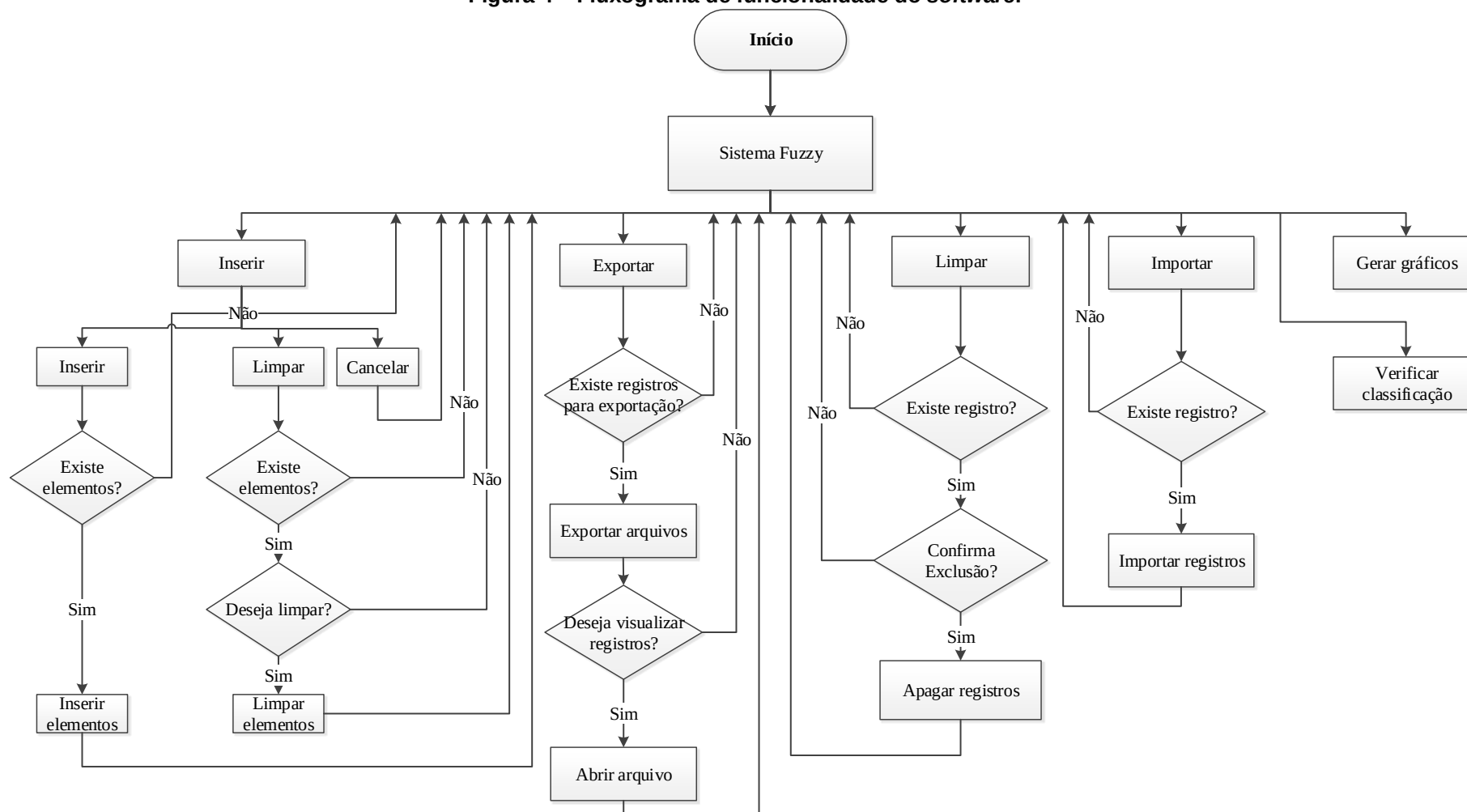
Com esses valores foi possível estabelecer um banco de dados, com todas as combinações possíveis das variáveis de entrada, e calculou-se os valores de saídas pelo *software* Matlab, após esta etapa, foi desenvolvido o *software* em linguagem Delphi, onde tais combinações foram utilizadas como base de cálculos para os demais valores não adotados no experimento.

O *software* possibilita a classificação de todas as variáveis de saída em 3 níveis de comparação com os dados dos rabaneteiros do experimento {C1, C2, C3}.

Posteriormente, o *software* exibe os valores das variáveis de saída de cada planta, mesmo as quais não possuem informações de entrada, ou seja, que não foram aferidas via experimento, mas estavam dentro dos delimitadores pré-estabelecidos.

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

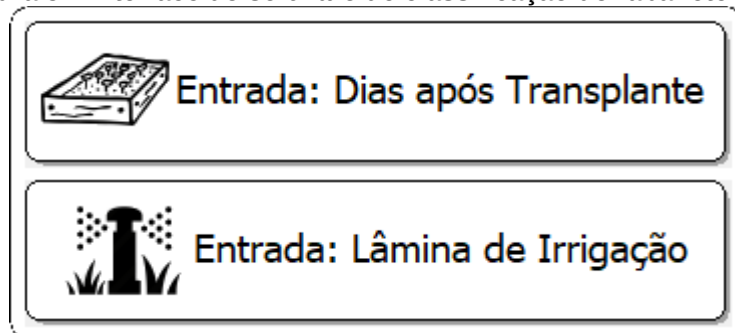
Figura 4 – Fluxograma de funcionalidade do software.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O *software* de avaliação do rabanete tem duas grandes seções (Figura 5), onde é possível a estimação e classificação de variáveis biométricas, sendo que na seção 1 tem como variável de entrada o DAT (nesta funcionalidade, a lâmina de irrigação adotada é de 100%) e na seção 2, a variável de entrada é a lâmina de irrigação (nesta funcionalidade, o DAT adotado é de 35 dias).

Figura 5 – Interface do *software* de classificação do rabanete.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses botões (Figura 5) acionam seções diferentes, conforme a entrada, nos quais são obtidos dados calculados de modelagens distintas, considerando não apenas a própria variável de entrada, mas se os dados experimentais são do ciclo 1 ou 2 e se a água de irrigação é convencional ou tratada magneticamente, sendo que cada seção pode apresentar resultados de quatro modelos: ciclo 1 com água convencional, ciclo 1 com água tratada magneticamente, ciclo 2 com água convencional e ciclo 2 com água tratada magneticamente o que totaliza oito modelagens *fuzzy*.

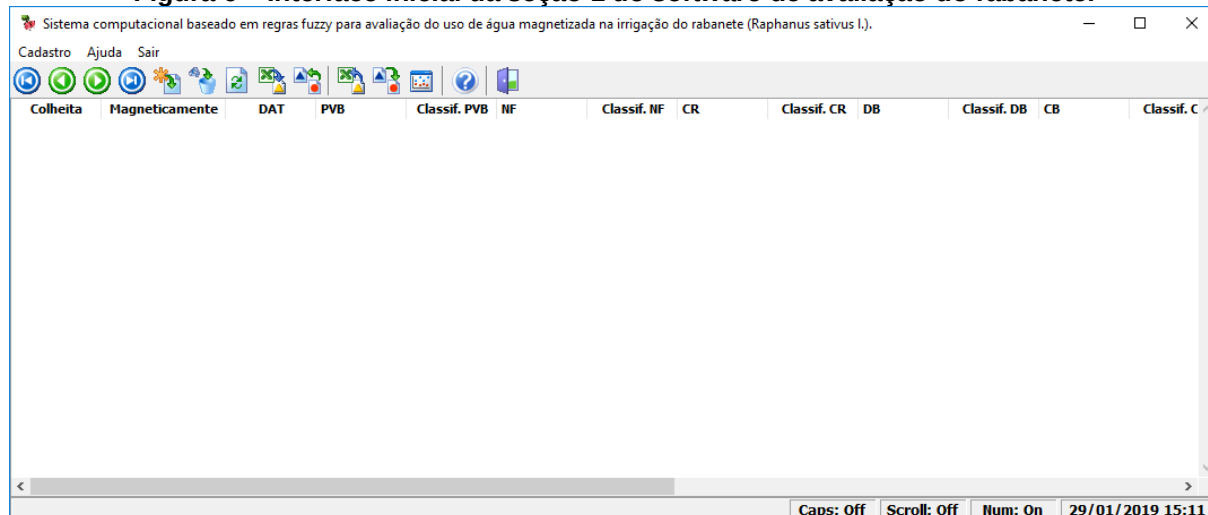
Para facilitação de uso as oito seções foram agrupadas em apenas 2 seções, considerando ser possível informar a ciclo e o tipo de água na entrada de dados para cálculo e classificação.

A 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 das variáveis de entrada. O *software* também possibilita a exportação em diferentes formatos dos resultados das variáveis de saída e suas classificações.

O *software* apresentado (Figura 6), é utilizado para cadastrar e verificar as estimações das características biométricas, bem como, de maneira automática, as

classificações quantitativas do rabaneteiro, utilizando como variáveis de entrada DAT, ciclo e tipo de água, sendo a lâmina de Irrigação ao nível de 100%.

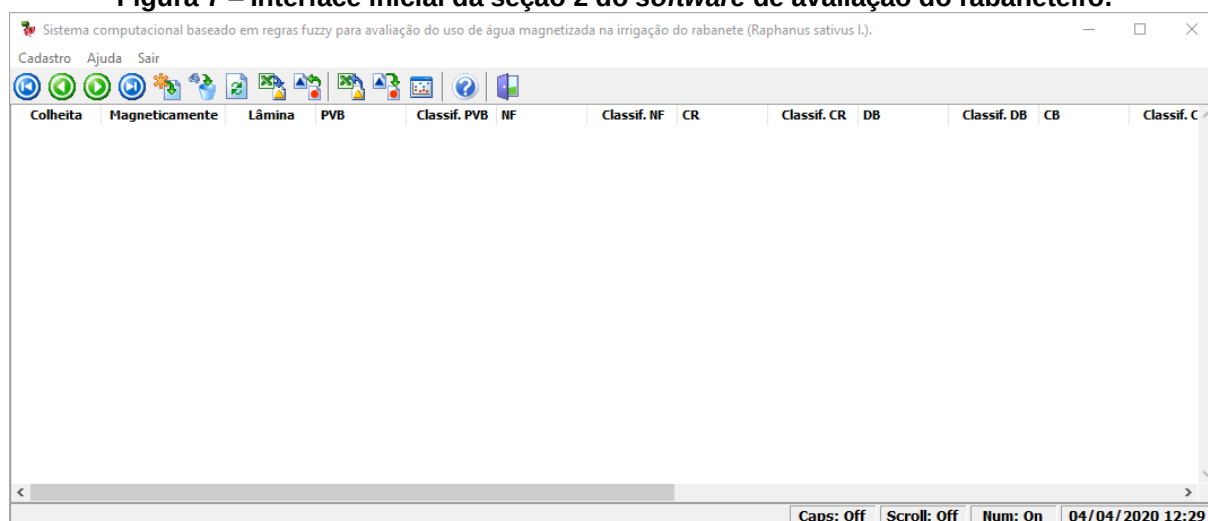
Figura 6 – Interface inicial da seção 1 do software de avaliação do rabanete.



Fonte: Elaborada pelo autor.

De maneira similar e para facilitar o uso do *software*, a seção 2 (Figura 7) possui as mesmas funcionalidades e até aspecto similar ao da seção 1. Neste caso, a seção trabalha com os outros quatro conjuntos de modelagens, conforme a ciclo e tipo de água, mas tem como variável de entrada a lâmina de irrigação, sendo DAT igual a 35 dias.

Figura 7 – Interface inicial da seção 2 do software de avaliação do rabaneteiro.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na inserção dos dados no sistema computacional, o usuário poderá escolher a combinação entre as variáveis analisadas: ciclo, tipo de água e DAT (seção 1), podendo com isso analisar a situação do rabanete, utilizando automaticamente os quatro modelos *fuzzy* correspondentes a seção. A inserção das variáveis de entrada pode ser vistas na Figura 8.

Figura 8 – Interface do software (seção 1) no momento de inserir os dados para análise, sendo o ciclo, tipo de água, DAT.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da simulação observada no registro selecionado da Figura 8, em que foi adotado a irrigação mantendo o ciclo 1, água tratada magneticamente, DAT de 30 dias, foi possível averiguar a estimativa de valores referentes as variáveis biométricas do rabanete.

A Figura 9 apresenta as variáveis de respostas em que obteve os resultados de 27,79 g; 6,78 unid.; 33,84 mm; 43,93 mm; 28,41 mm; 0,8 g; 19,25 g; 1,19 g; 1,53 g; 1,45 g e classificações 2; 3; 2,87; 2,59; 2,33; 3; 2; 3; 2,47; 3, nas saídas PVB; NF; CR; DB; CB; PVR; PVF; PSR; PSF; PSB, respectivamente.

Figura 9 – Resultado da análise no software, no qual foi inserido ciclo 1, água tratada magneticamente, DAT de 30 dias.

Sistema computacional baseado em regras fuzzy para avaliação do uso de água magnetizada na irrigação do rabanete (*Raphanus sativus* L.).

Cadastro Ajuda Sair

Colheita	Magneticamente	DAT	PVB	Classif. PVB	NF	Classif. NF	CR	Classif. CR	DB	Classif. DB	CB	Classif. C
1	☐	21	0,584797	1	4,200185	1	10,916031	2	6,011859	1	12,70013	1
1	☐	28	8,648681	2	5,300128	2	10,312771	1,7	25,768888	2	18,128647	2,14
1	☐	35	31,945231	3	6,099968	3	35,171413	3	41,362406	3	20,995711	2,95
1	☒	21	1,429372	1	4,700061	1	8,365676	1,62	9,135757	1	13,454469	1
1	☒	28	23,943806	2	6,200066	2	8,252025	1,57	37,270708	2	30,781856	2,6
1	☒	30	27,791526	2	6,778512	3	33,844134	2,87	43,933066	2,59	28,412291	2,33
1	☒	35	37,235129	3	7,299775	3	42,78463	3	51,798431	3	26,180281	2,08
2	☐	21	1,997937	1	4,100589	1	4,101599	1	10,521842	1	25,832392	1,55
2	☐	28	9,743523	2,03	5,600005	2,55	9,389769	2,63	23,232637	2	32,370776	2,5
2	☐	35	13,598365	2,88	6,499933	3	8,349885	2,23	36,144682	3	29,266216	2,13
2	☒	21	2,335017	1	4,700022	1	11,849816	2,79	11,31141	1	29,80988	1,68
2	☒	28	12,344728	2	6,59989	2,62	10,019894	1,56	25,364092	2	39,711222	3
2	☒	35	17,278257	3	6,60018	2,62	9,750141	1,49	46,279058	3	28,226382	1,42

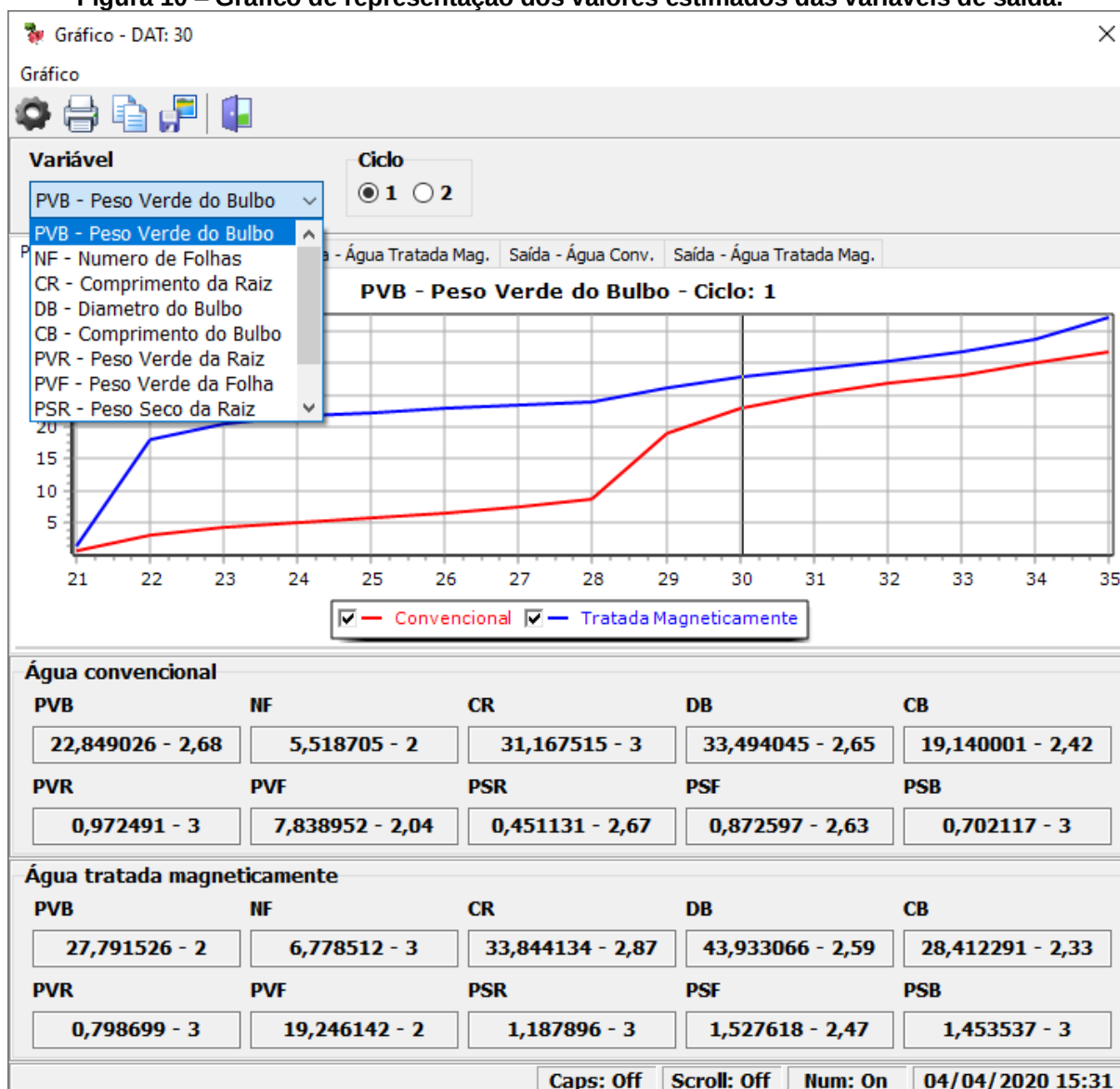
Caps: Off Scroll: Off Num: On 15/01/2020 16:01

Fonte: Elaborado pelo autor.

O software gera gráficos de linhas para cada uma variável de saída, sendo uma série para cada tipo de água, utilizando todas as possíveis estimativas para um DAT de 21 à 35 dias, exibindo ainda as bases de regras de entrada e saída de cada variável.

Para exibição dos gráficos, deve ser selecionado a variável de saída na caixa de seleção “Variável” e o ciclo pelos botões de rádio “Ciclo” (Figura 10).

Figura 10 – Gráfico de representação dos valores estimados das variáveis de saída.



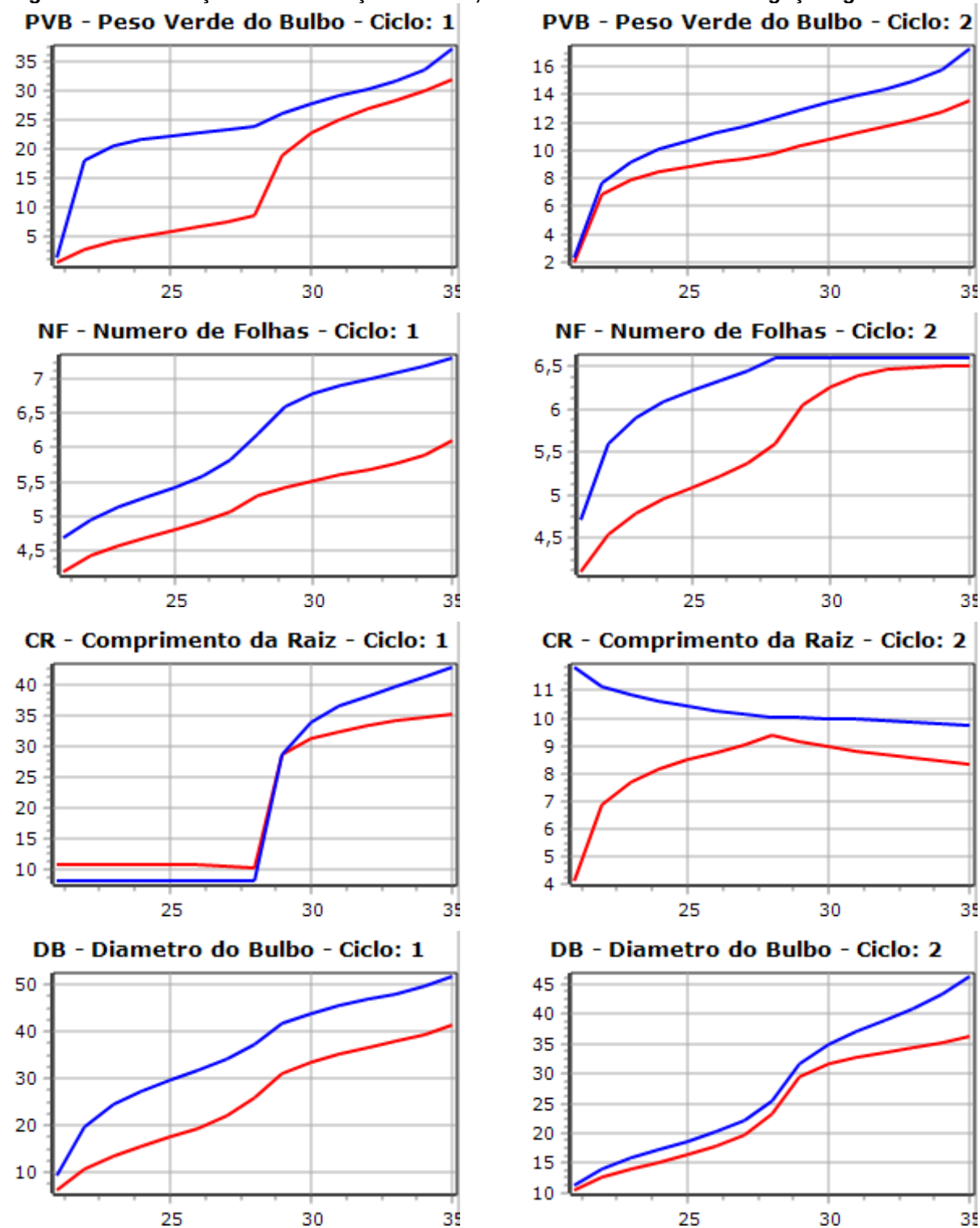
Fonte: Elaborada pelo autor.

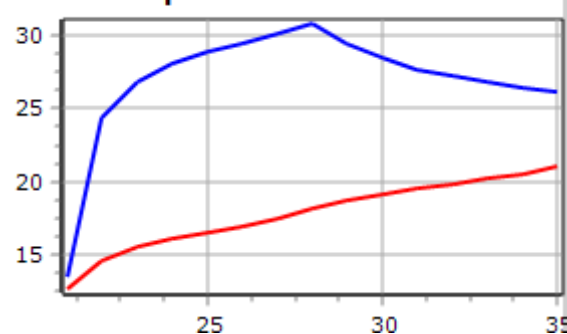
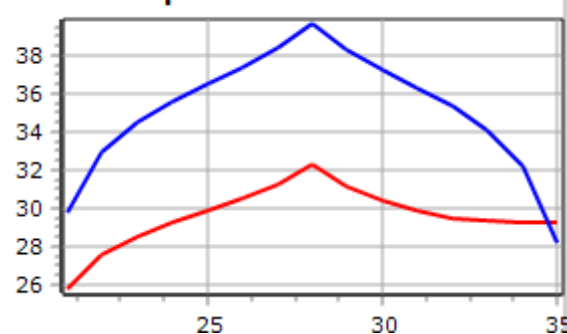
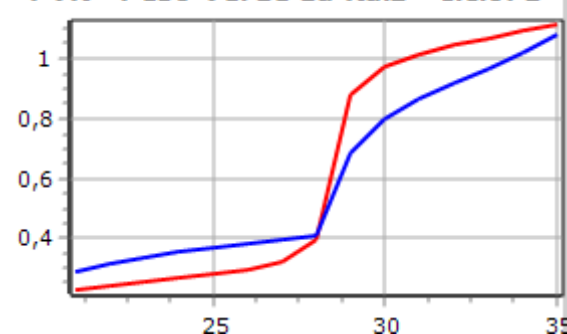
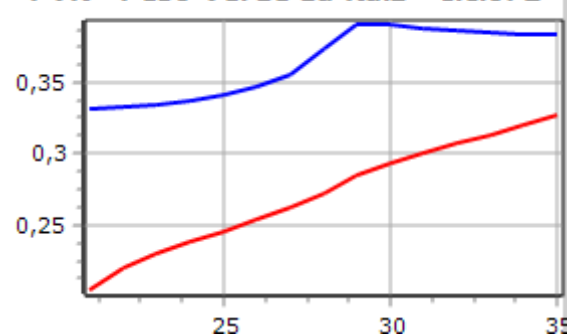
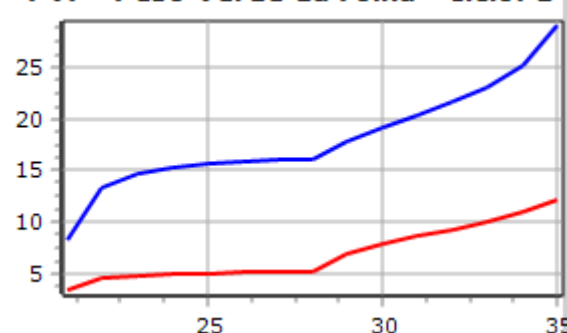
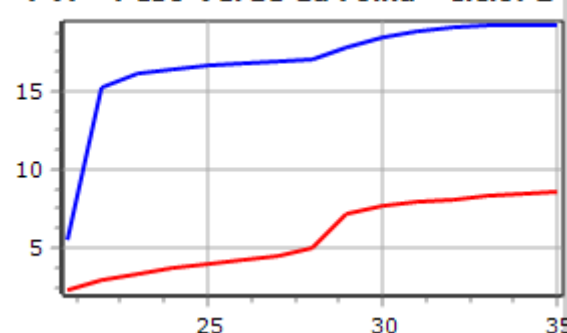
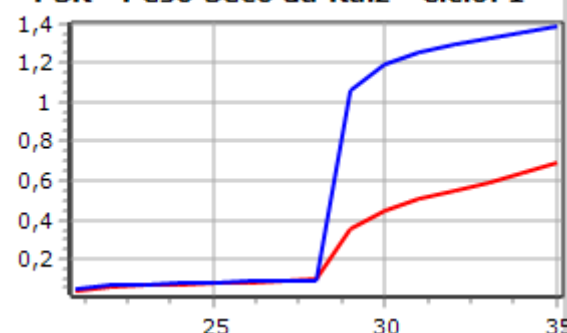
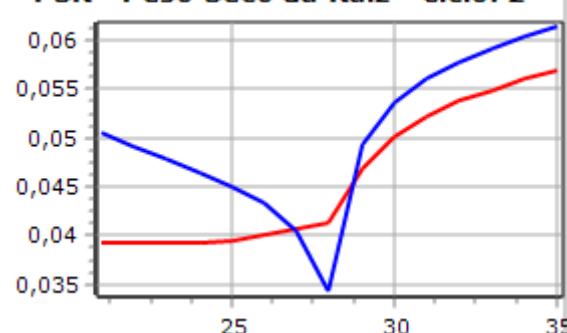
No exemplo da Figura 10 observa-se que o usuário posicionou a simulação no valor $DAT = 30$. Neste ponto, é possível observar que o *software* retorna todos os valores da cultura para as respostas biométricas e de produtividade, tanto para a água convencional, quanto a tratada magneticamente.

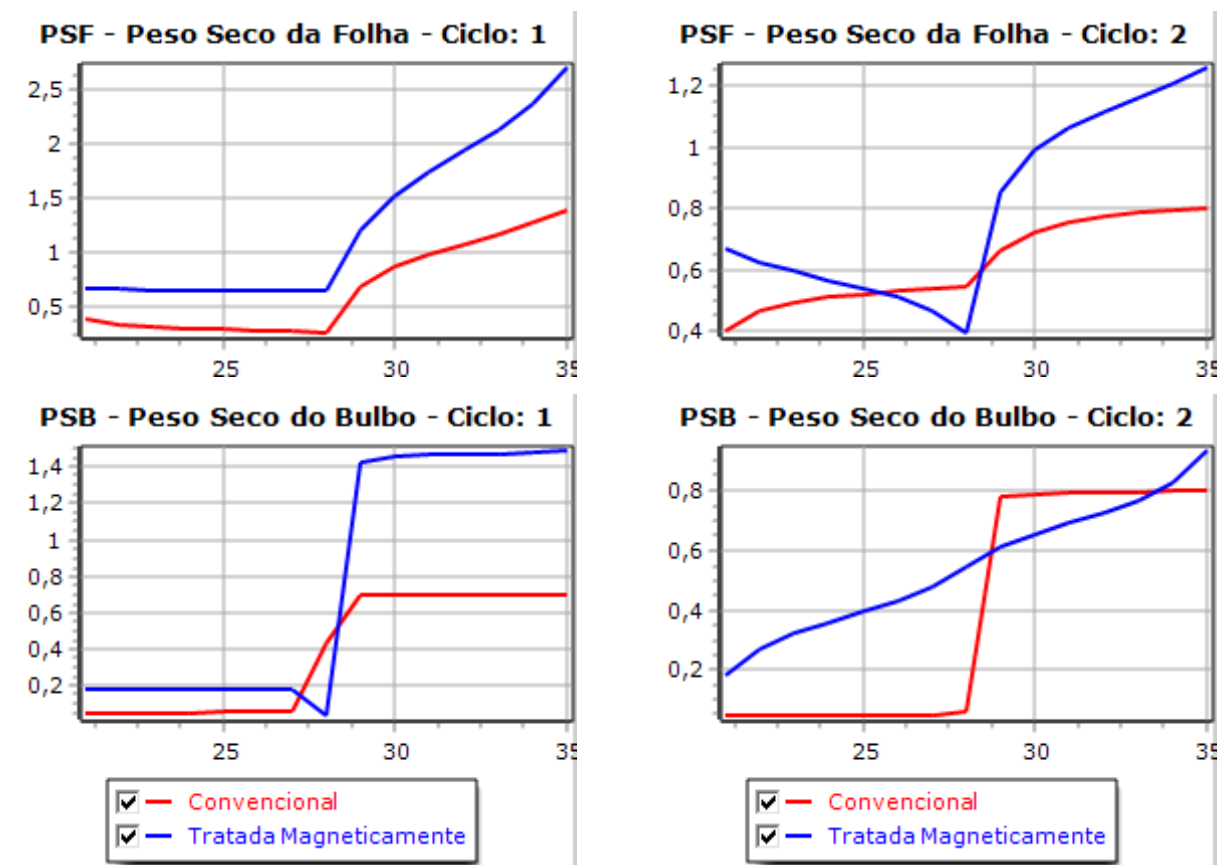
Simultaneamente, abaixo do gráfico é exibido valores referentes as variáveis de saída, bem como suas classificações. Tais valores são determinados pelo DAT, obtido pelo posicionamento da linha vertical que a todo momento acompanha o mouse quando este percorre o gráfico.

Na Figura 11, foram apresentados todos os possíveis gráficos das variáveis de saída, sendo dispostos ciclo 1 à esquerda, e ciclo 2 a direita.

Figura 11 – Simulações com variação do DAT, considerando lâmina de irrigação igual a 100%.



CB - Comprimento do Bulbo - Ciclo: 1**CB - Comprimento do Bulbo - Ciclo: 2****PVR - Peso Verde da Raiz - Ciclo: 1****PVR - Peso Verde da Raiz - Ciclo: 2****PVF - Peso Verde da Folha - Ciclo: 1****PVF - Peso Verde da Folha - Ciclo: 2****PSR - Peso Seco da Raiz - Ciclo: 1****PSR - Peso Seco da Raiz - Ciclo: 2**



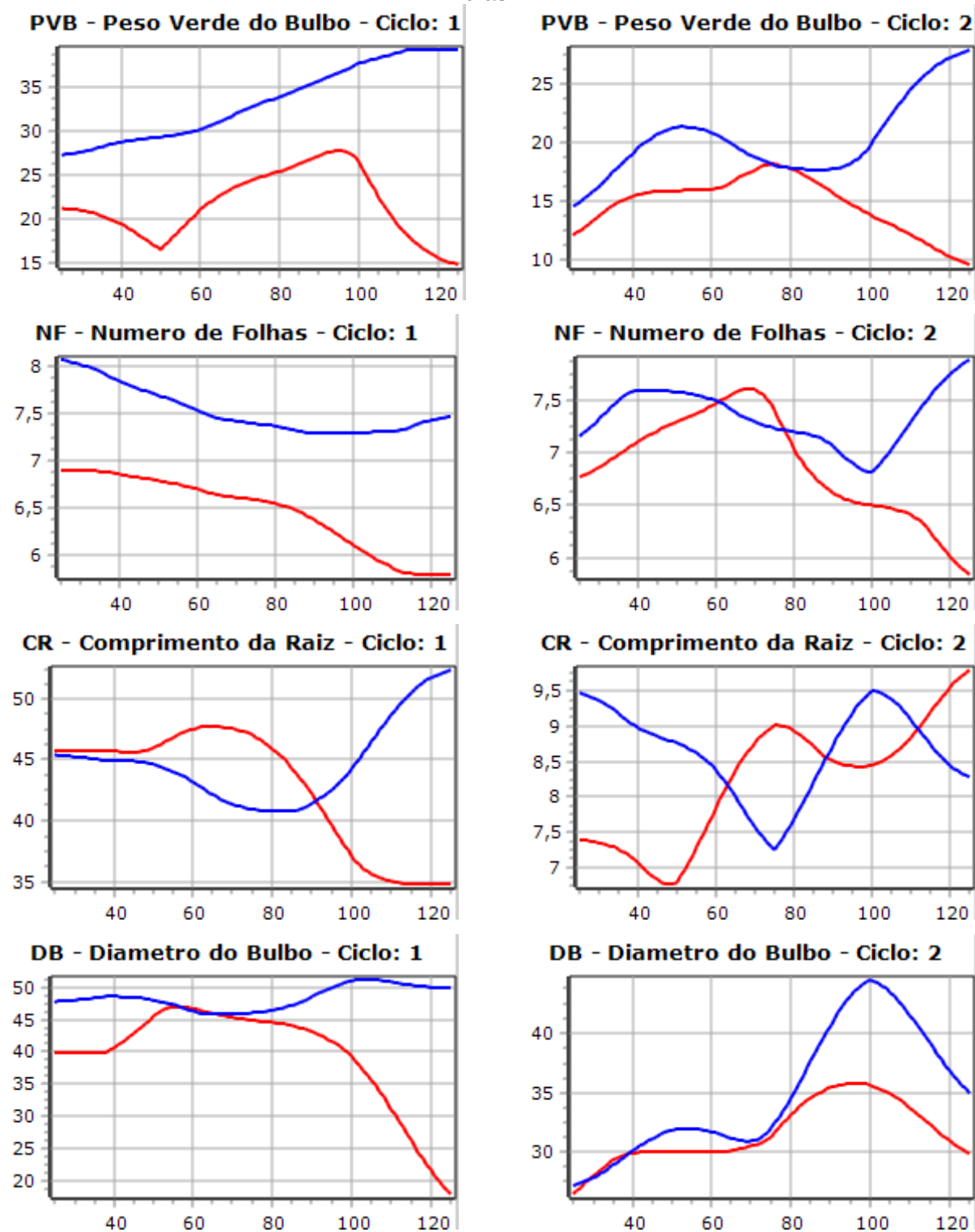
Fonte: Elaborado pelo autor.

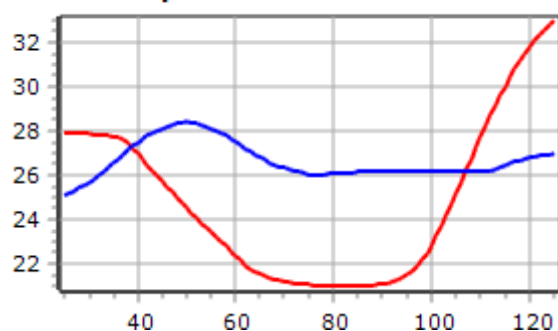
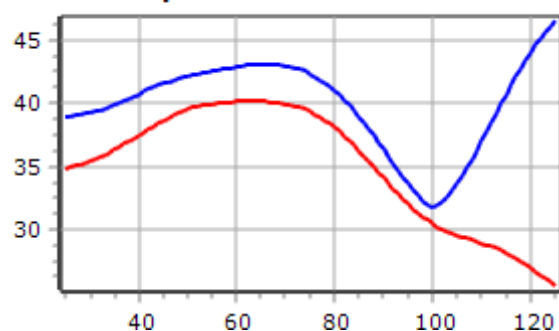
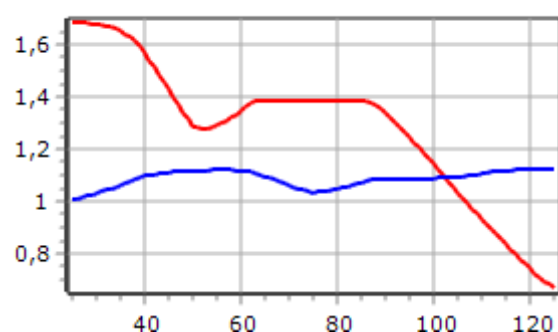
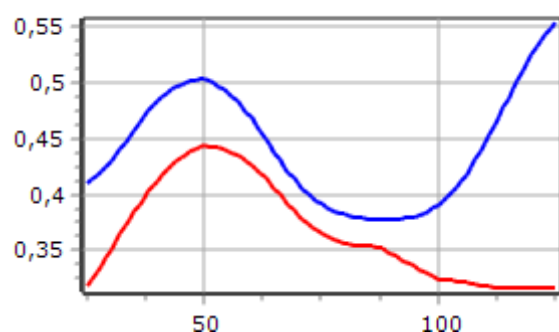
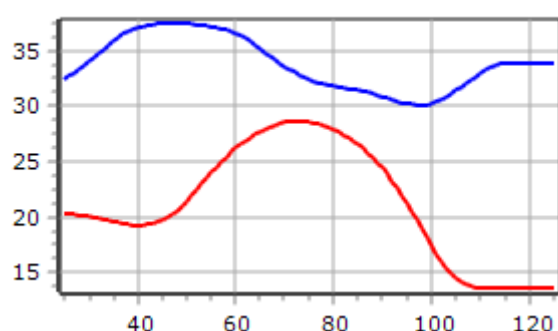
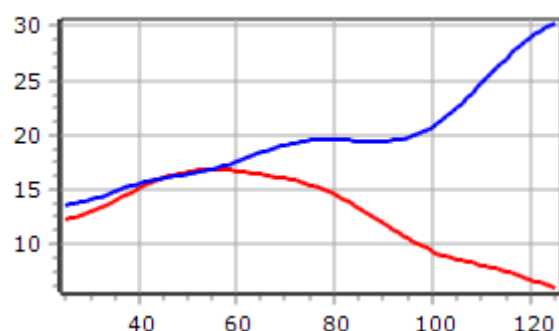
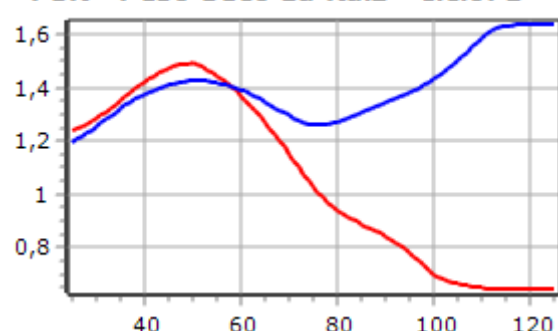
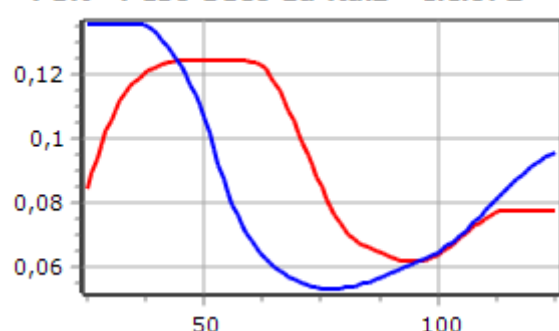
Observa-se praticamente em todos os gráficos um melhor desempenho da cultura quando utilizado ATM. Especificamente, na variável PVB, a curva ATM tem valores maiores antes dos 29 dias após transplântio.

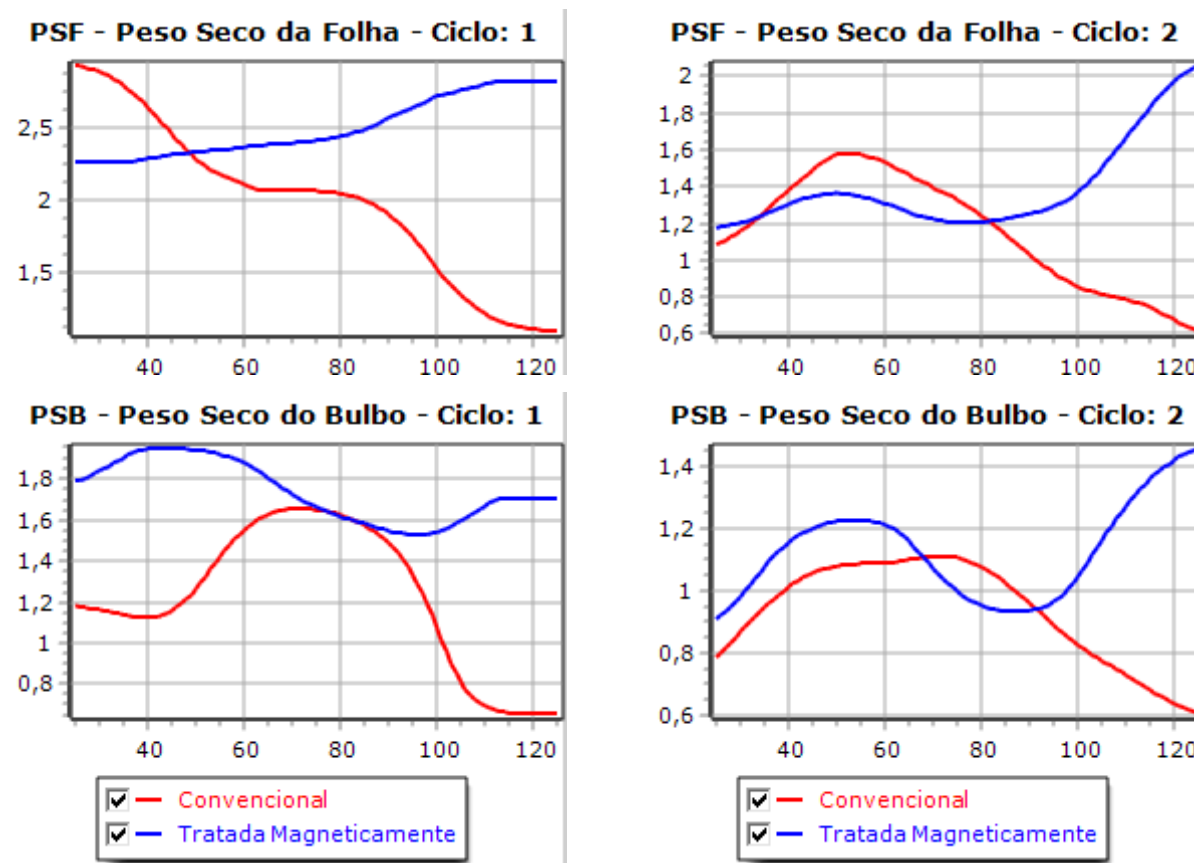
Além disso, percebe-se uma produtividade superior, embora menos acentuada. Tal comportamento é análogo no ciclo 2.

A Figura 12, ilustra as simulações que o *software* retorna com a variação da lâmina de irrigação. De maneira análoga coloca-se ciclo 1 à esquerda, e ciclo 2 a direita

Figura 12 – Simulações com variação na lâmina de irrigação, considerando DAT igual a 35 dias.



CB - Comprimento do Bulbo - Ciclo: 1**CB - Comprimento do Bulbo - Ciclo: 2****PVR - Peso Verde da Raiz - Ciclo: 1****PVR - Peso Verde da Raiz - Ciclo: 2****PVF - Peso Verde da Folha - Ciclo: 1****PVF - Peso Verde da Folha - Ciclo: 2****PSR - Peso Seco da Raiz - Ciclo: 1****PSR - Peso Seco da Raiz - Ciclo: 2**



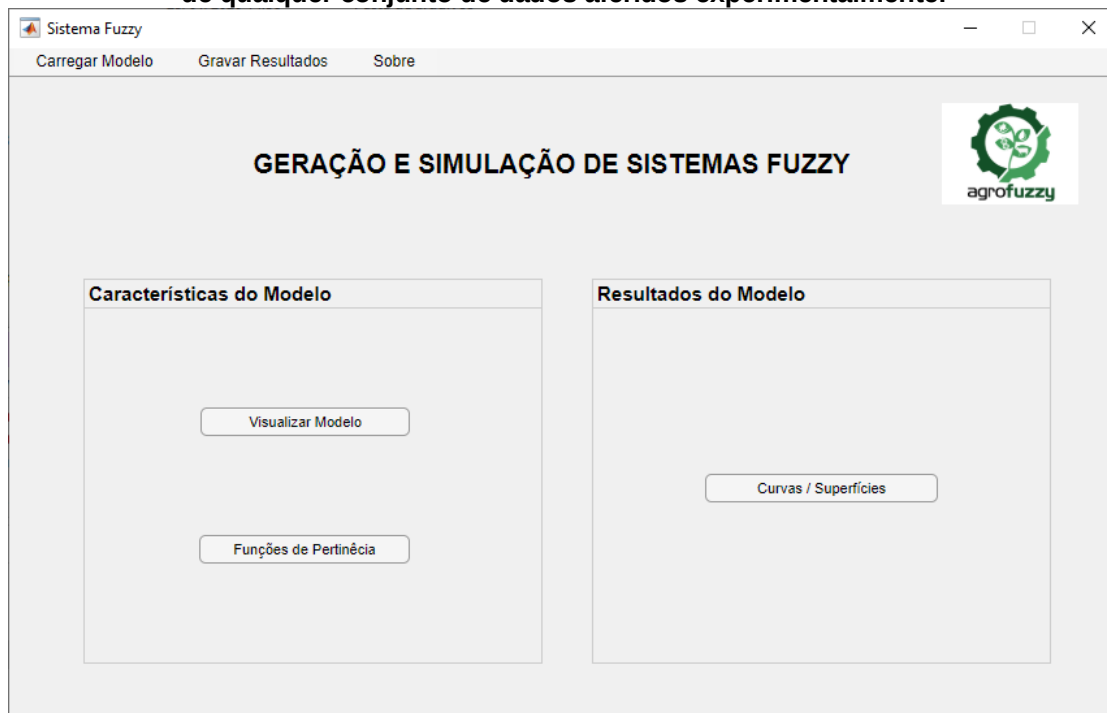
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se novamente que em todos os gráficos houve um melhor desempenho da cultura com o uso de ATM. Especificamente, na variável PVB, a curva ATM tem valores muito maiores até os 25 dias após transplântio. Ainda, também se mostra com produtividade superior, porém menos acentuada.

3.2 Software elaborado para quaisquer culturas

Neste tópico, foi descrito o *software* genérico, que permite a leitura de uma planilha com quaisquer dados experimentais, desde que as primeiras colunas tenham os fatores da experimentação, e as colunas seguintes tenham as respostas aferidas da cultura (Figura 13).

Figura 13 – Tela inicial do *software* de simulação e análise de sistemas *fuzzy* gerados a partir de qualquer conjunto de dados aferidos experimentalmente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

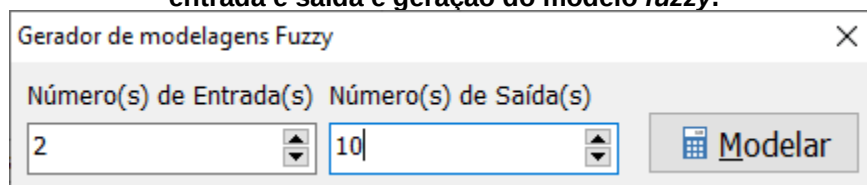
O *software* permite, mediante as características experimentais das variáveis de entrada, realizar a visualização do modelo, bem como fornecer todas funções e pertinência tanto das variáveis de entrada quanto de saída.

Em relação aos resultados do modelo, o *software* permite realizar as simulações numéricas (inserção de valores de entrada e fornecimento instantâneo de valores de saída), bem como gerar gráficos, superfícies e mapas de contorno.

No menu “Gravar Resultados”, o *software* tem a opção de gerar todos os gráficos conjuntamente e gravar em alguma pasta escolhida pelo usuário.

Na funcionalidade carregar modelo, o usuário deve informar o número de entradas, bem como o número de saídas, conforme Figura 14.

Figura 14 – Tela da funcionalidade do *software* para a inserção do número de variáveis de entrada e saída e geração do modelo *fuzzy*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados desta seção estão dispostos em três partes, cada uma delas com resultados sobre variáveis biométricas em que a cultura foi irrigada com água convencional (AC) e com água tratada magneticamente (ATM). São elas:

- Resultados do *software* genérico para a cultura do rabanete com variações simultâneas nos dias após transplântio e nas lâminas de irrigação;
- Resultados do *software* genérico para a cultura do rabanete com variações nos dias após o transplântio;
- Resultados do *software* genérico para a cultura do rabanete com variações nas lâminas de irrigação.

Vale ressaltar que, em todas simulações aqui realizadas, somente foram utilizados os dados do ciclo 1, uma vez que as comparações entre os ciclos já foram realizadas nas seções anteriores.

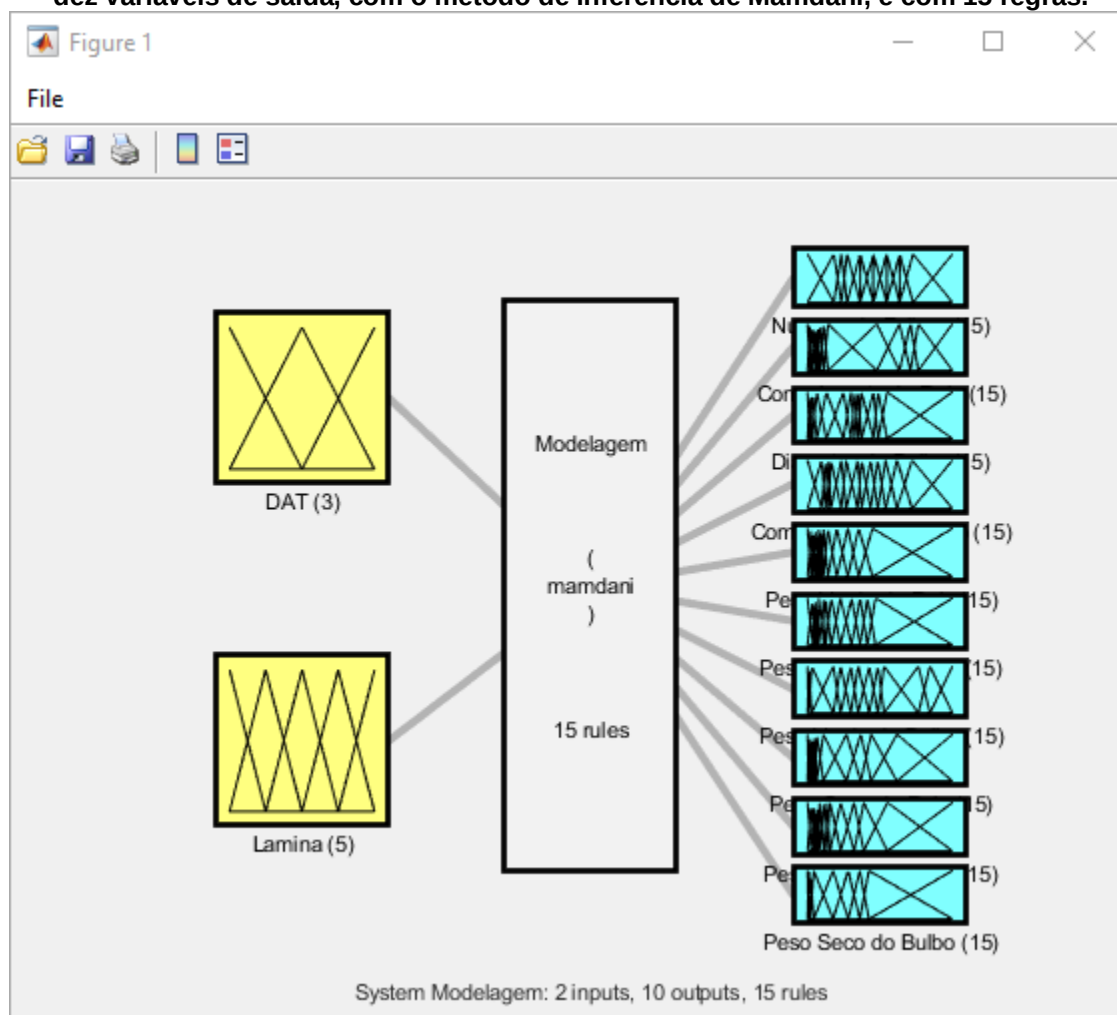
3.2.1 Resultados do *software* genérico para a cultura do rabanete com variações simultâneas nos dias após transplântio e nas lâminas de irrigação

O presente modelo caracteriza-se por analisar simultaneamente os efeitos de diferentes lâminas de irrigação em diferentes DAT na cultura do rabanete.

3.2.1.1 Resultados para irrigação com AC

Na Figura 15 é apresentado a visualização do modelo, que inclui as variáveis de entrada e saída e a exibição de sua estrutura.

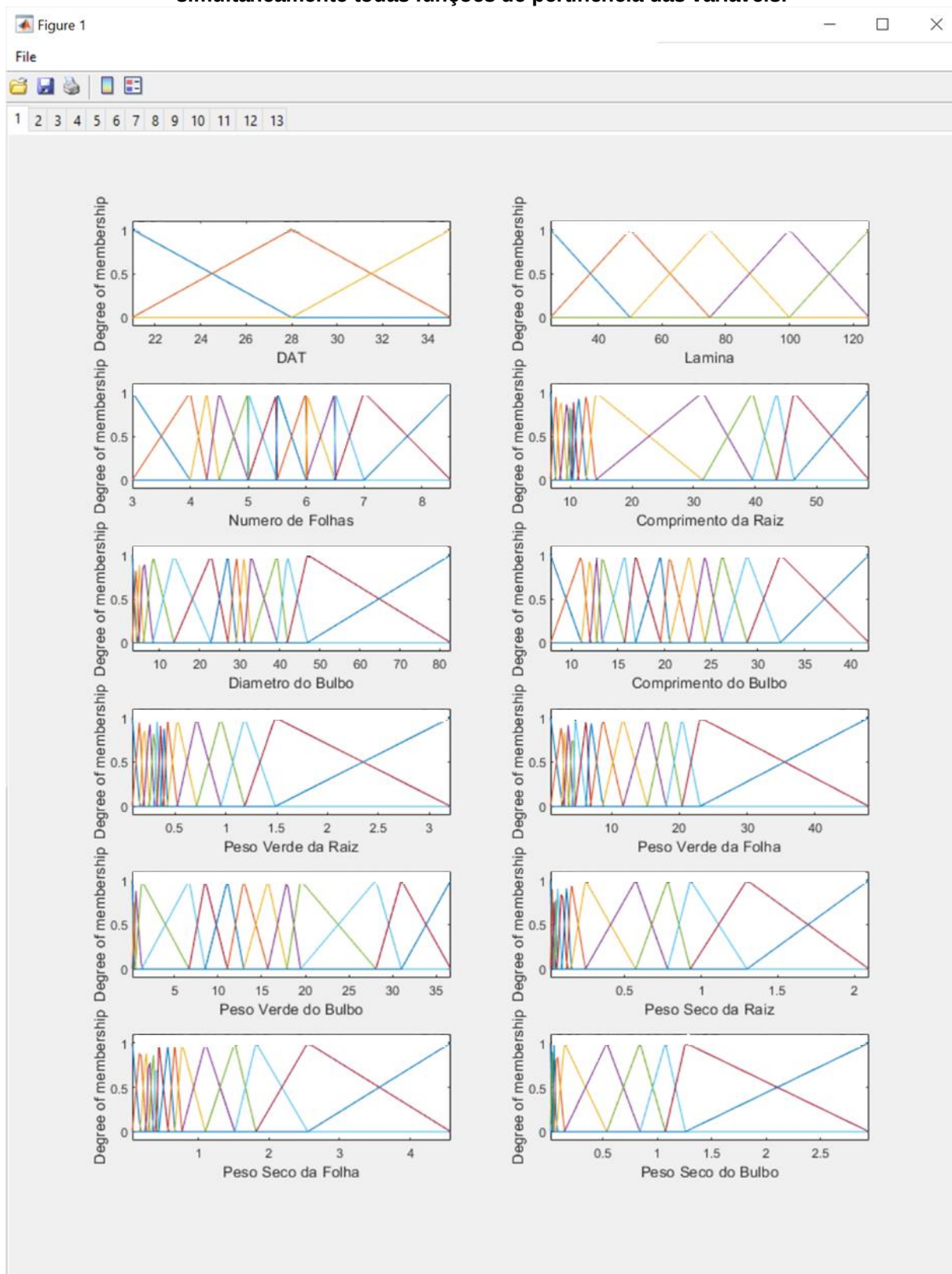
Figura 15 – Resultado da funcionalidade “Visualizar Modelo”, com duas variáveis de entrada, e dez variáveis de saída, com o método de inferência de Mamdani, e com 15 regras.



Fonte: Elaborado pelo autor.

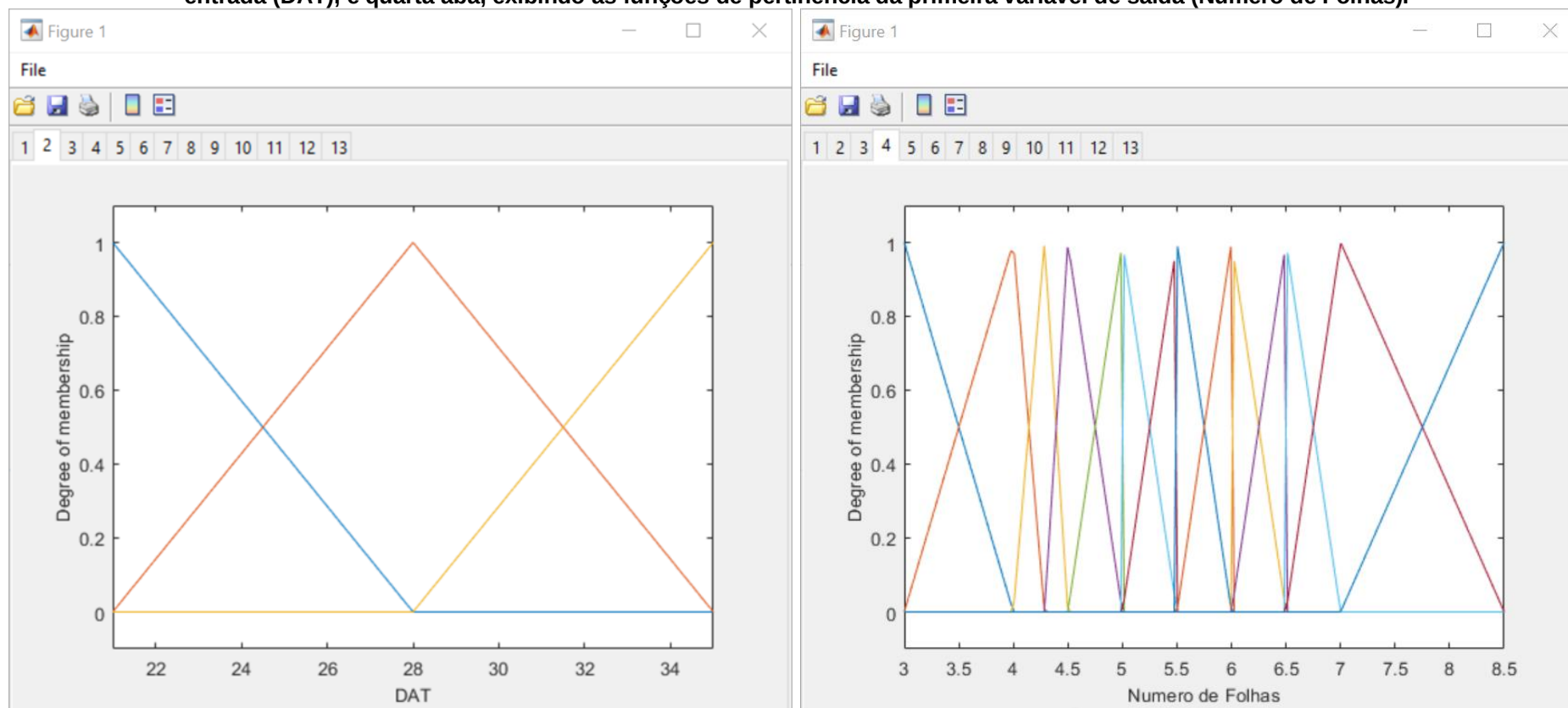
A funcionalidade “Funções de Pertinência” exibem 13 abas, das quais a primeira, mostra simultaneamente as funções de pertinência de todas variáveis (Figura 16), enquanto as demais abas, exibem individualmente as funções de pertinência de cada variável, tanto de entrada quanto de saída, como mostra a Figura 17.

Figura 16 – Resultado da funcionalidade “Funções de Pertinência” – Primeira aba, exibindo simultaneamente todas funções de pertinência das variáveis.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 – Resultado da funcionalidade “Funções de Pertinência” – Segunda aba 2, exibindo as funções de pertinência da primeira variável de entrada (DAT), e quarta aba, exibindo as funções de pertinência da primeira variável de saída (Número de Folhas).

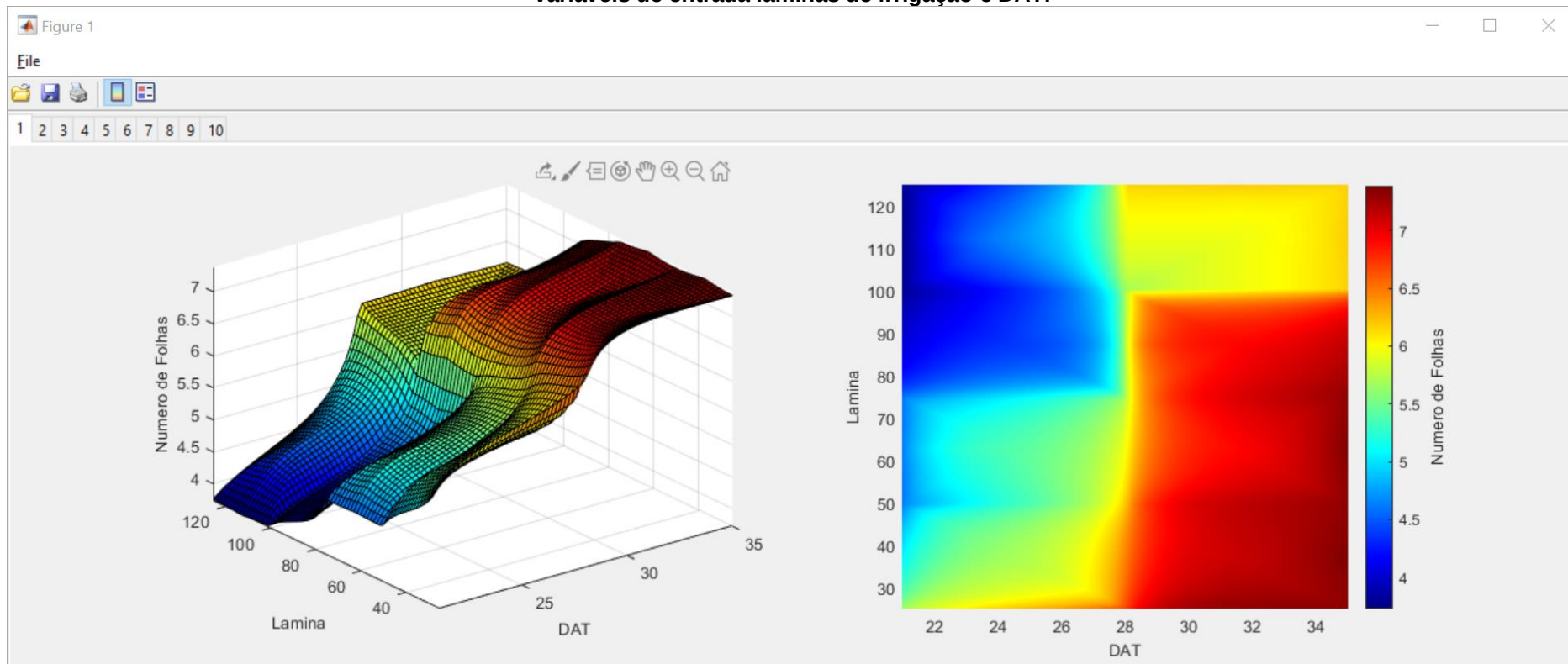


Fonte: Elaborado pelo autor.

A funcionalidade “Curvas / Superfícies” fornece todas as dez superfícies e mapas de contorno do modelo, representado efetivamente as respostas biométricas em detrimento das variáveis de entrada lâminas de irrigação e DAT (Figura 18).

Observa-se nesta figura as dez abas, cada uma delas representando um par de superfície e mapa de contorno para cada variável de saída.

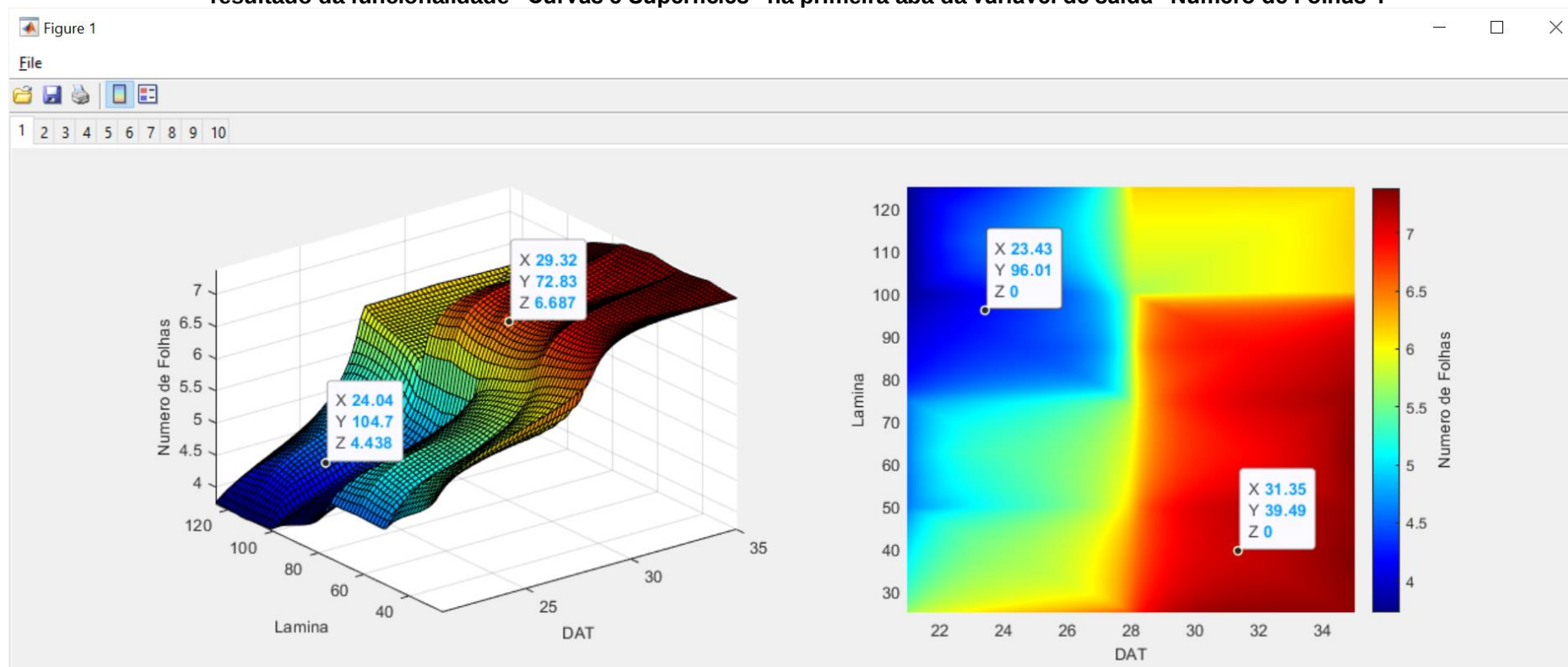
Figura 18 – Resultado da funcionalidade “Curvas / Superfícies” – Primeira aba, representando o comportamento da variável de saída “Número de Folhas” em uma superfície tridimensional, e também na forma bidimensional (mapa de contorno), considerando-se todas respostas em função das variáveis de entrada lâminas de irrigação e DAT.



Fonte: Elaborado pelo autor.

É permitido também ao usuário a seleção de pontos nos gráficos (Figura 19), tanto na superfície tridimensional, quanto no mapa bidimensional.

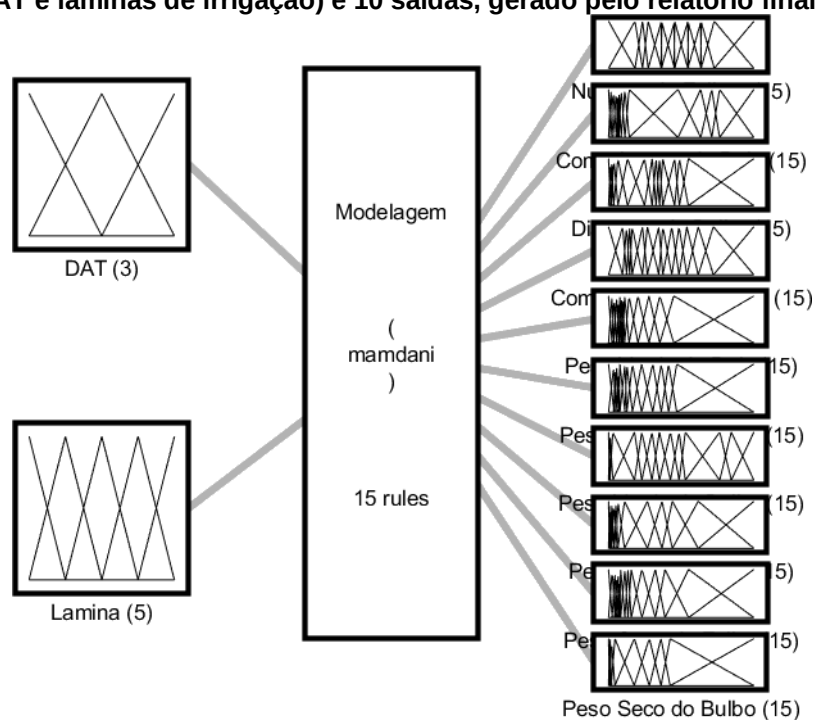
Figura 19 – Pontos selecionados pelo usuário mostrando as coordenadas (x, y, z) na superfície e (x, y) no mapa bidimensional, relativos ao resultado da funcionalidade “Curvas e Superfícies” na primeira aba da variável de saída “Número de Folhas”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O menu “Gravar Resultados” realiza a gravação de todas figuras, tais como: a estrutura geral do modelo (Figura 20), as funções de pertinência (Figura 21), os mosaicos de superfícies tridimensionais (Figura 22), os mosaicos de mapas de contorno (Figura 23) e as superfícies tridimensionais com os respectivos mapas de contorno (Figura 24) do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

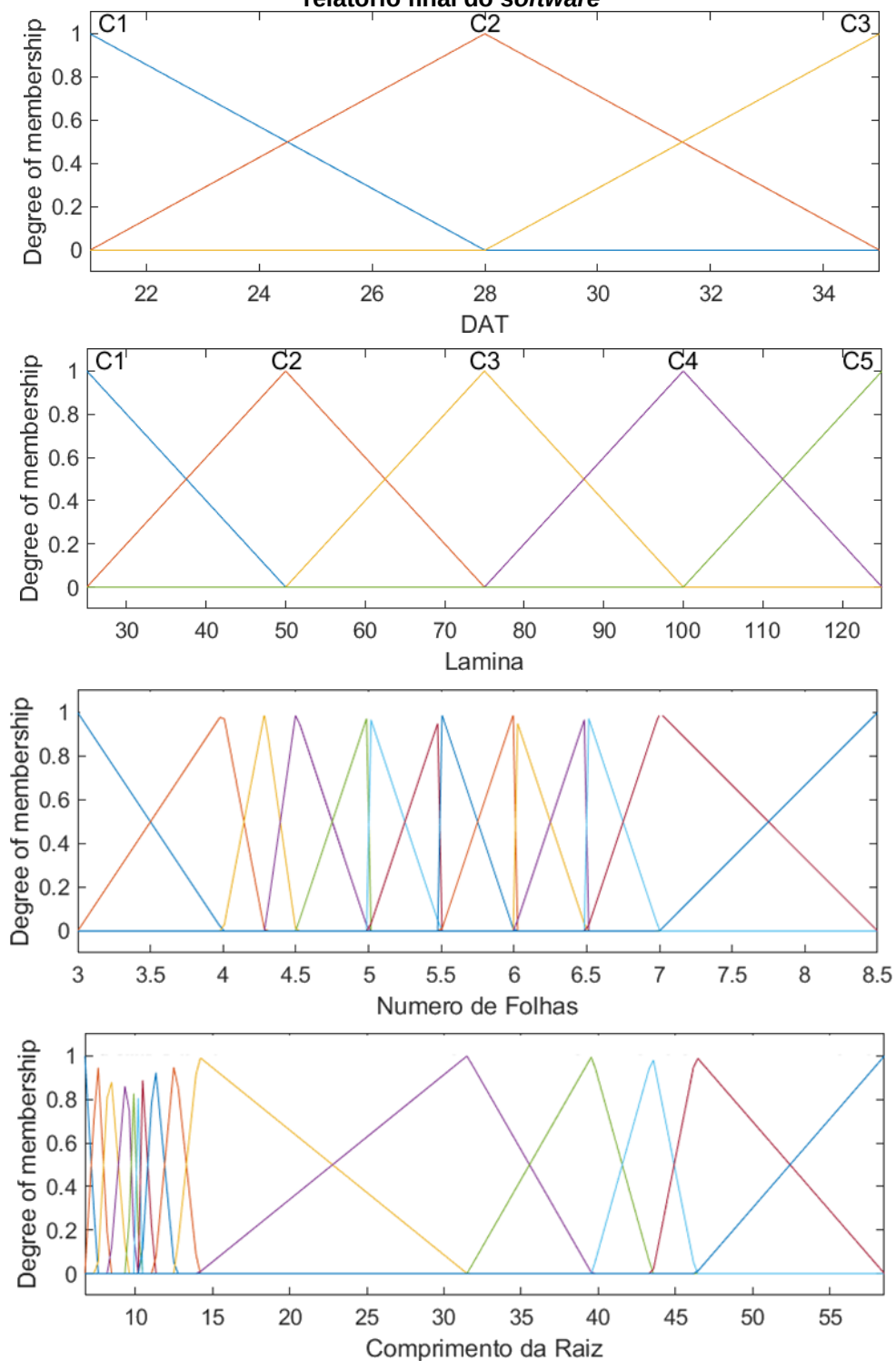
Figura 20 – Estrutura geral do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

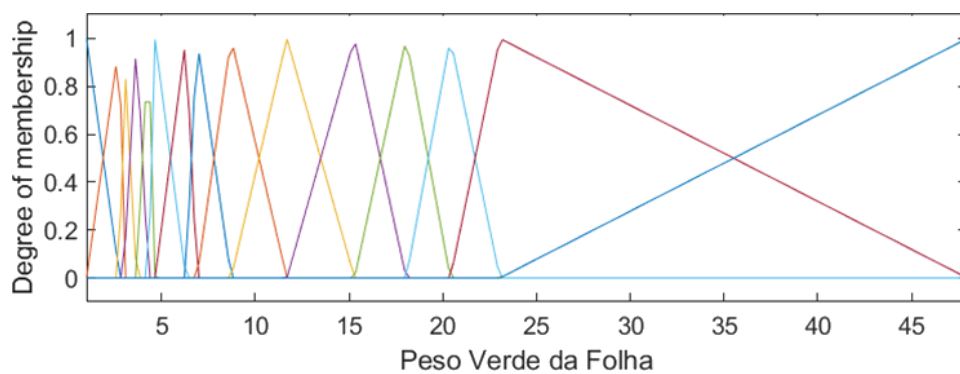
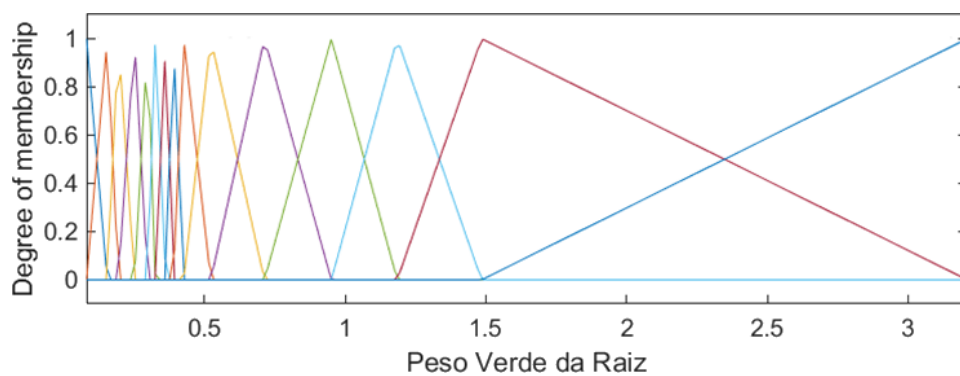
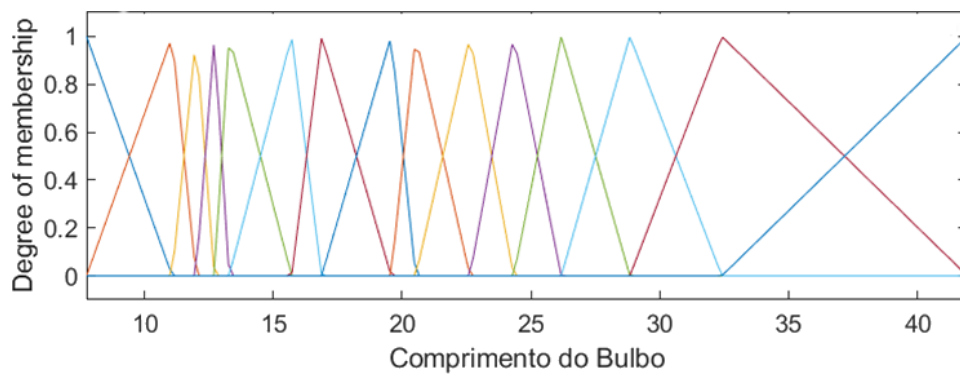
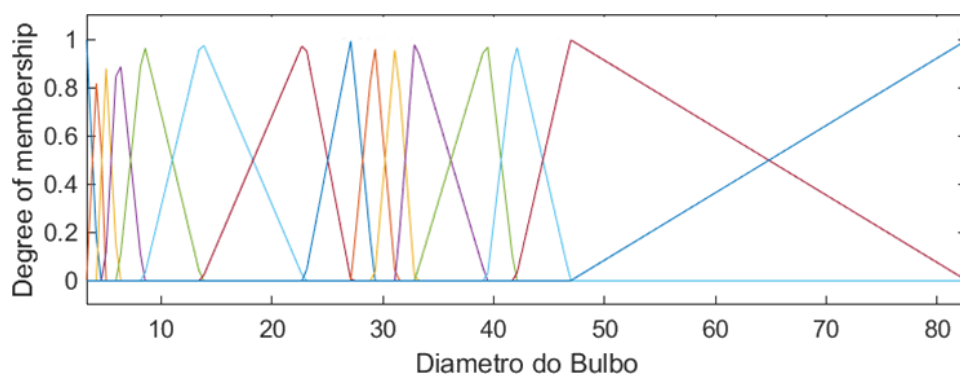


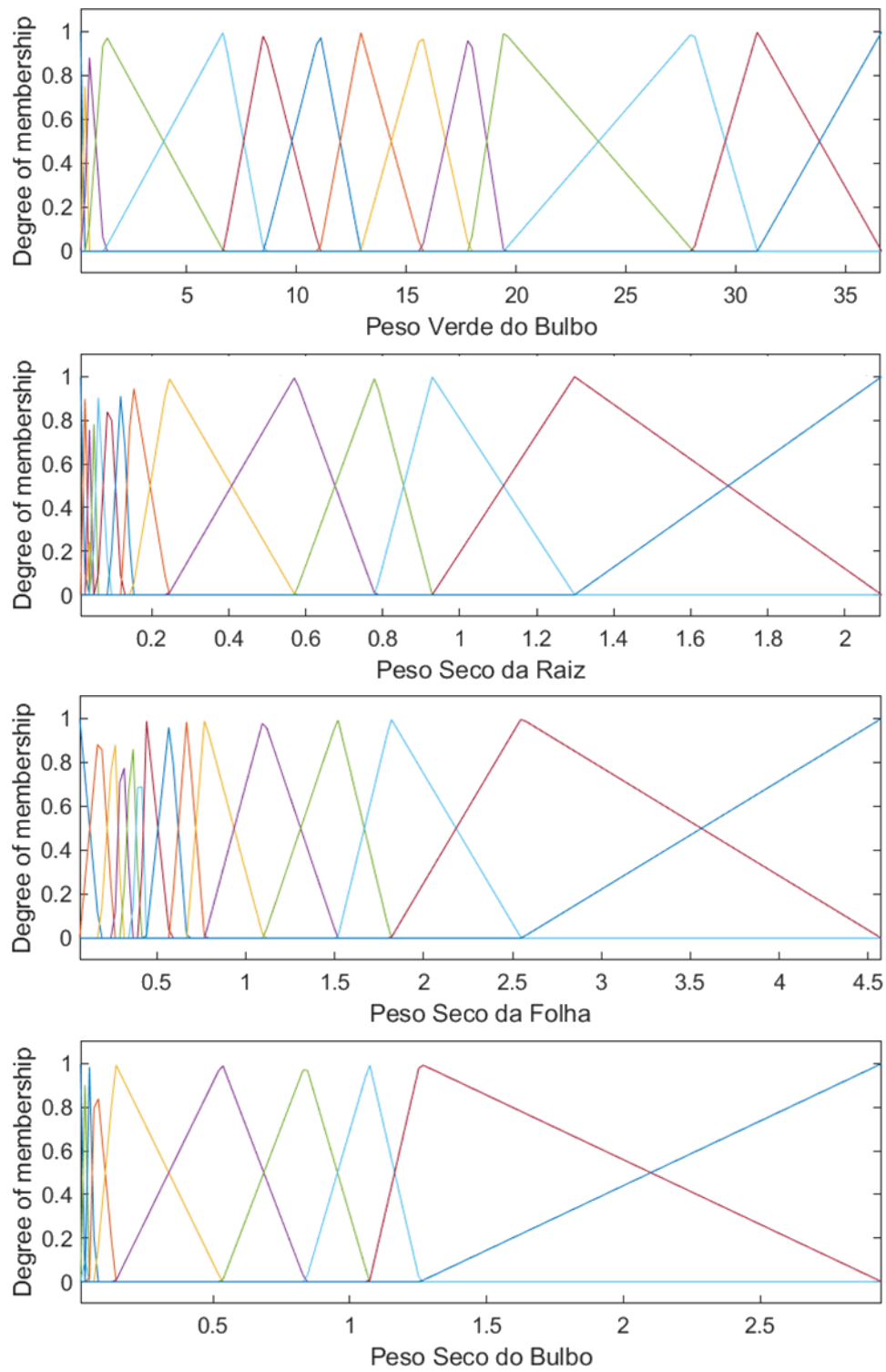
System Modelagem: 2 inputs, 10 outputs, 15 rules

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do software

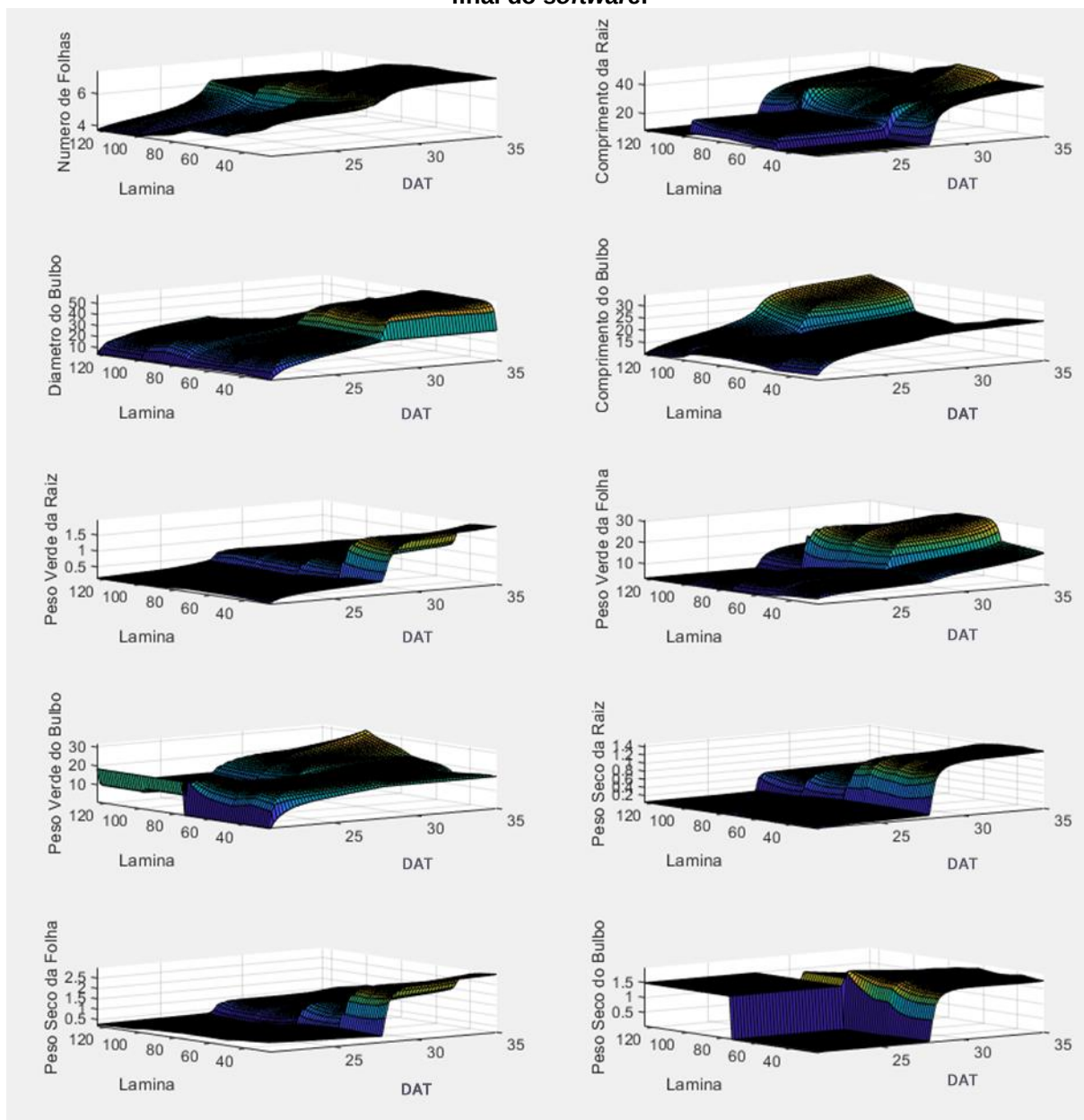






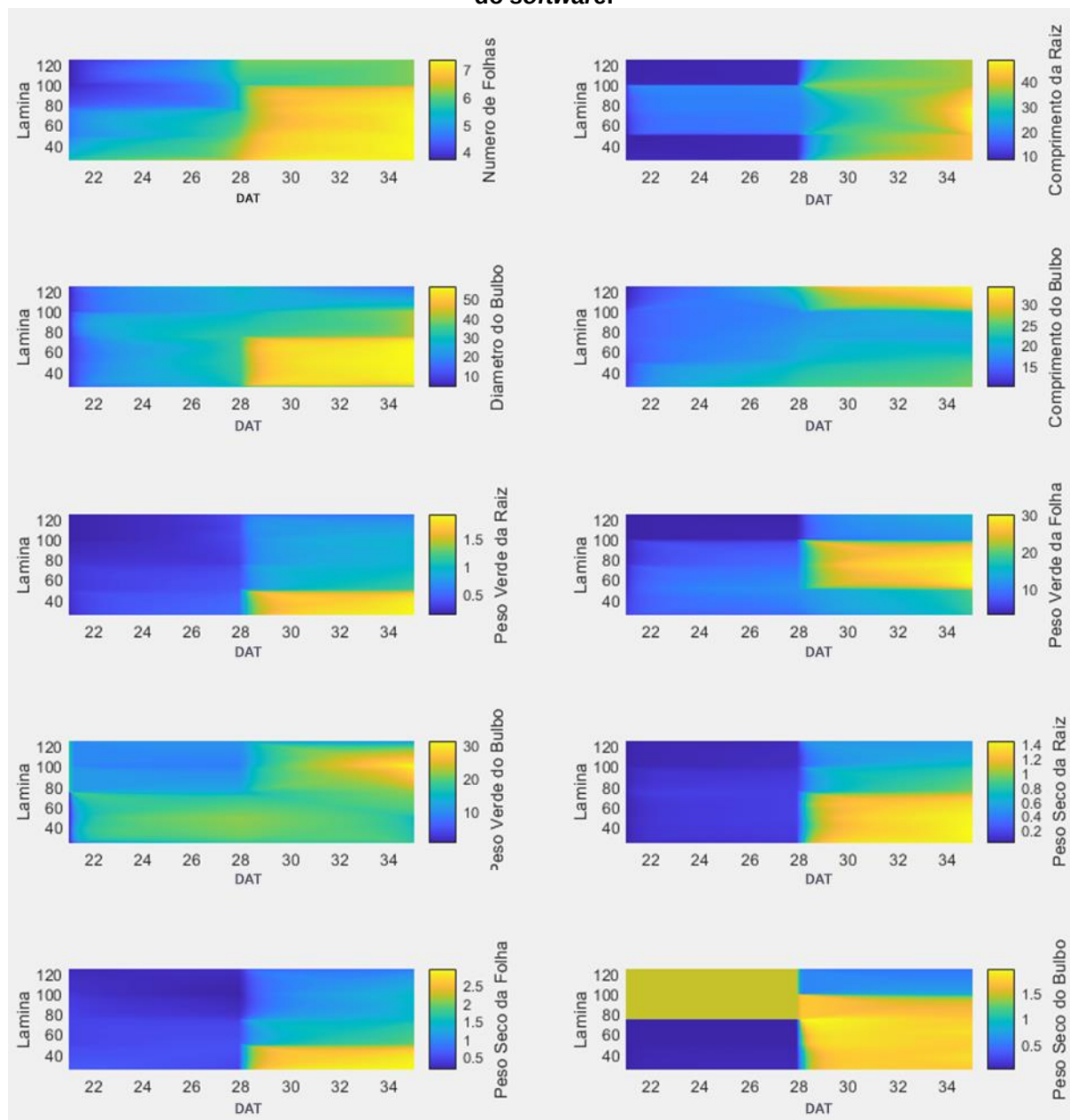
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 – Mosaico de superfícies tridimensionais do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.



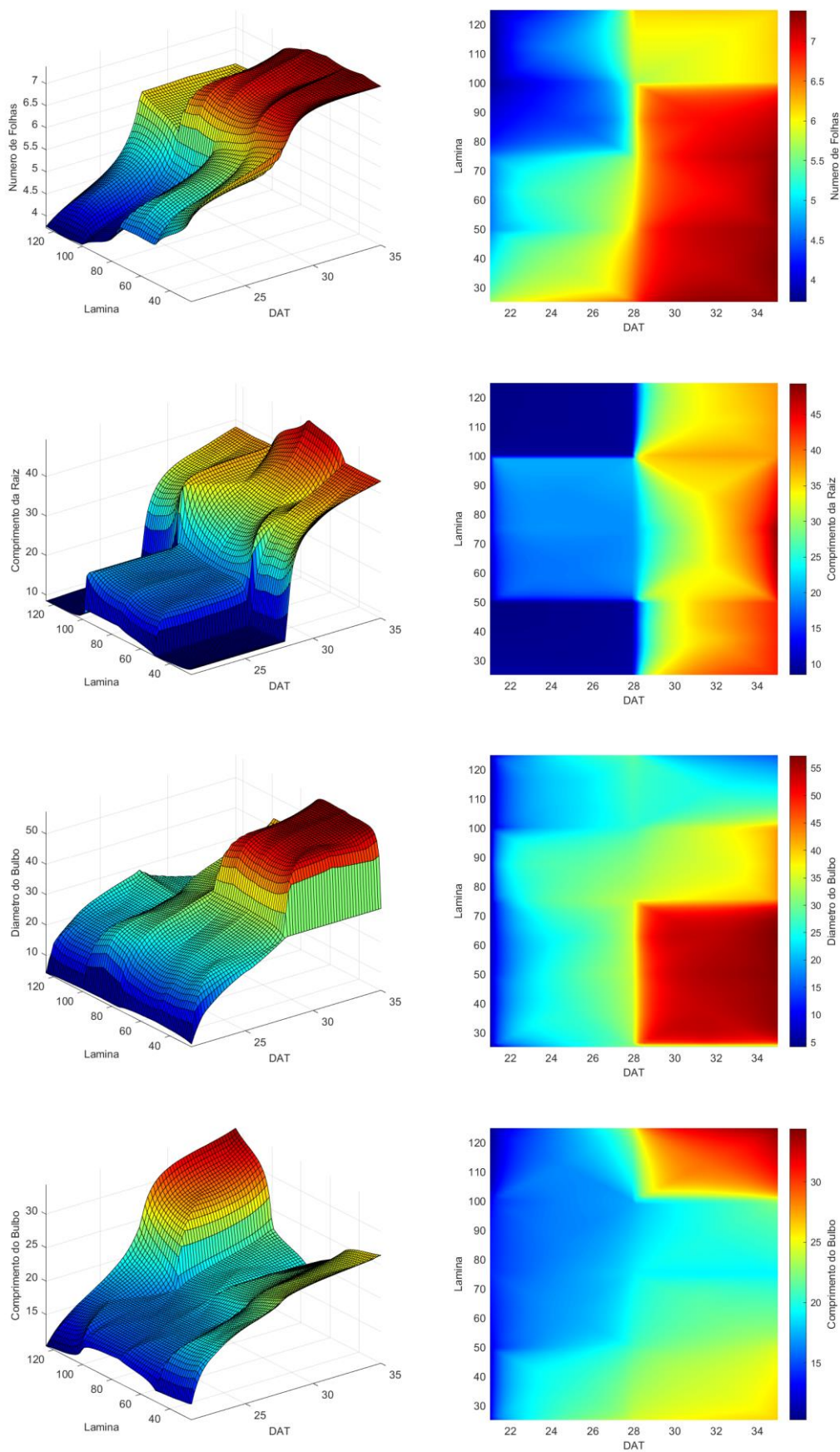
Fonte: Elaborado pelo autor.

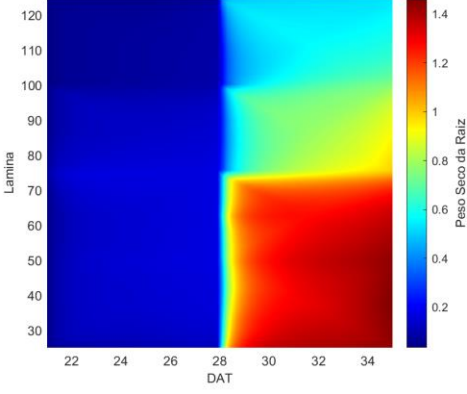
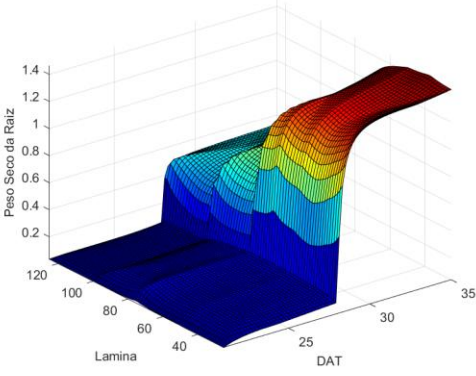
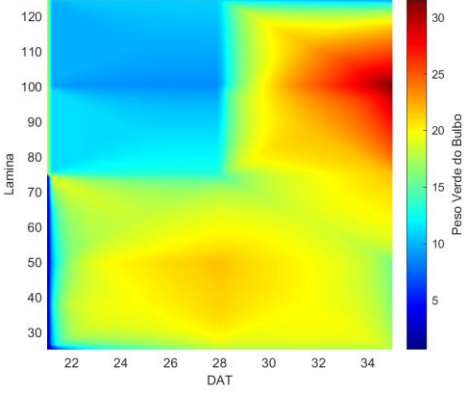
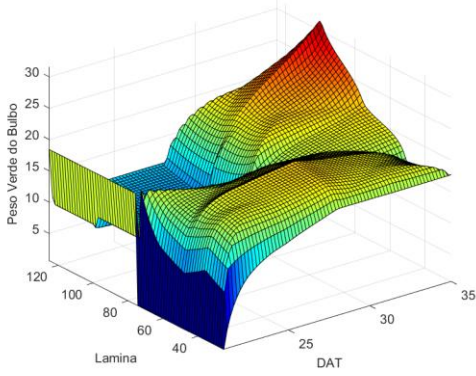
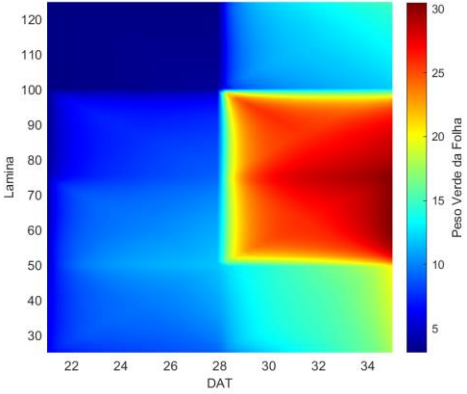
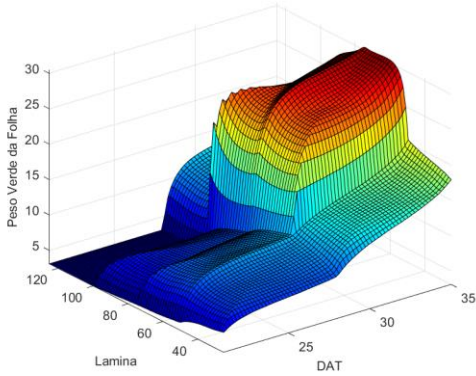
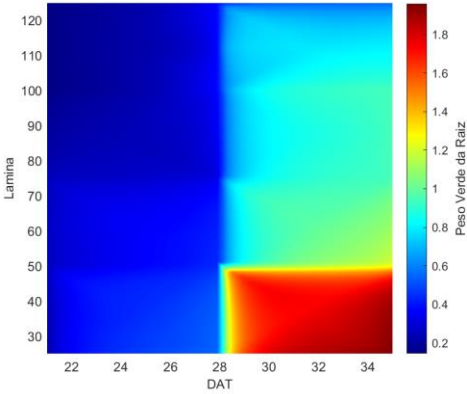
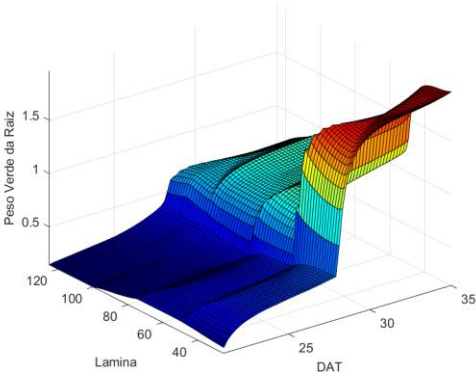
Figura 23 – Mosaico de mapas de contorno do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do software.

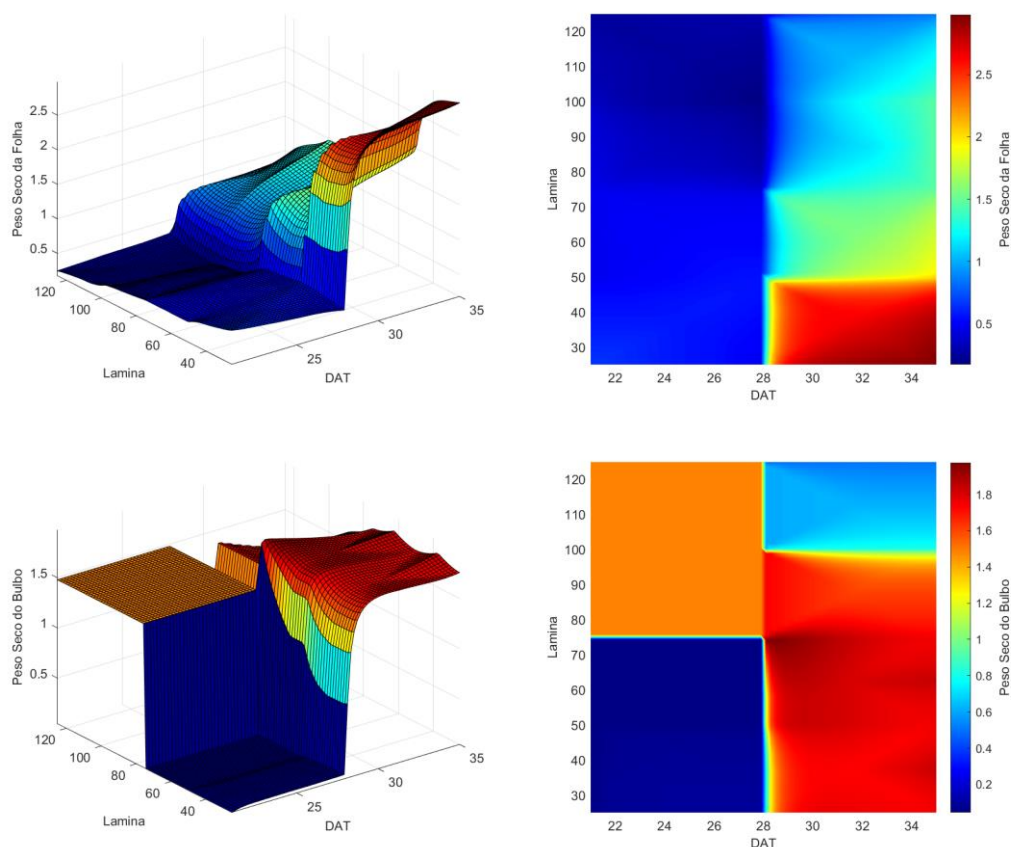


Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 – Superfícies tridimensionais com respectivos mapas de contorno do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.







Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disto, o menu gera planilhas em formato Microsoft Excel contendo todos parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída (Tabela 4), bem como todos intervalos das variáveis de entrada e saída (Tabela 5) e a base de regras (Tabela 6).

Tabela 4 – Planilhas gerada pelo relatório final do *software* contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída do modelo *fuzzy*.

Intervalos de pertinência de entrada e saída do modelo fuzzy.					
Variável	Conjunto Fuzzy	Delimitador 1	Delimitador 2	Delimitador 3	
Entrada	1	C1	20	21	28
	1	C2	21	28	35
	1	C3	28	35	36
	2	C1	24	25	50
	2	C2	25	50	75
	2	C3	50	75	100
	2	C4	75	100	125
	2	C5	100	125	126
Saída	1	C1	2,00	3,00	4,00
	1	C2	3,00	4,00	4,29
	1	C3	4,00	4,29	4,50
	1	C4	4,29	4,50	5,00
	1	C5	4,50	5,00	5,00
	1	C6	5,00	5,00	5,50
	1	C7	5,00	5,50	5,50
	1	C8	5,50	5,50	6,00
	1	C9	5,50	6,00	6,00
	1	C10	6,00	6,00	6,50
	1	C11	6,00	6,50	6,50
	1	C12	6,50	6,50	6,50
	1	C13	6,50	6,50	7,00
	1	C14	6,50	7,00	8,50
	1	C15	7,00	8,50	9,50
	2	C1	5,75	6,75	7,57
	2	C2	6,75	7,57	8,34
	2	C3	7,57	8,34	9,50
	2	C4	8,34	9,50	10,00
	2	C5	9,50	10,00	10,25
	2	C6	10,00	10,25	10,39
	2	C7	10,25	10,39	11,25
	2	C8	10,39	11,25	12,57
	2	C9	11,25	12,57	14,07
	2	C10	12,57	14,07	31,50
	2	C11	14,07	31,50	39,58
	2	C12	31,50	39,58	43,51
	2	C13	39,58	43,51	46,30
	2	C14	43,51	46,30	58,52
	2	C15	46,30	58,52	59,52
	3	C1	2,28	3,28	4,36
	3	C2	3,28	4,36	4,90
	3	C3	4,36	4,90	6,11
	3	C4	4,90	6,11	8,39
	3	C5	6,11	8,39	13,65
	3	C6	8,39	13,65	22,95
3	C7	13,65	22,95	27,14	
3	C8	22,95	27,14	29,24	
3	C9	27,14	29,24	31,17	
3	C10	29,24	31,17	32,88	
3	C11	31,17	32,88	39,39	
3	C12	32,88	39,39	41,95	

3	C13	39,39	41,95	46,93
3	C14	41,95	46,93	82,72
3	C15	46,93	82,72	83,72
4	C1	6,75	7,75	11,07
4	C2	7,75	11,07	12,00
4	C3	11,07	12,00	12,71
4	C4	12,00	12,71	13,29
4	C5	12,71	13,29	15,71
4	C6	13,29	15,71	16,88
4	C7	15,71	16,88	19,58
4	C8	16,88	19,58	20,53
4	C9	19,58	20,53	22,64
4	C10	20,53	22,64	24,33
4	C11	22,64	24,33	26,18
4	C12	24,33	26,18	28,84
4	C13	26,18	28,84	32,41
4	C14	28,84	32,41	41,94
4	C15	32,41	41,94	42,94
5	C1	-0,92	0,08	0,15
5	C2	0,08	0,15	0,19
5	C3	0,15	0,19	0,25
5	C4	0,19	0,25	0,30
5	C5	0,25	0,30	0,33
5	C6	0,30	0,33	0,36
5	C7	0,33	0,36	0,39
5	C8	0,36	0,39	0,43
5	C9	0,39	0,43	0,52
5	C10	0,43	0,52	0,71
5	C11	0,52	0,71	0,95
5	C12	0,71	0,95	1,19
5	C13	0,95	1,19	1,48
5	C14	1,19	1,48	3,21
5	C15	1,48	3,21	4,21
6	C1	0,01	1,01	2,78
6	C2	1,01	2,78	2,97
6	C3	2,78	2,97	3,67
6	C4	2,97	3,67	4,30
6	C5	3,67	4,30	4,66
6	C6	4,30	4,66	6,30
6	C7	4,66	6,30	6,89
6	C8	6,30	6,89	8,72
6	C9	6,89	8,72	11,69
6	C10	8,72	11,69	15,30
6	C11	11,69	15,30	18,06
6	C12	15,30	18,06	20,41
6	C13	18,06	20,41	23,05
6	C14	20,41	23,05	47,97
6	C15	23,05	47,97	48,97
7	C1	-0,82	0,18	0,27
7	C2	0,18	0,27	0,34
7	C3	0,27	0,34	0,49
7	C4	0,34	0,49	1,24

7	C5	0,49	1,24	6,68
7	C6	1,24	6,68	8,52
7	C7	6,68	8,52	11,07
7	C8	8,52	11,07	12,93
7	C9	11,07	12,93	15,70
7	C10	12,93	15,70	17,89
7	C11	15,70	17,89	19,44
7	C12	17,89	19,44	28,07
7	C13	19,44	28,07	30,98
7	C14	28,07	30,98	36,65
7	C15	30,98	36,65	37,65
8	C1	-0,99	0,01	0,03
8	C2	0,01	0,03	0,03
8	C3	0,03	0,03	0,04
8	C4	0,03	0,04	0,05
8	C5	0,04	0,05	0,06
8	C6	0,05	0,06	0,09
8	C7	0,06	0,09	0,12
8	C8	0,09	0,12	0,15
8	C9	0,12	0,15	0,24
8	C10	0,15	0,24	0,57
8	C11	0,24	0,57	0,78
8	C12	0,57	0,78	0,93
8	C13	0,78	0,93	1,30
8	C14	0,93	1,30	2,10
8	C15	1,30	2,10	3,10
9	C1	-0,93	0,07	0,18
9	C2	0,07	0,18	0,26
9	C3	0,18	0,26	0,30
9	C4	0,26	0,30	0,36
9	C5	0,30	0,36	0,41
9	C6	0,36	0,41	0,44
9	C7	0,41	0,44	0,57
9	C8	0,44	0,57	0,67
9	C9	0,57	0,67	0,77
9	C10	0,67	0,77	1,10
9	C11	0,77	1,10	1,52
9	C12	1,10	1,52	1,82
9	C13	1,52	1,82	2,55
9	C14	1,82	2,55	4,57
9	C15	2,55	4,57	5,57
10	C1	-0,98	0,02	0,02
10	C2	0,02	0,02	0,03
10	C3	0,02	0,03	0,03
10	C4	0,03	0,03	0,03
10	C5	0,03	0,03	0,03
10	C6	0,03	0,03	0,04
10	C7	0,03	0,04	0,05
10	C8	0,04	0,05	0,07
10	C9	0,05	0,07	0,14
10	C10	0,07	0,14	0,53
10	C11	0,14	0,53	0,84

10	C12	0,53	0,84	1,07
10	C13	0,84	1,07	1,26
10	C14	1,07	1,26	2,94
10	C15	1,26	2,94	3,94

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 – Planilhas gerada pelo relatório final do software com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.

Variável		Limite inferior	Limite Superior
Entrada	1	21	35
	2	25	125
Saída	1	3	8,5
	2	6,75	58,52
	3	3,28	82,715
	4	7,75	41,94
	5	0,08125	3,21085
	6	1,00635	47,9735
	7	0,17665	36,64615
	8	0,0145	2,0962
	9	0,0668	4,5735
	10	0,01575	2,94475

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 – Planilhas gerada pelo relatório final do software contendo a base de regras do modelo fuzzy.

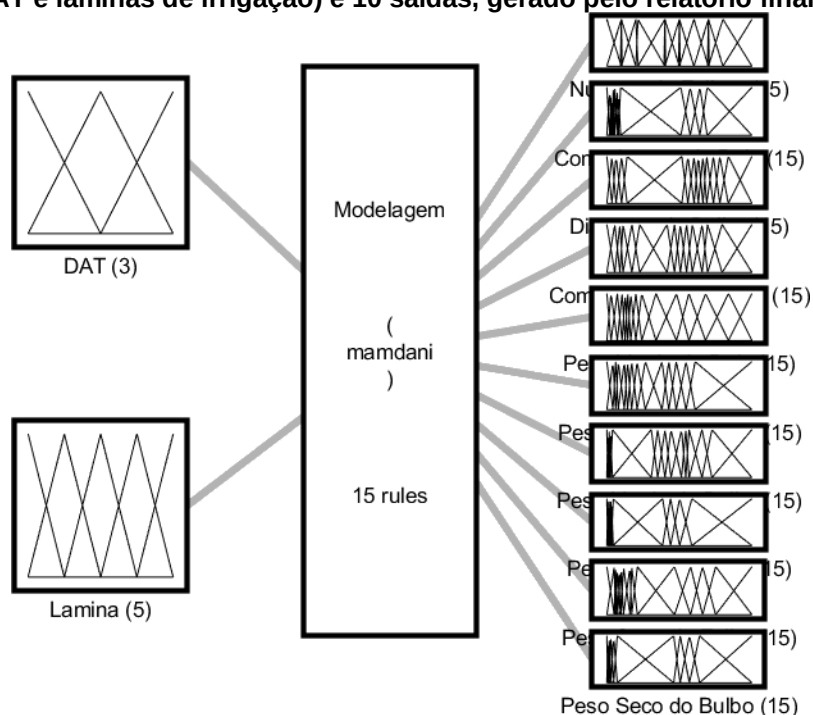
Regras	Entrada		Saída									
	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	8	5	3	4	3	7	4	3	9	7
2	1	2	4	3	4	3	4	5	4	4	7	8
3	1	3	4	8	3	5	4	4	3	5	7	5
4	1	4	2	6	3	4	2	3	3	3	5	5
5	1	5	2	3	2	2	2	3	3	3	3	3
6	2	1	13	5	10	11	10	9	11	8	7	9
7	2	2	10	4	11	9	9	10	12	9	8	8
8	2	3	8	10	11	8	6	9	9	9	6	3
9	2	4	8	6	8	7	8	4	7	7	2	5
10	2	5	10	4	9	11	8	3	8	5	4	5
11	3	1	14	13	10	12	14	12	11	14	14	14
12	3	2	14	13	14	11	13	13	10	14	13	14
13	3	3	14	14	13	8	12	14	12	13	12	14
14	3	4	10	12	13	10	12	10	14	12	12	12
15	3	5	10	12	6	14	10	11	7	11	10	11

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.1.2 Resultados para irrigação com ATM

Tal como na seção anterior, é possível observar todos os resultados do presente modelo, tais como a estrutura geral do modelo (Figura 25), as funções de pertinência (Figura 26), os mosaicos de superfícies tridimensionais (Figura 27), os mosaicos de mapas de contorno (Figura 28) e as superfícies tridimensionais com os respectivos mapas de contorno (Figura 29) do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete irrigado com ATM, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

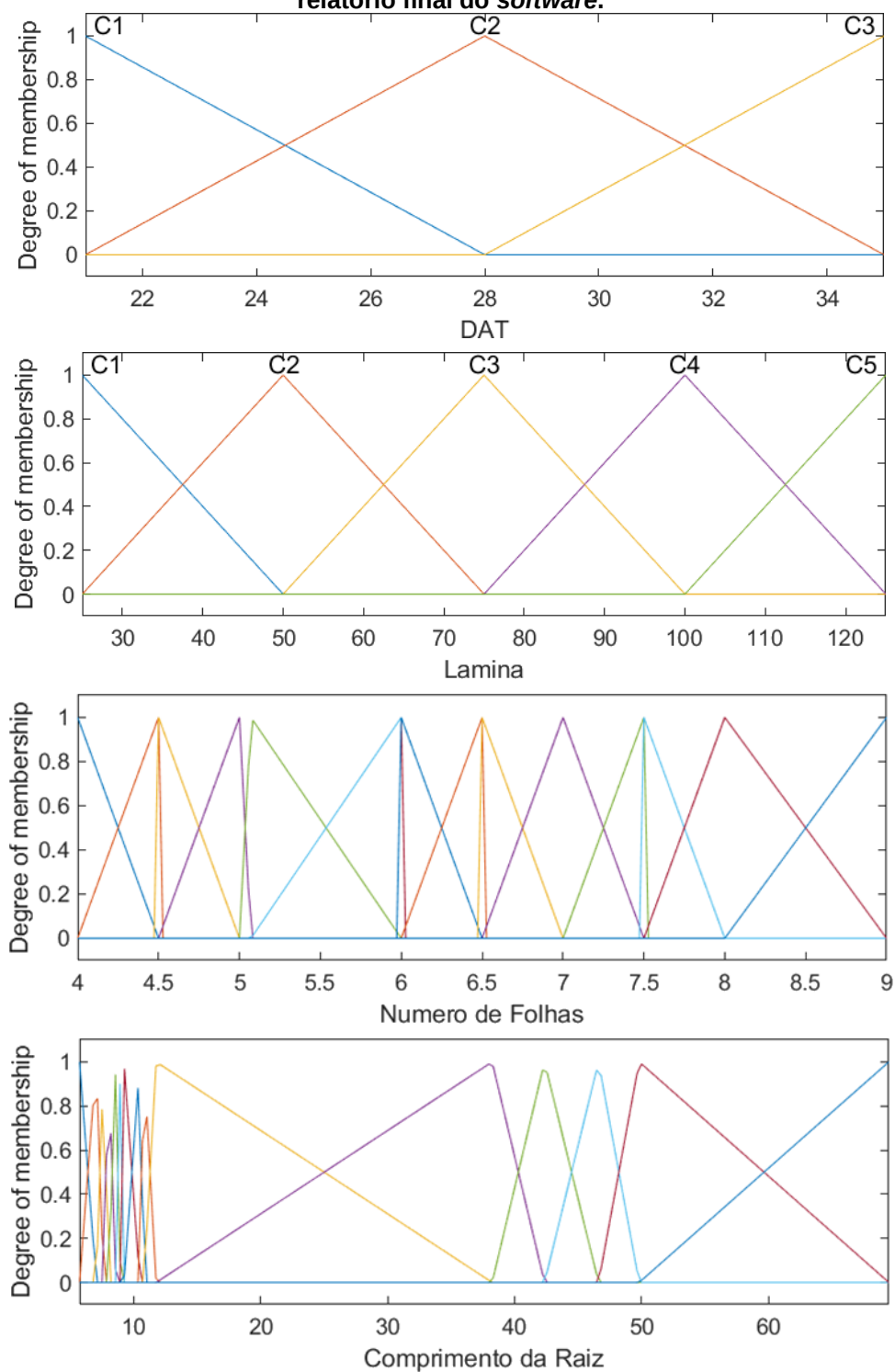
Figura 25 – Estrutura geral do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

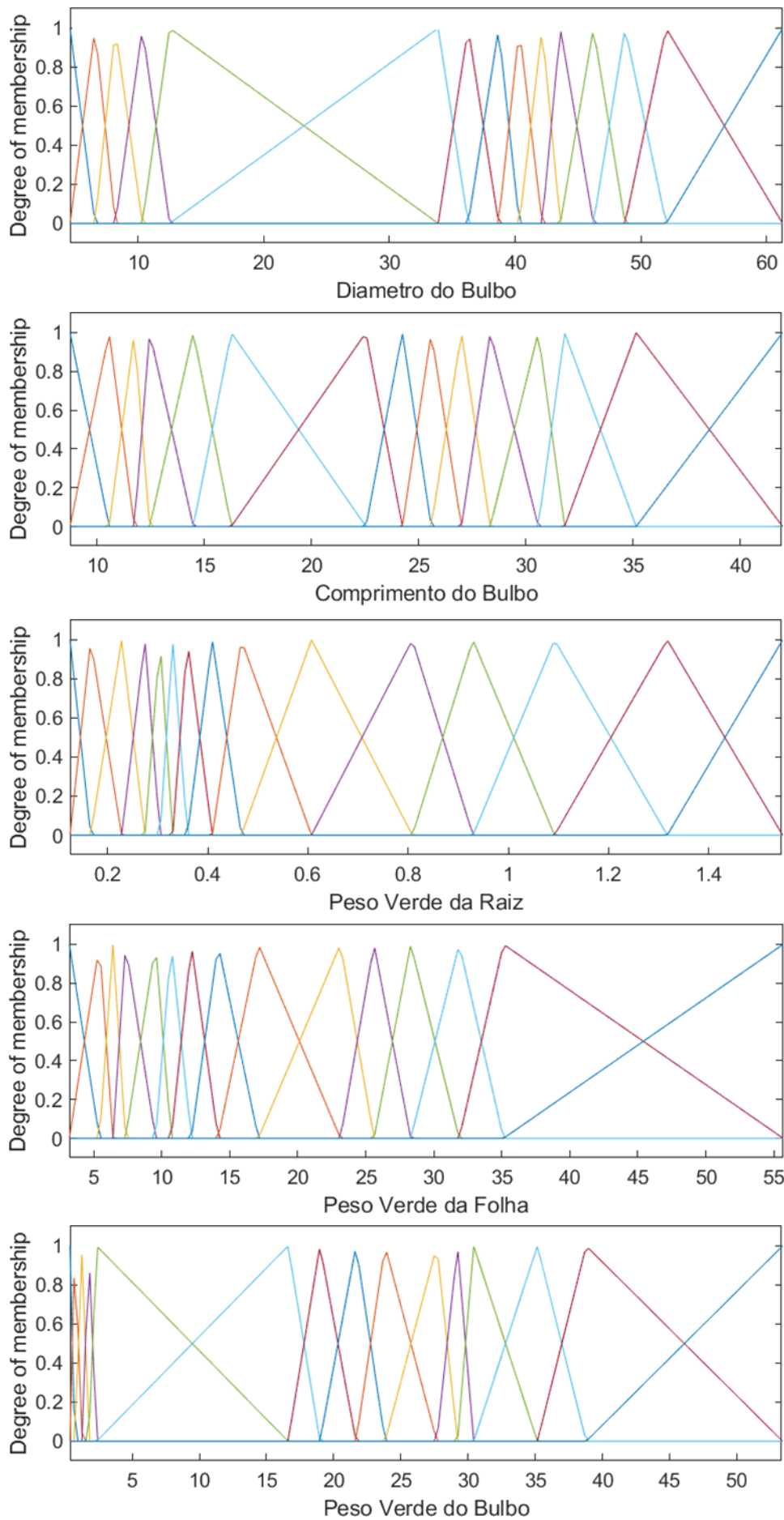


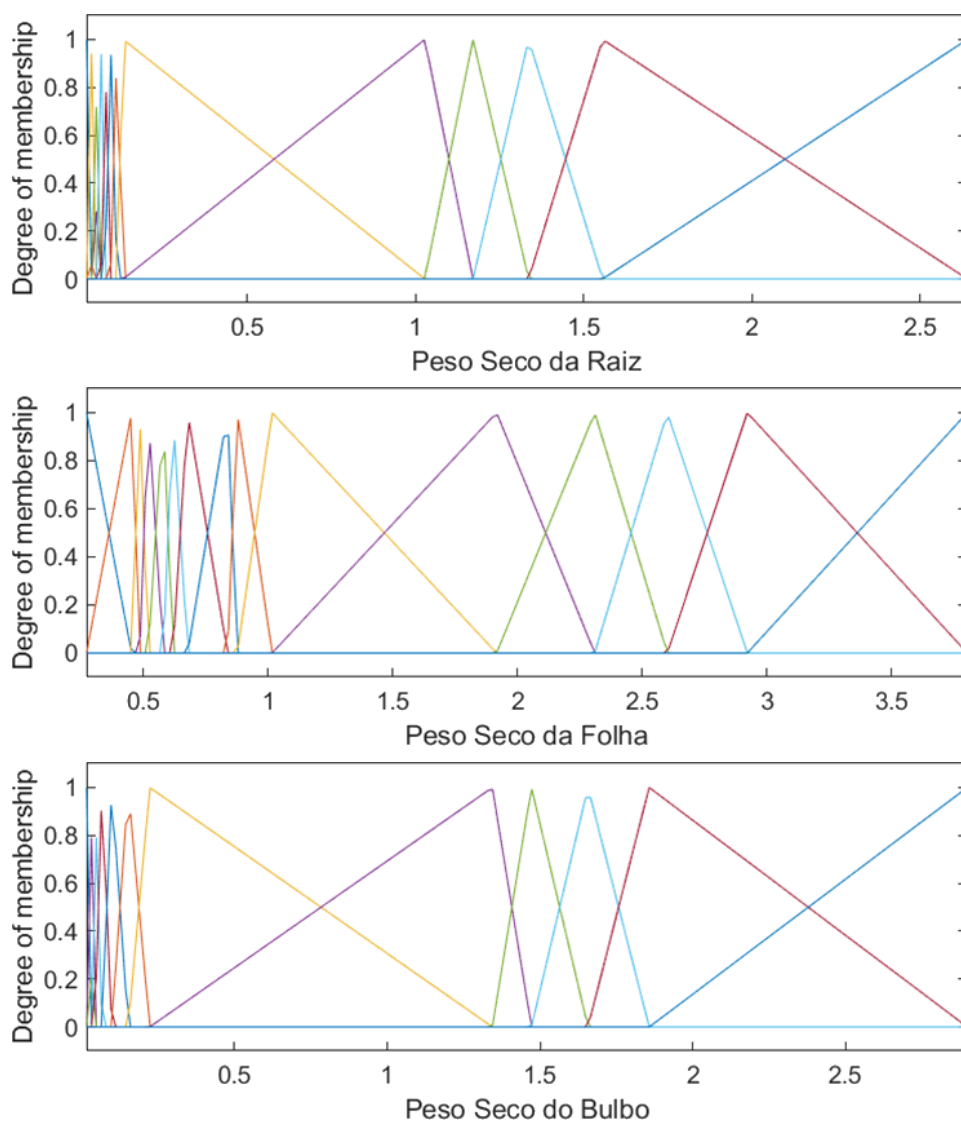
System Modelagem: 2 inputs, 10 outputs, 15 rules

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

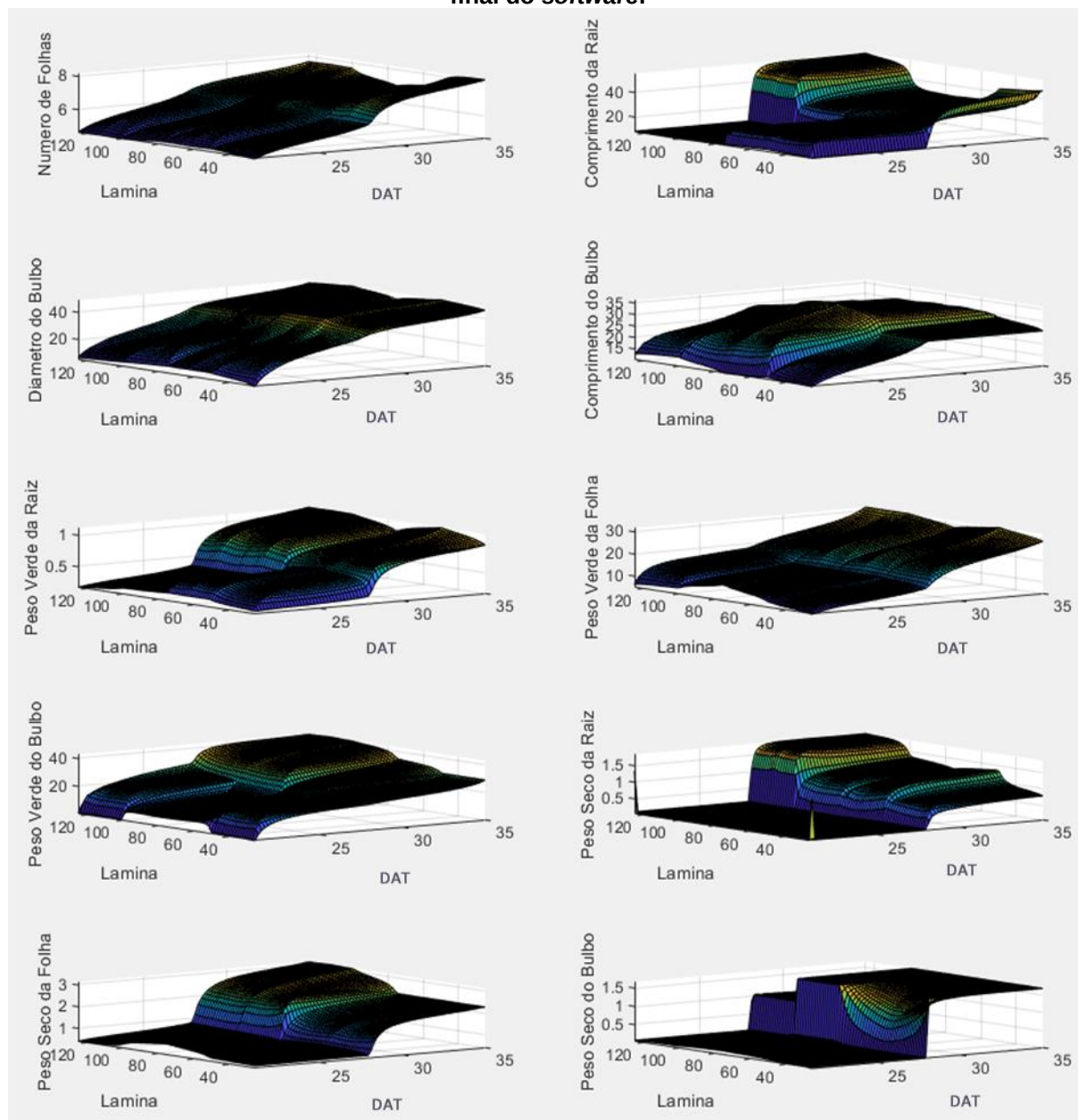






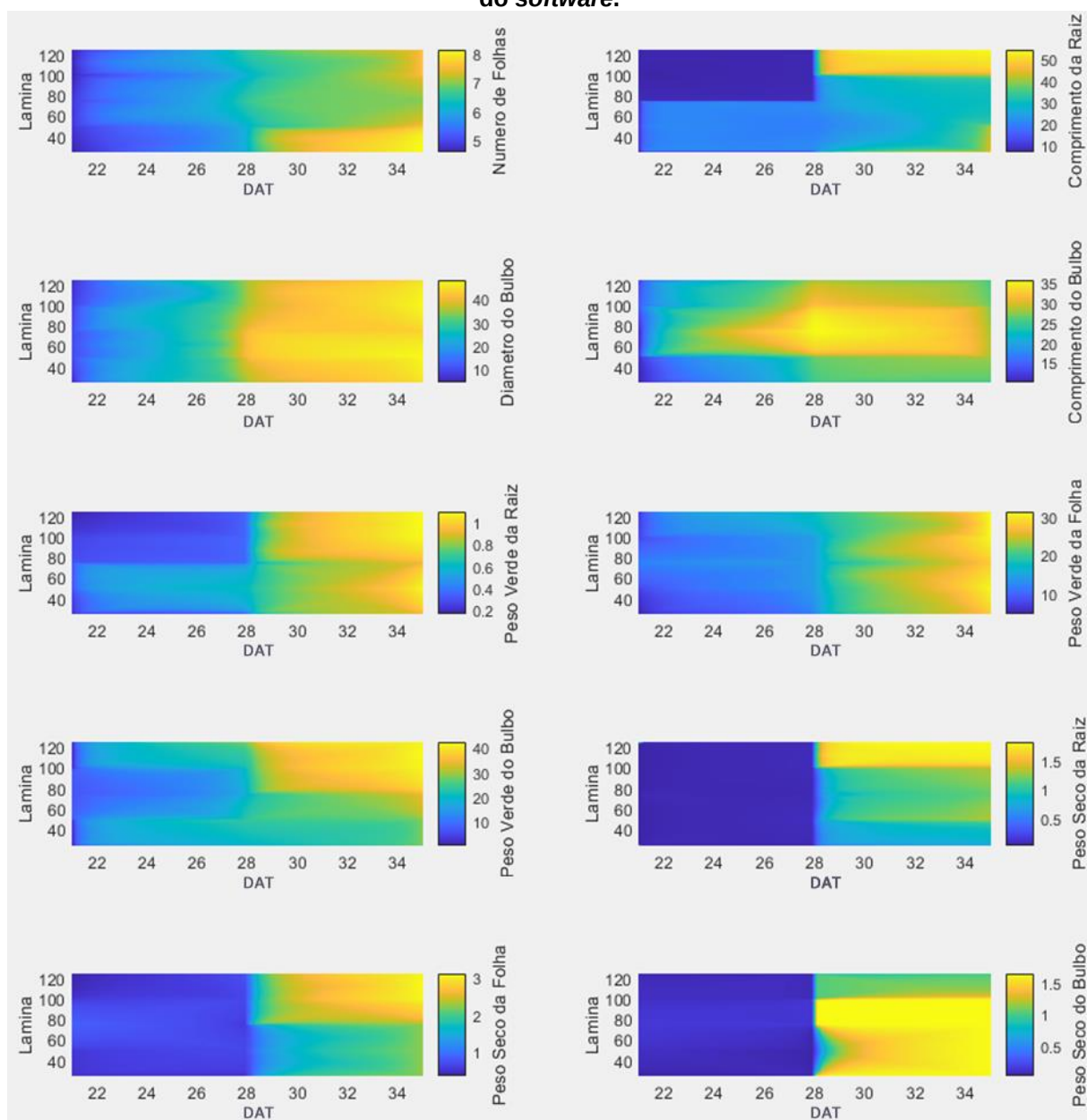
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 – Mosaico de superfícies tridimensionais do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.



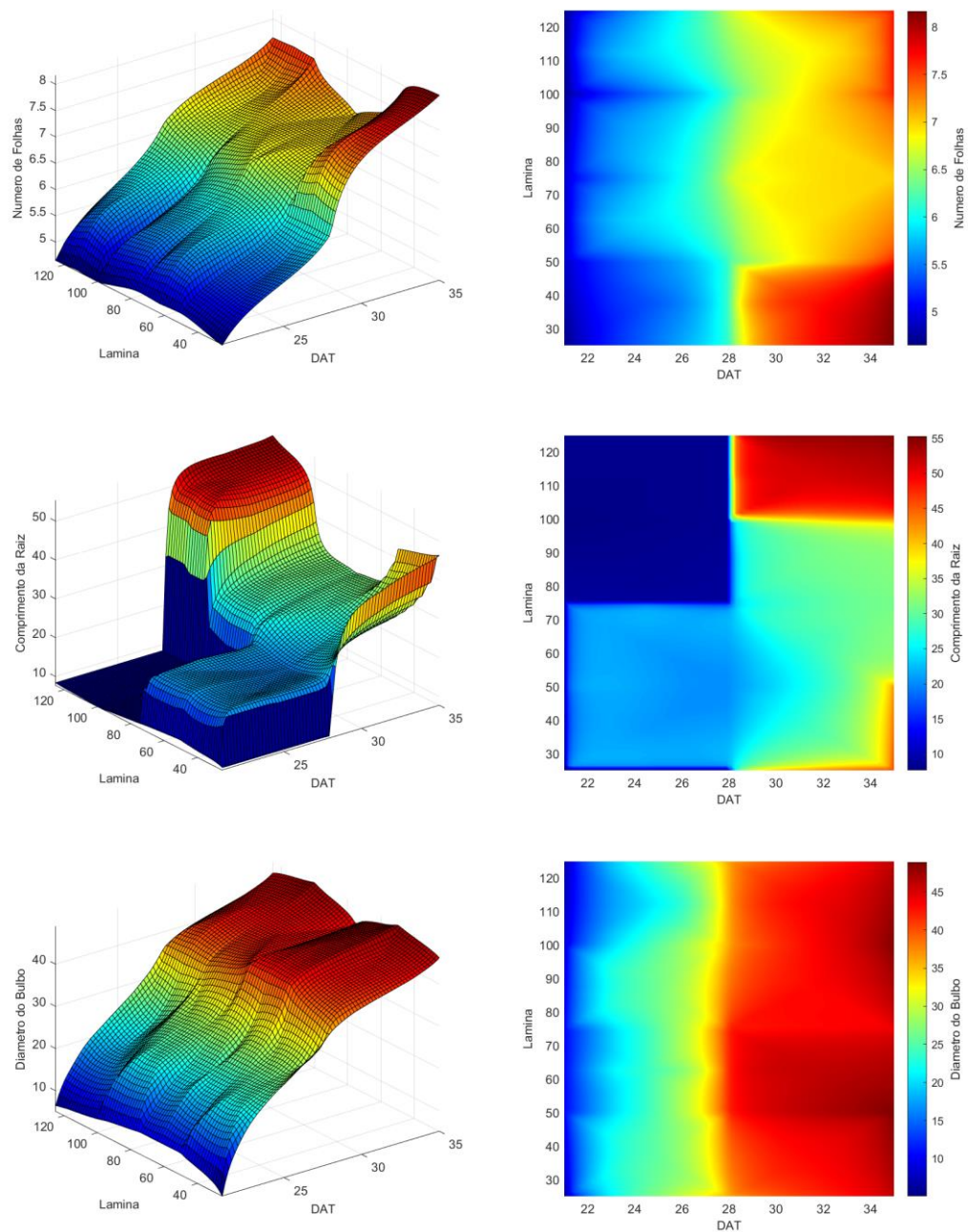
Fonte: Elaborado pelo autor.

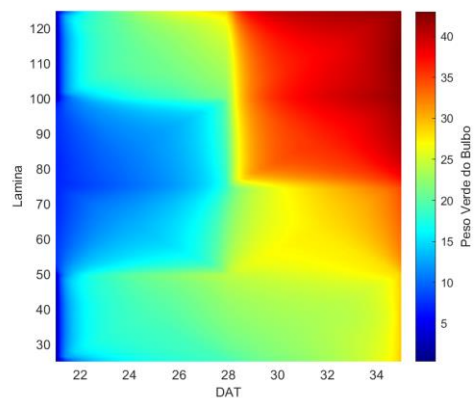
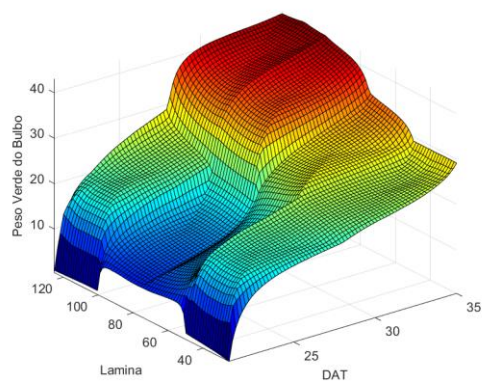
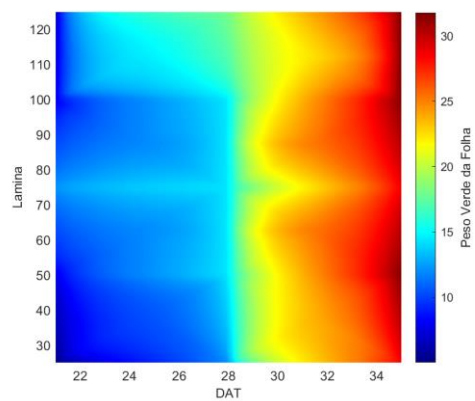
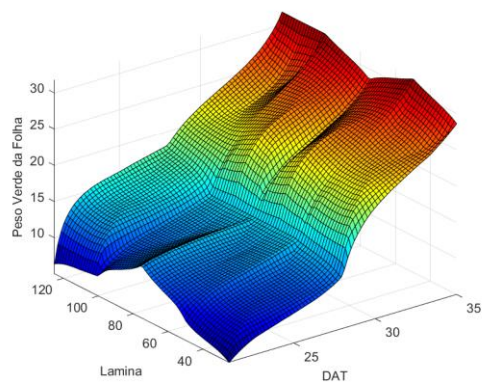
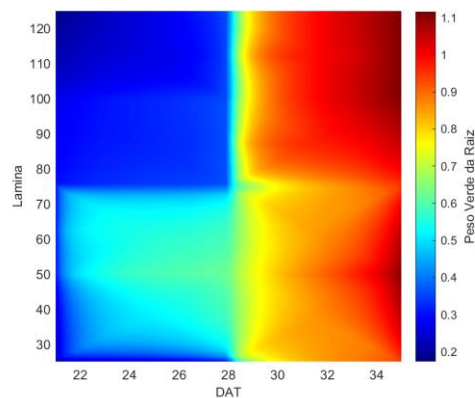
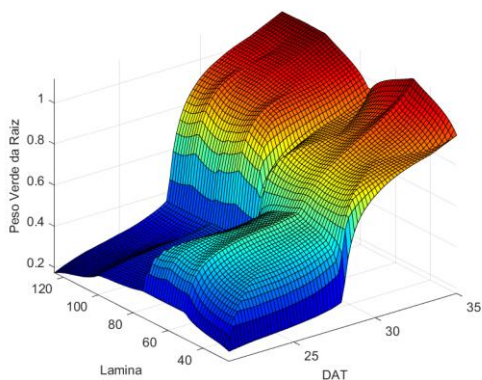
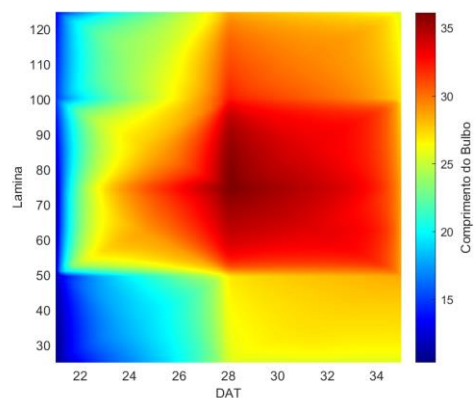
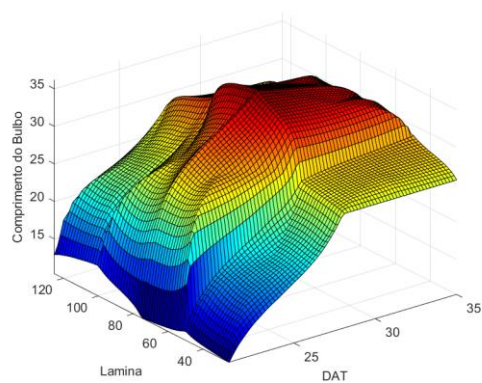
Figura 28 – Mosaico de mapas de contorno do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do software.

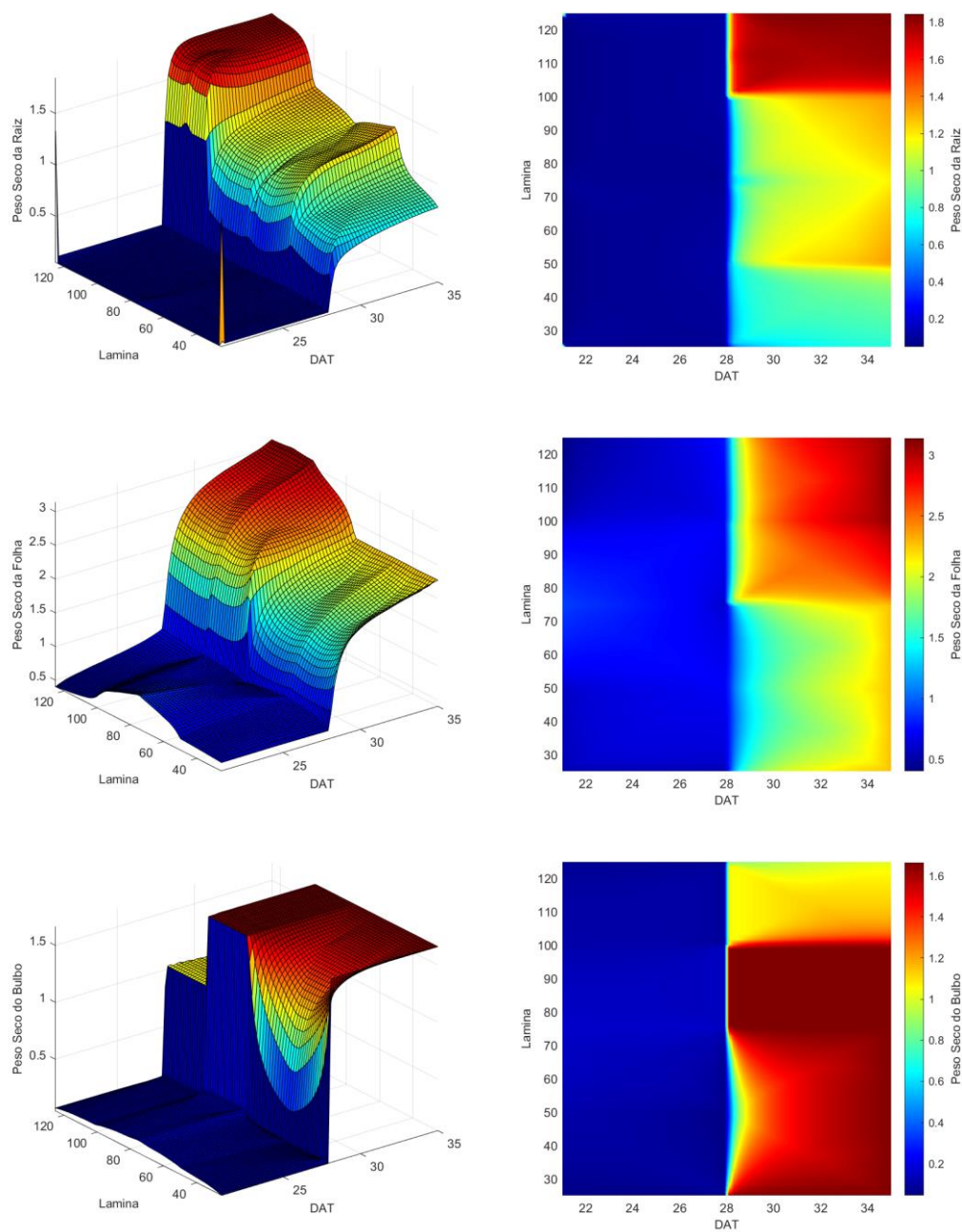


Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 – Superfícies tridimensionais com os respectivos mapas de contorno do modelo fuzzy das variáveis biométricas do rabanete, com 2 entradas (DAT e lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do software.







Fonte: Elaborado pelo autor.

As tabelas geradas consistem nos parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída (Tabela 7), em todos intervalos das variáveis de entrada e saída (Tabela 8) e na base de regras (Tabela 9).

Tabela 7 – Planilhas gerada pelo relatório final do *software* contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída do modelo *fuzzy*.

Variável	Conjunto <i>Fuzzy</i>	Delimitador 1	Delimitador 2	Delimitador 3
Entrada	1 C1	20	21	28
	1 C2	21	28	35
	1 C3	28	35	36
	2 C1	24	25	50
	2 C2	25	50	75
	2 C3	50	75	100
	2 C4	75	100	125
	2 C5	100	125	126
Saída	1 C1	3,00	4,00	4,50
	1 C2	4,00	4,50	4,50
	1 C3	4,50	4,50	5,00
	1 C4	4,50	5,00	5,07
	1 C5	5,00	5,07	6,00
	1 C6	5,07	6,00	6,00
	1 C7	6,00	6,00	6,00
	1 C8	6,00	6,00	6,50
	1 C9	6,00	6,50	6,50
	1 C10	6,50	6,50	7,00
	1 C11	6,50	7,00	7,50
	1 C12	7,00	7,50	7,50
	1 C13	7,50	7,50	8,00
	1 C14	7,50	8,00	9,00
	1 C15	8,00	9,00	10,00
	2 C1	4,75	5,75	7,07
	2 C2	5,75	7,07	7,64
	2 C3	7,07	7,64	8,04
	2 C4	7,64	8,04	8,61
	2 C5	8,04	8,61	8,97
	2 C6	8,61	8,97	9,25
	2 C7	8,97	9,25	10,50
	2 C8	9,25	10,50	10,82
	2 C9	10,50	10,82	11,79
	2 C10	10,82	11,79	38,24
	2 C11	11,79	38,24	42,36
	2 C12	38,24	42,36	46,62
	2 C13	42,36	46,62	49,81
	2 C14	46,62	49,81	69,47
	2 C15	49,81	69,47	70,47
	3 C1	3,59	4,59	6,57
	3 C2	4,59	6,57	8,19
	3 C3	6,57	8,19	10,34
	3 C4	8,19	10,34	12,51
	3 C5	10,34	12,51	33,87
	3 C6	12,51	33,87	36,26
	3 C7	33,87	36,26	38,68
	3 C8	36,26	38,68	40,32
	3 C9	38,68	40,32	42,15
	3 C10	40,32	42,15	43,59
	3 C11	42,15	43,59	46,22
	3 C12	43,59	46,22	48,74

3	C13	46,22	48,74	52,01
3	C14	48,74	52,01	61,27
3	C15	52,01	61,27	62,27
4	C1	7,75	8,75	10,57
4	C2	8,75	10,57	11,75
4	C3	10,57	11,75	12,46
4	C4	11,75	12,46	14,50
4	C5	12,46	14,50	16,27
4	C6	14,50	16,27	22,55
4	C7	16,27	22,55	24,25
4	C8	22,55	24,25	25,59
4	C9	24,25	25,59	27,00
4	C10	25,59	27,00	28,34
4	C11	27,00	28,34	30,58
4	C12	28,34	30,58	31,81
4	C13	30,58	31,81	35,15
4	C14	31,81	35,15	41,98
4	C15	35,15	41,98	42,98
5	C1	-0,88	0,12	0,17
5	C2	0,12	0,17	0,23
5	C3	0,17	0,23	0,27
5	C4	0,23	0,27	0,30
5	C5	0,27	0,30	0,33
5	C6	0,30	0,33	0,36
5	C7	0,33	0,36	0,41
5	C8	0,36	0,41	0,47
5	C9	0,41	0,47	0,61
5	C10	0,47	0,61	0,81
5	C11	0,61	0,81	0,93
5	C12	0,81	0,93	1,09
5	C13	0,93	1,09	1,32
5	C14	1,09	1,32	1,55
5	C15	1,32	1,55	2,55
6	C1	2,21	3,21	5,43
6	C2	3,21	5,43	6,42
6	C3	5,43	6,42	7,34
6	C4	6,42	7,34	9,55
6	C5	7,34	9,55	10,70
6	C6	9,55	10,70	12,18
6	C7	10,70	12,18	14,15
6	C8	12,18	14,15	17,11
6	C9	14,15	17,11	23,14
6	C10	17,11	23,14	25,61
6	C11	23,14	25,61	28,31
6	C12	25,61	28,31	31,88
6	C13	28,31	31,88	35,13
6	C14	31,88	35,13	55,69
6	C15	35,13	55,69	56,69
7	C1	-0,63	0,37	0,72
7	C2	0,37	0,72	1,28
7	C3	0,72	1,28	1,76
7	C4	1,28	1,76	2,35

7	C5	1,76	2,35	16,60
7	C6	2,35	16,60	18,97
7	C7	16,60	18,97	21,66
7	C8	18,97	21,66	23,82
7	C9	21,66	23,82	27,67
7	C10	23,82	27,67	29,22
7	C11	27,67	29,22	30,42
7	C12	29,22	30,42	35,16
7	C13	30,42	35,16	38,79
7	C14	35,16	38,79	53,41
7	C15	38,79	53,41	54,41
8	C1	-0,98	0,02	0,03
8	C2	0,02	0,03	0,04
8	C3	0,03	0,04	0,05
8	C4	0,04	0,05	0,05
8	C5	0,05	0,05	0,07
8	C6	0,05	0,07	0,08
8	C7	0,07	0,08	0,09
8	C8	0,08	0,09	0,11
8	C9	0,09	0,11	0,13
8	C10	0,11	0,13	1,03
8	C11	0,13	1,03	1,17
8	C12	1,03	1,17	1,34
8	C13	1,17	1,34	1,56
8	C14	1,34	1,56	2,64
8	C15	1,56	2,64	3,64
9	C1	-0,73	0,27	0,45
9	C2	0,27	0,45	0,49
9	C3	0,45	0,49	0,52
9	C4	0,49	0,52	0,58
9	C5	0,52	0,58	0,62
9	C6	0,58	0,62	0,68
9	C7	0,62	0,68	0,84
9	C8	0,68	0,84	0,88
9	C9	0,84	0,88	1,02
9	C10	0,88	1,02	1,92
9	C11	1,02	1,92	2,31
9	C12	1,92	2,31	2,60
9	C13	2,31	2,60	2,92
9	C14	2,60	2,92	3,80
9	C15	2,92	3,80	4,80
10	C1	-0,98	0,02	0,02
10	C2	0,02	0,02	0,03
10	C3	0,02	0,03	0,03
10	C4	0,03	0,03	0,04
10	C5	0,03	0,04	0,04
10	C6	0,04	0,04	0,07
10	C7	0,04	0,07	0,10
10	C8	0,07	0,10	0,15
10	C9	0,10	0,15	0,22
10	C10	0,15	0,22	1,34
10	C11	0,22	1,34	1,47

10	C12	1,34	1,47	1,66
10	C13	1,47	1,66	1,86
10	C14	1,66	1,86	2,90
10	C15	1,86	2,90	3,90

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8 – Planilhas geradas pelo relatório final do *software* com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.

Variável		Limite inferior	Limite Superior
Entrada	1	21	35
	2	25	125
Saída	1	4	9
	2	5,75	69,47
	3	4,585	61,27
	4	8,75	41,975
	5	0,1248	1,54755
	6	3,211	55,6873
	7	0,37125	53,41335
	8	0,0225	2,63995
	9	0,2732	3,80395
	10	0,01665	2,8979

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 9 – Planilhas gerada pelo relatório final do *software* contendo a base de regras do modelo *fuzzy*.

Regras	Entrada		Saída									
	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	3	5	1	2	3	2	1	2	4	6
2	1	2	4	8	4	3	5	4	4	4	5	8
3	1	3	4	6	4	2	5	7	5	3	9	9
4	1	4	3	3	3	5	4	4	3	5	5	8
5	1	5	3	5	2	4	2	3	2	2	2	7
6	2	1	8	4	7	9	5	7	7	7	4	2
7	2	2	8	10	10	10	10	8	9	9	7	6
8	2	3	10	6	10	14	7	8	7	7	5	3
9	2	4	8	4	7	13	7	8	8	8	7	3
10	2	5	10	5	7	11	7	9	11	8	8	3
11	3	1	14	13	12	9	12	12	11	11	12	13
12	3	2	13	12	13	11	13	13	11	13	12	13
13	3	3	11	11	11	11	12	12	13	12	12	13
14	3	4	13	12	13	10	13	13	14	13	14	13
15	3	5	13	14	12	9	13	13	14	14	14	11

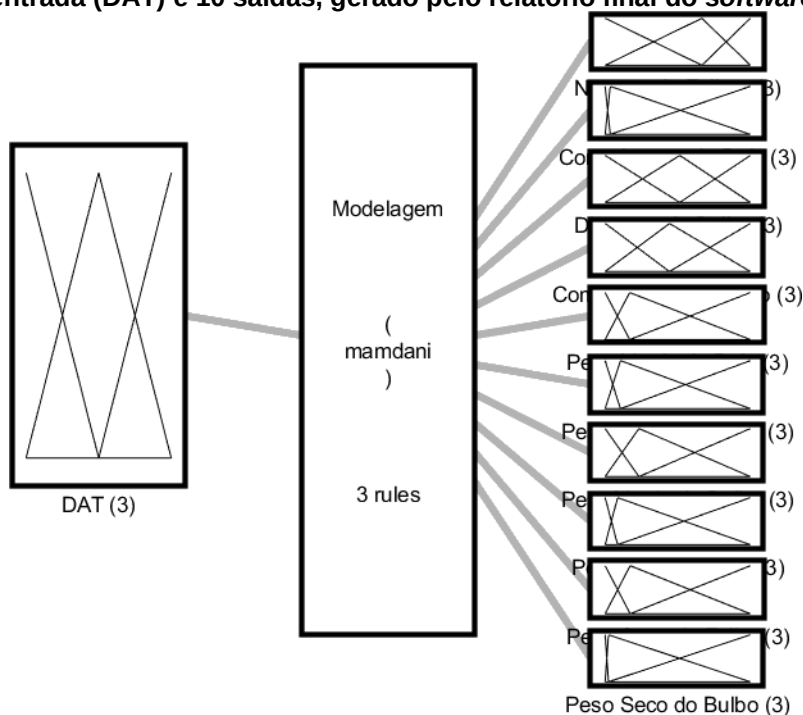
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2 Resultados do *software* genérico para a cultura do rabanete sem estresse hídrico com variações nos dias após transplantio

3.2.2.1 Resultados para irrigação com AC

Os resultados gerados pelo relatório final do *software* para o presente modelo é dado pela estrutura geral do modelo (Figura 30), as funções de pertinência (Figura 31) e mosaico de curvas bidimensionais (Figura 32), bem como conjunto de curvas (Figura 33) do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete irrigado com AC, com uma única entrada (DAT) e 10 saídas.

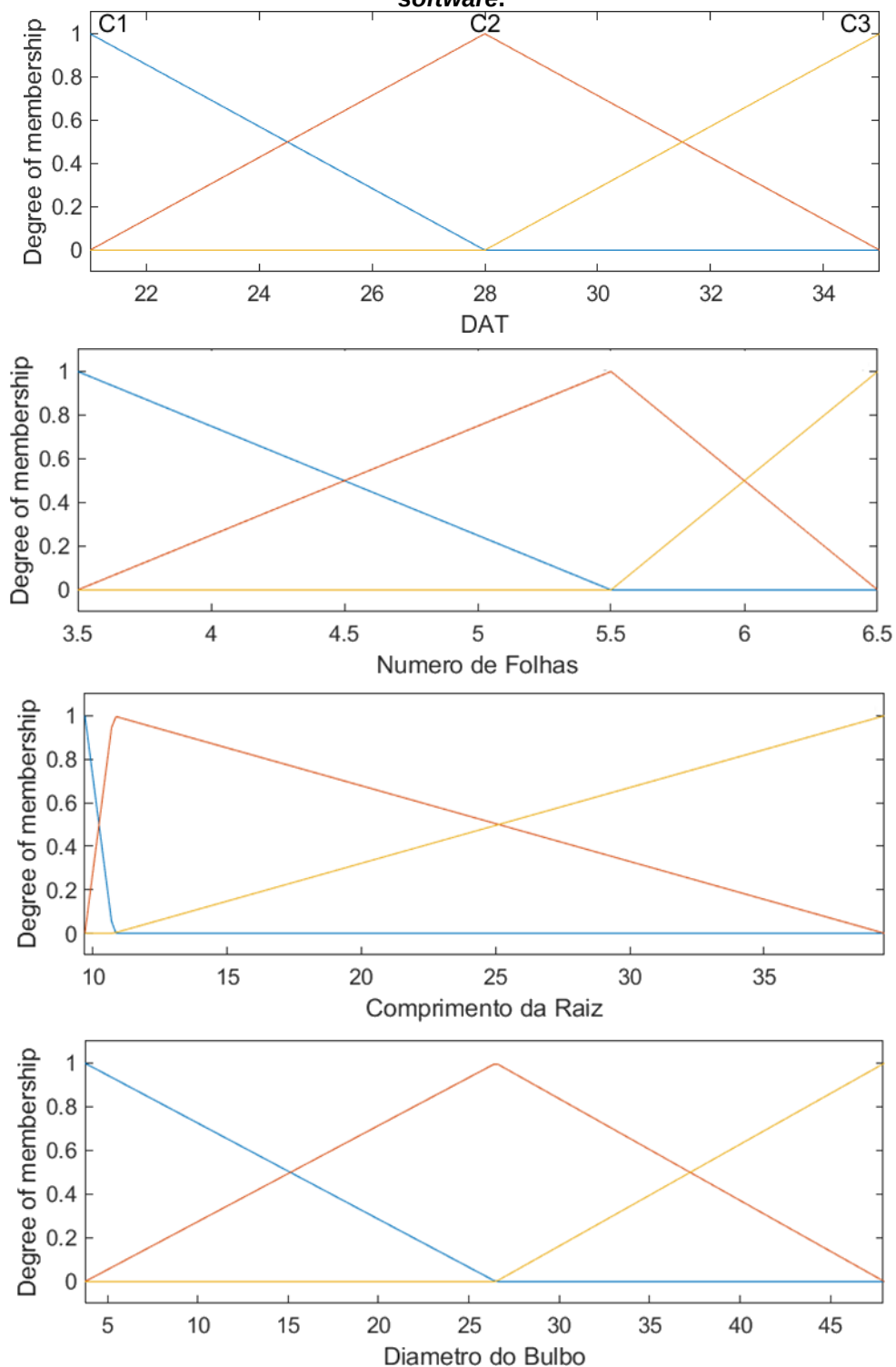
Figura 30 – Estrutura geral do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

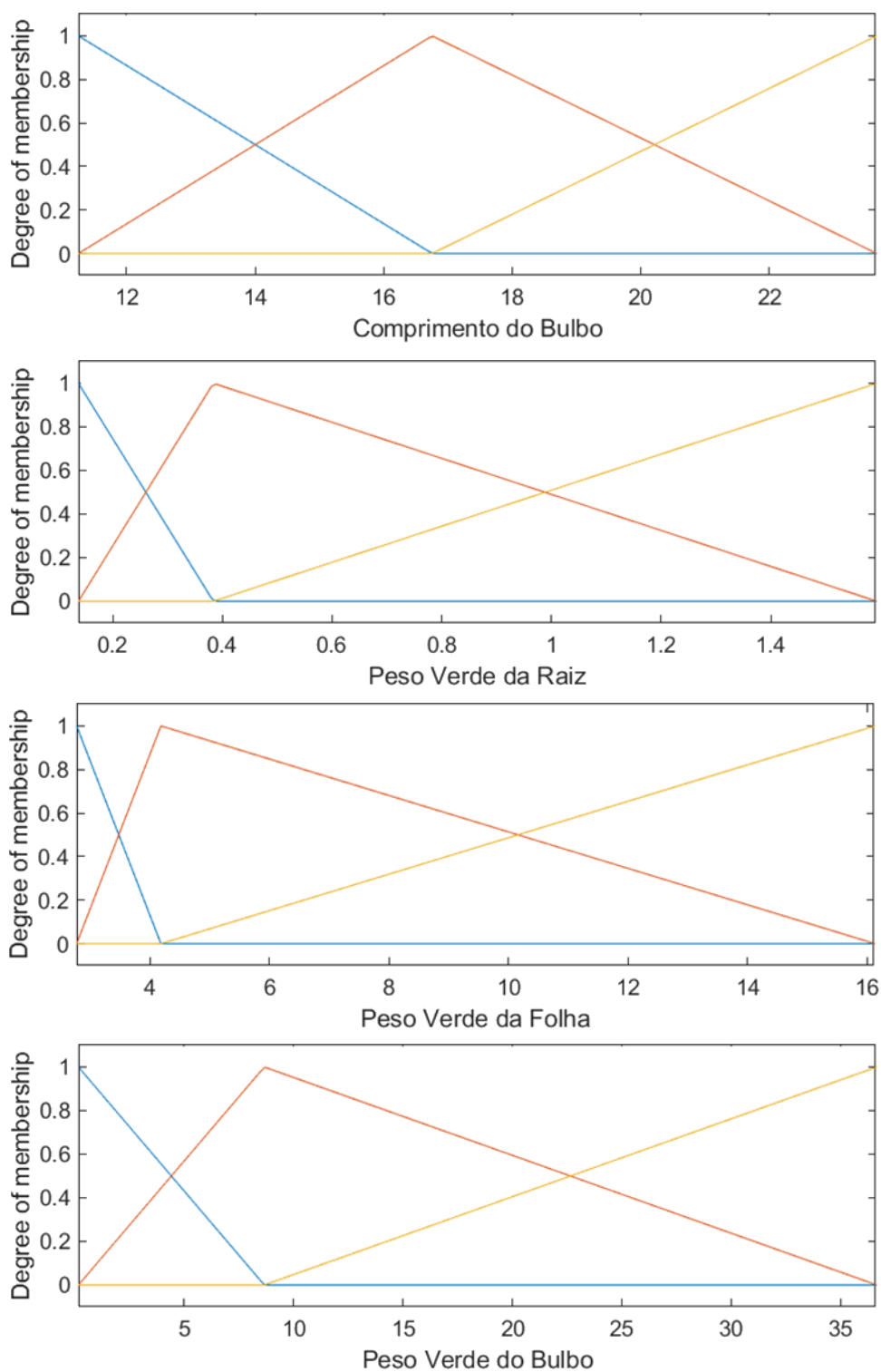


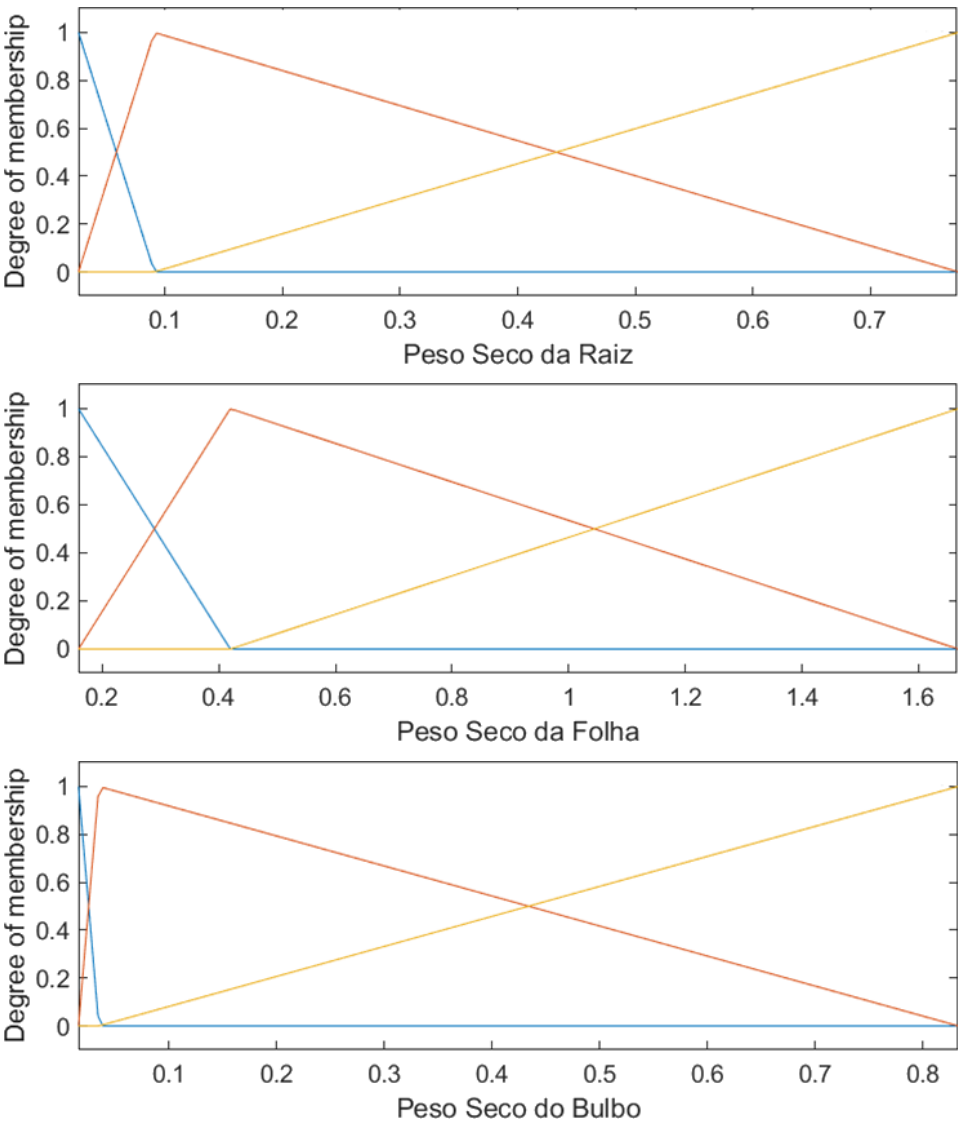
System Modelagem: 1 inputs, 10 outputs, 3 rules

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

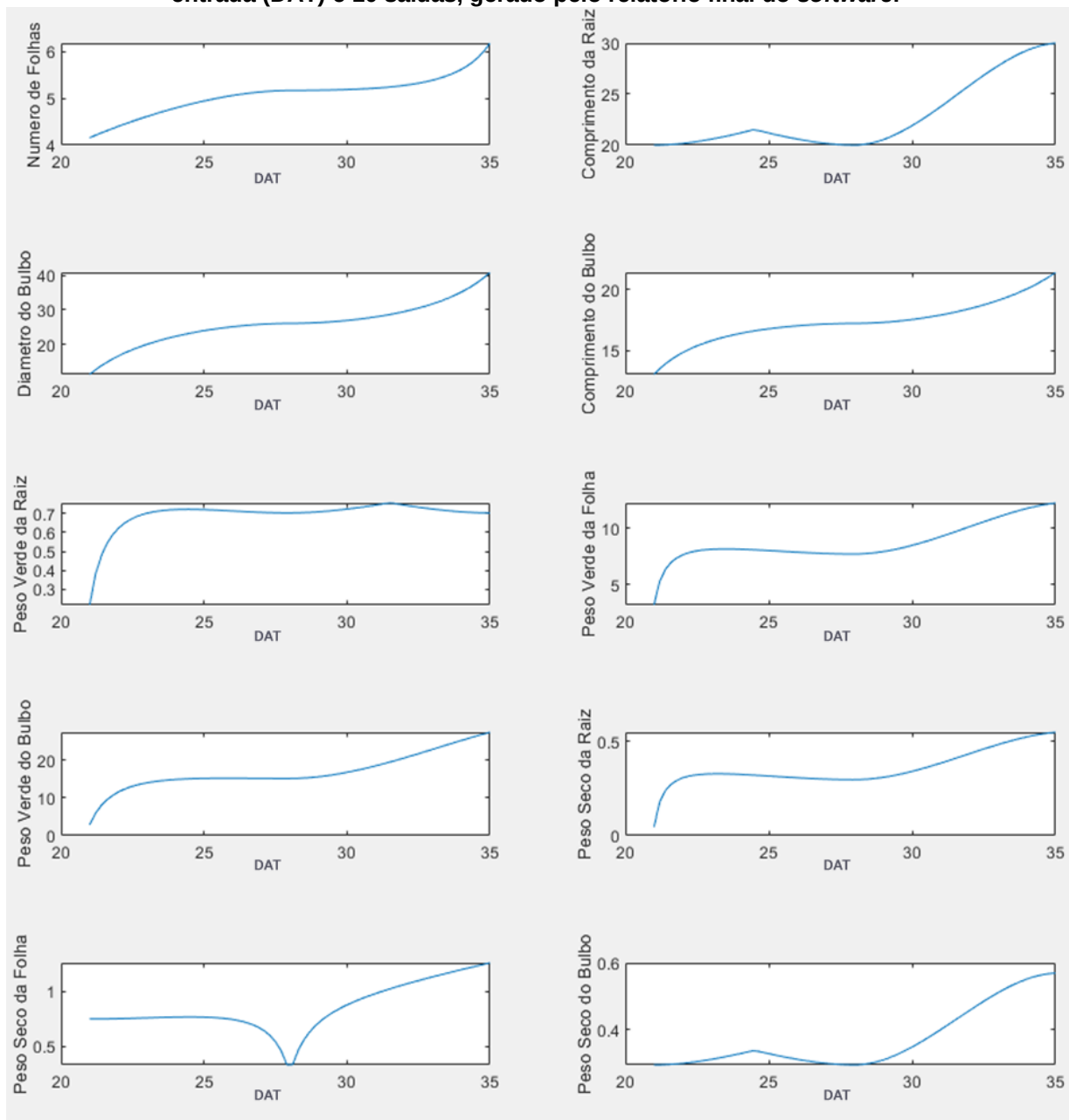






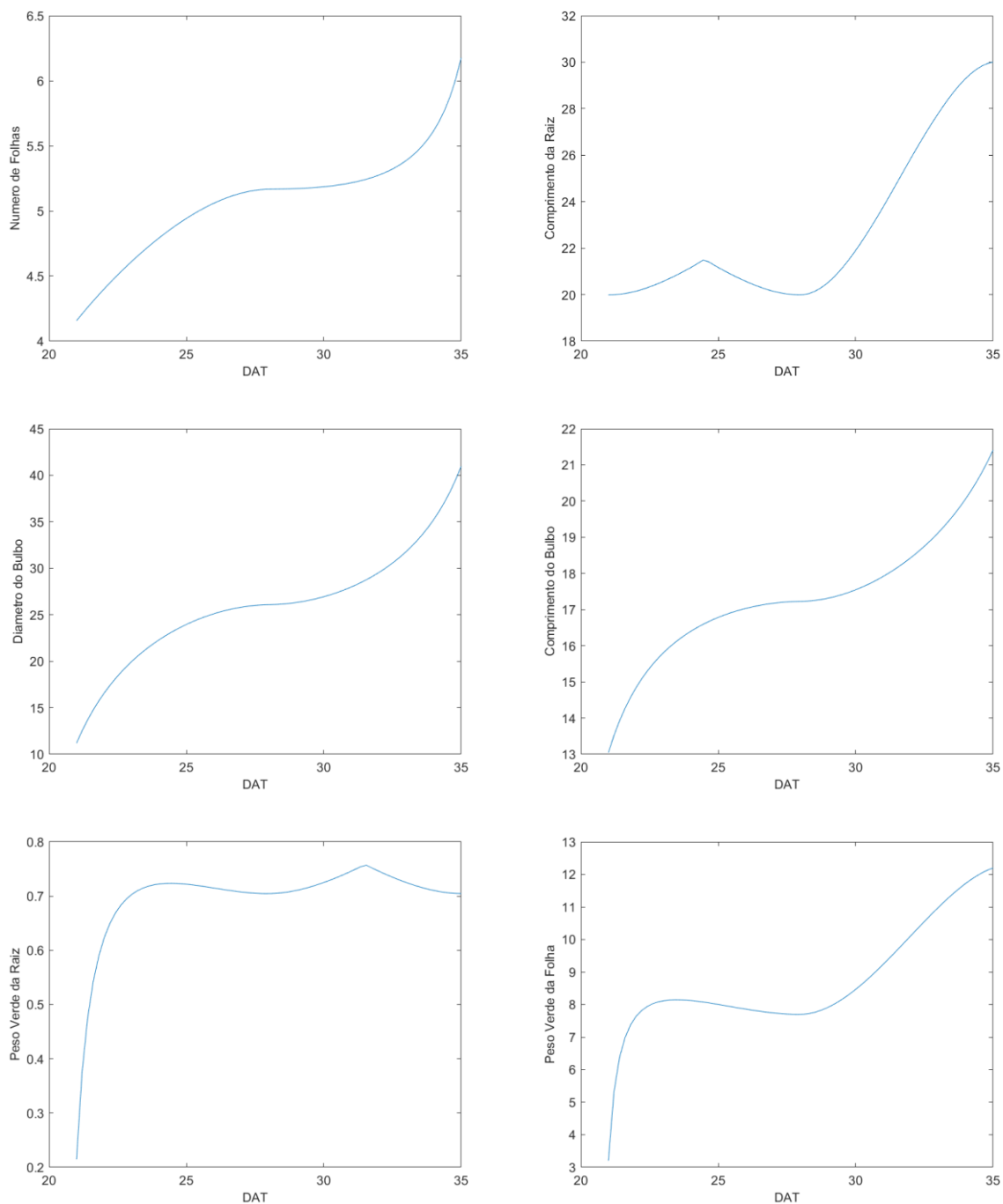
Fonte: Elaborado pelo autor.

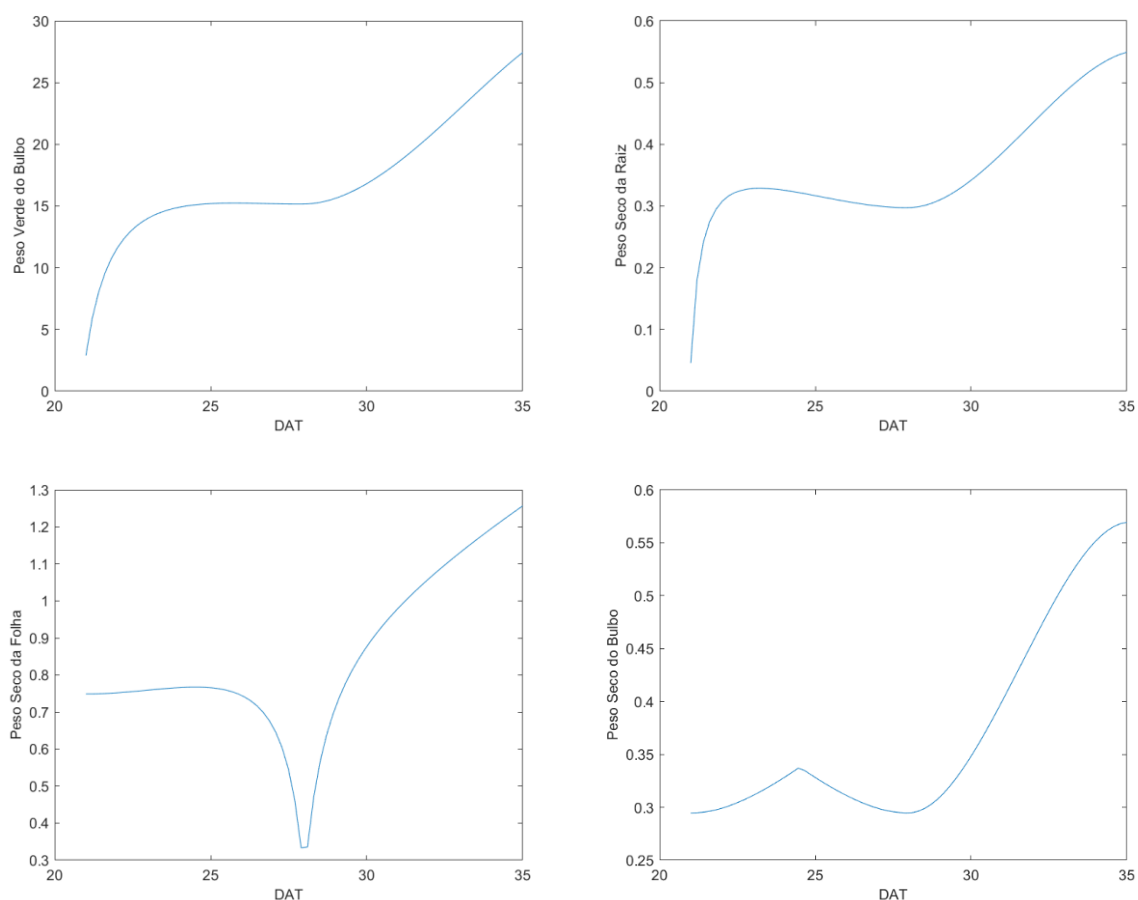
Figura 32 – Mosaico de curvas modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33 – Curvas do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.





Fonte: Elaborado pelo autor.

As tabelas geradas consistem em todos intervalos das variáveis de entrada e saída (Tabela 10), nos parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída (Tabela 11) e na base de regras (Tabela 12).

Tabela 10 – Planilhas gerada pelo relatório final do *software* com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.

Variável		Limite inferior	Limite Superior
Entrada	1	21	35
	1	3,5	6,5
	2	9,7	39,485
	3	3,76	47,98
Saída	4	11,25	23,675
	5	0,1373	1,5932
	6	2,77385	16,13765
	7	0,17665	36,64615
	8	0,02635	0,77465
	9	0,15945	1,668
	10	0,01575	0,8327

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 11 – Planilhas gerada pelo relatório final do *software* contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída do modelo *fuzzy*.

Variável	Conjunto <i>Fuzzy</i>	Delimitador 1	Delimitador 2	Delimitador 3
Entrada	1	C1	20	21
	1	C2	21	28
	1	C3	28	35
Saída	1	C1	2,5	3,5
	1	C2	3,5	5,5
	1	C3	5,5	6,5
	2	C1	5,5	7,5
	2	C1	8,7	9,7
	2	C2	9,7	10,75
	2	C3	10,75	39,49
	3	C1	39,49	40,49
	3	C2	2,76	3,76
	3	C2	3,76	26,49
	3	C3	26,49	47,98
	4	C1	47,98	48,98
	4	C1	10,25	11,25
	4	C2	11,25	16,76
	4	C3	16,76	23,68
	5	C1	0,14	0,38
	5	C2	0,38	1,59
	5	C3	1,59	2,59
	6	C1	2,59	4,18
	6	C2	4,18	16,14
	6	C3	16,14	17,14
	7	C1	0,18	0,86
	7	C2	0,86	8,67
	7	C3	8,67	36,65
	8	C1	0,03	0,09
	8	C2	0,09	0,77
	8	C3	0,77	1,77
	9	C1	0,16	0,42
	9	C2	0,42	1,67
	9	C3	1,67	2,67
	10	C1	0,02	0,03
	10	C2	0,03	0,83
	10	C3	0,83	1,83

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 12 – Planilhas gerada pelo relatório final do *software* contendo a base de regras do modelo *fuzzy*.

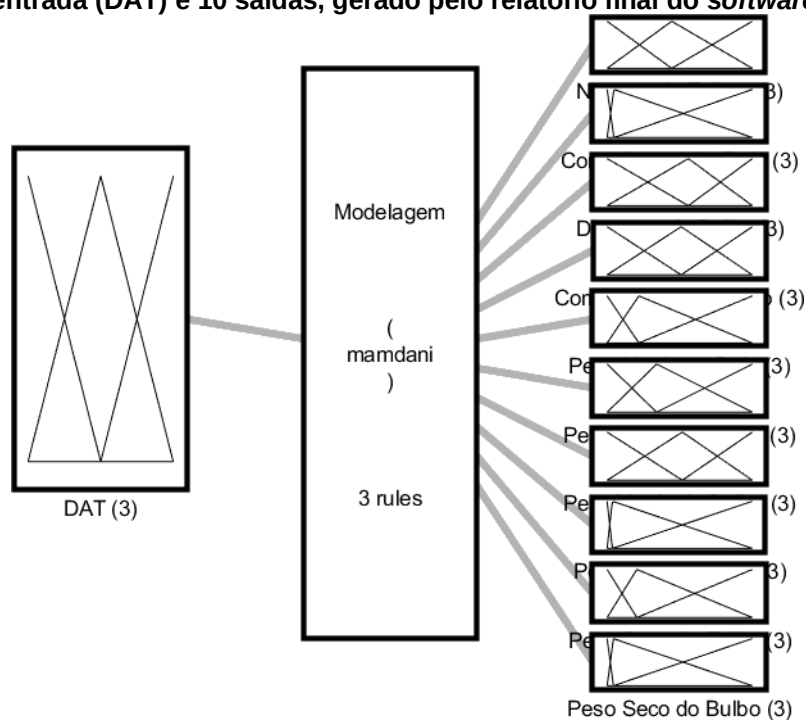
Regras	Entrada	Saída									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2.2 Resultados para irrigação com ATM

Os resultados gerados pelo *software* com base no modelo *fuzzy*, considerando as variáveis biométricas do rabanete, irrigado com ATM, com uma única entrada (DAT) e 10 saídas, são: a estrutura geral do modelo (Figura 34), as funções de pertinência (Figura 35), ao mosaico de curvas bidimensionais (Figura 36), bem como o conjunto de figuras destas curvas (Figura 37).

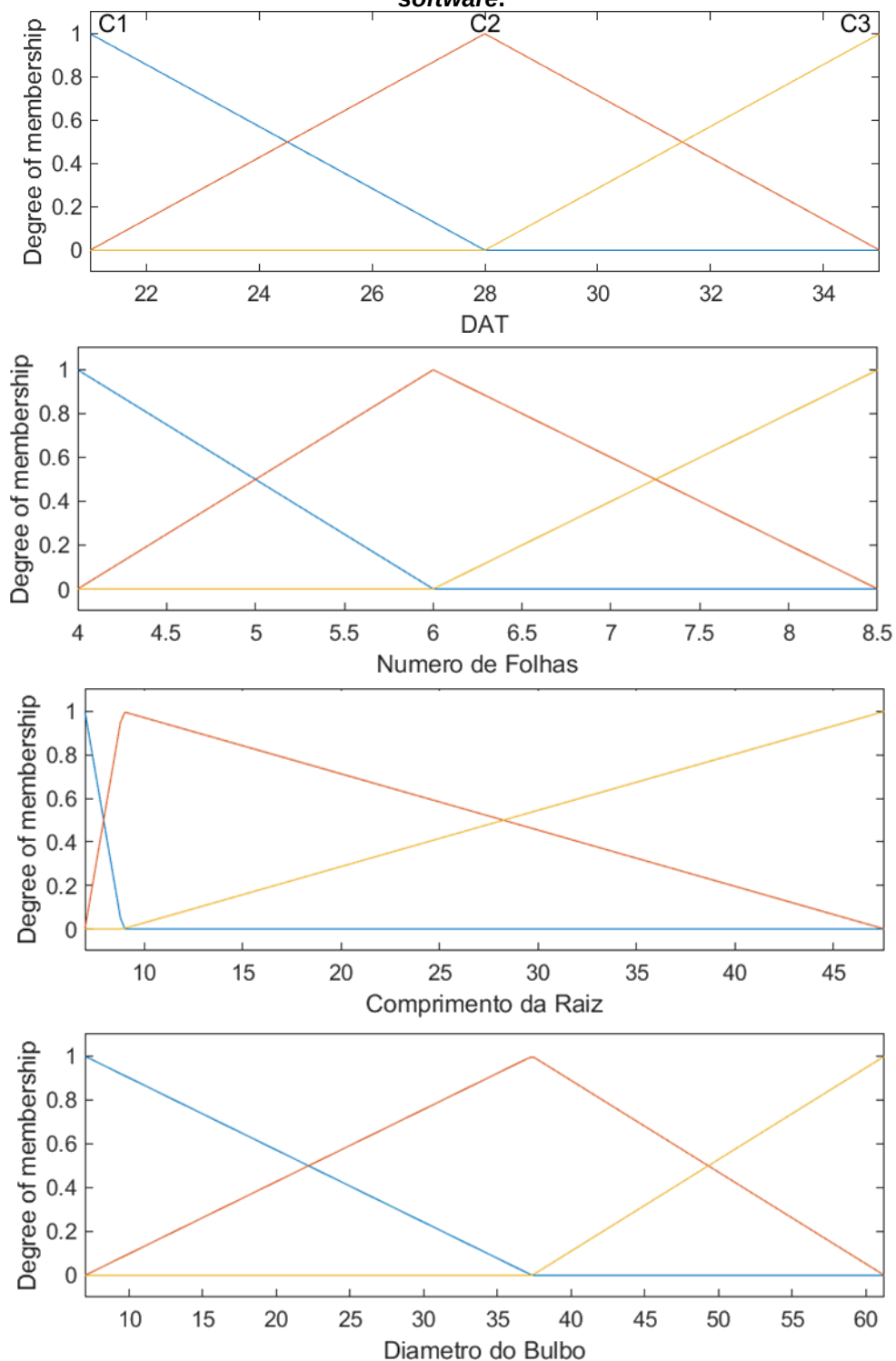
Figura 34 – Estrutura geral do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

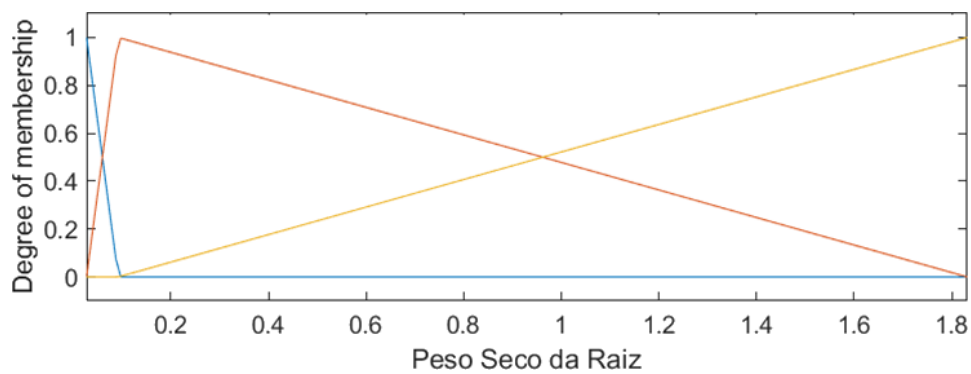
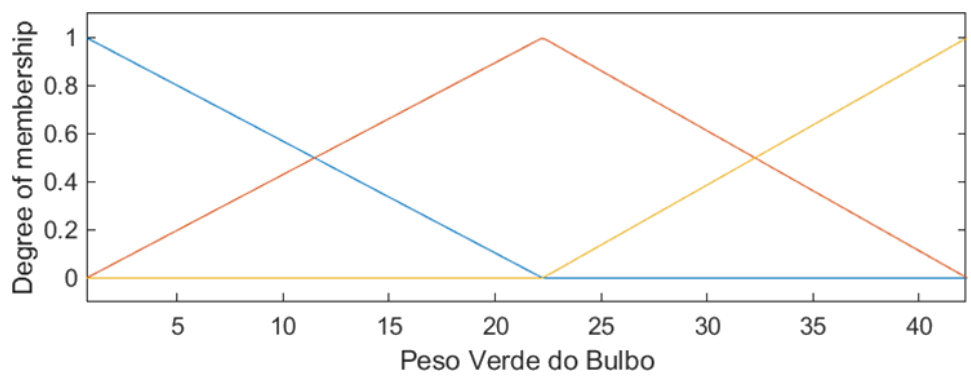
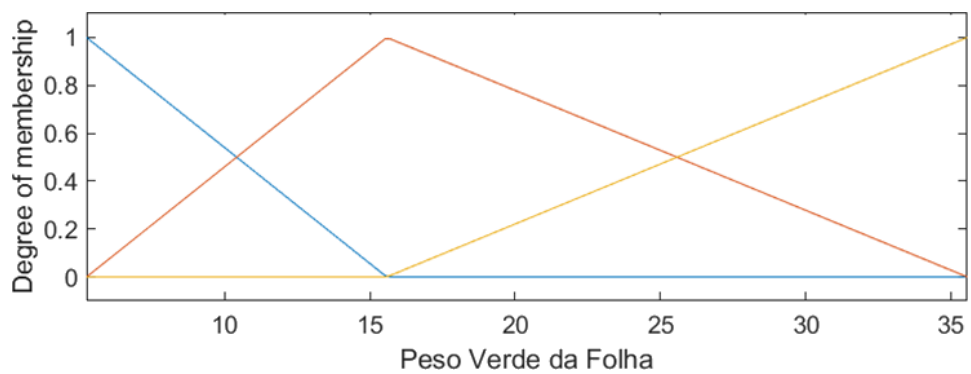
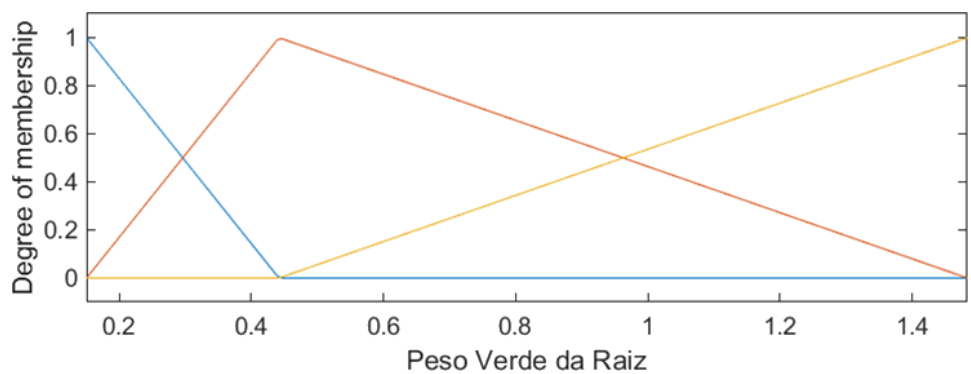
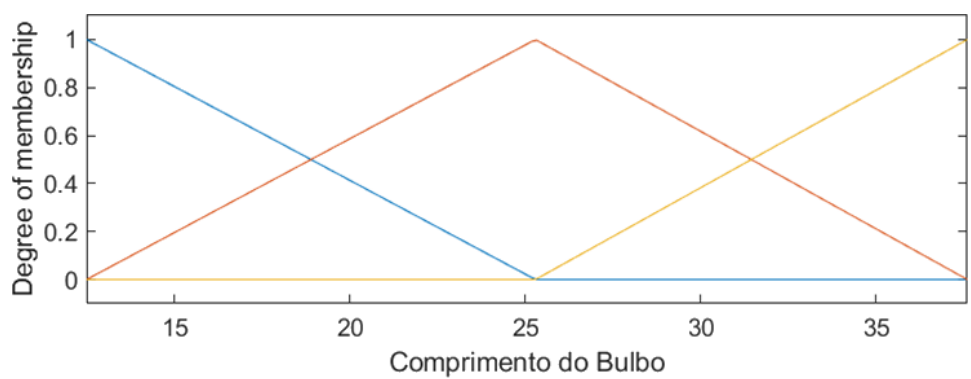


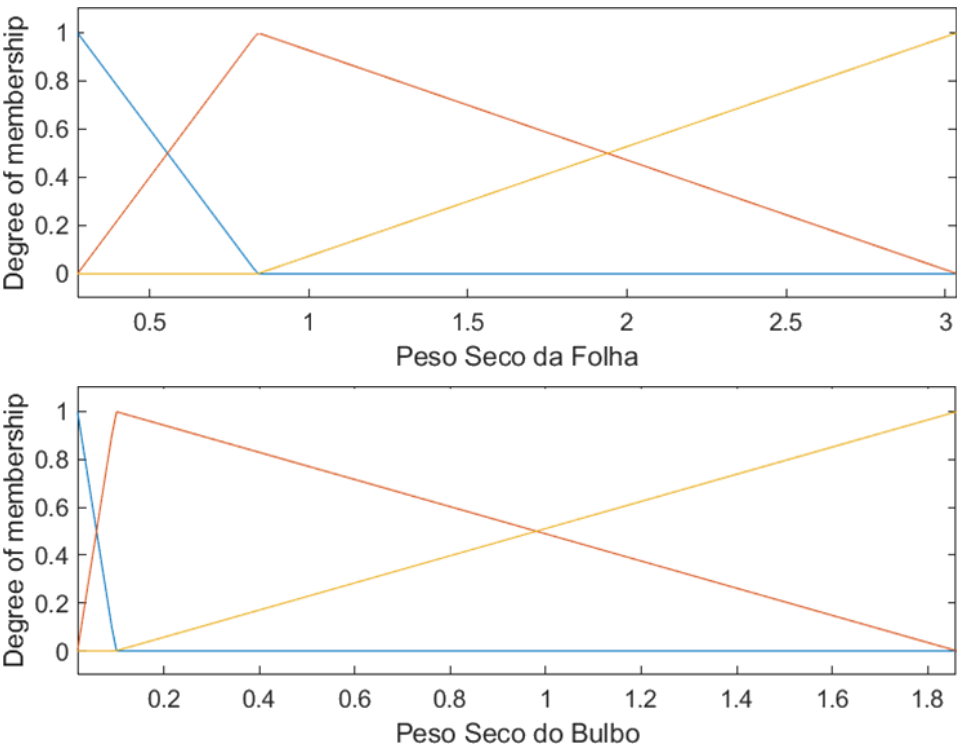
System Modelagem: 1 inputs, 10 outputs, 3 rules

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

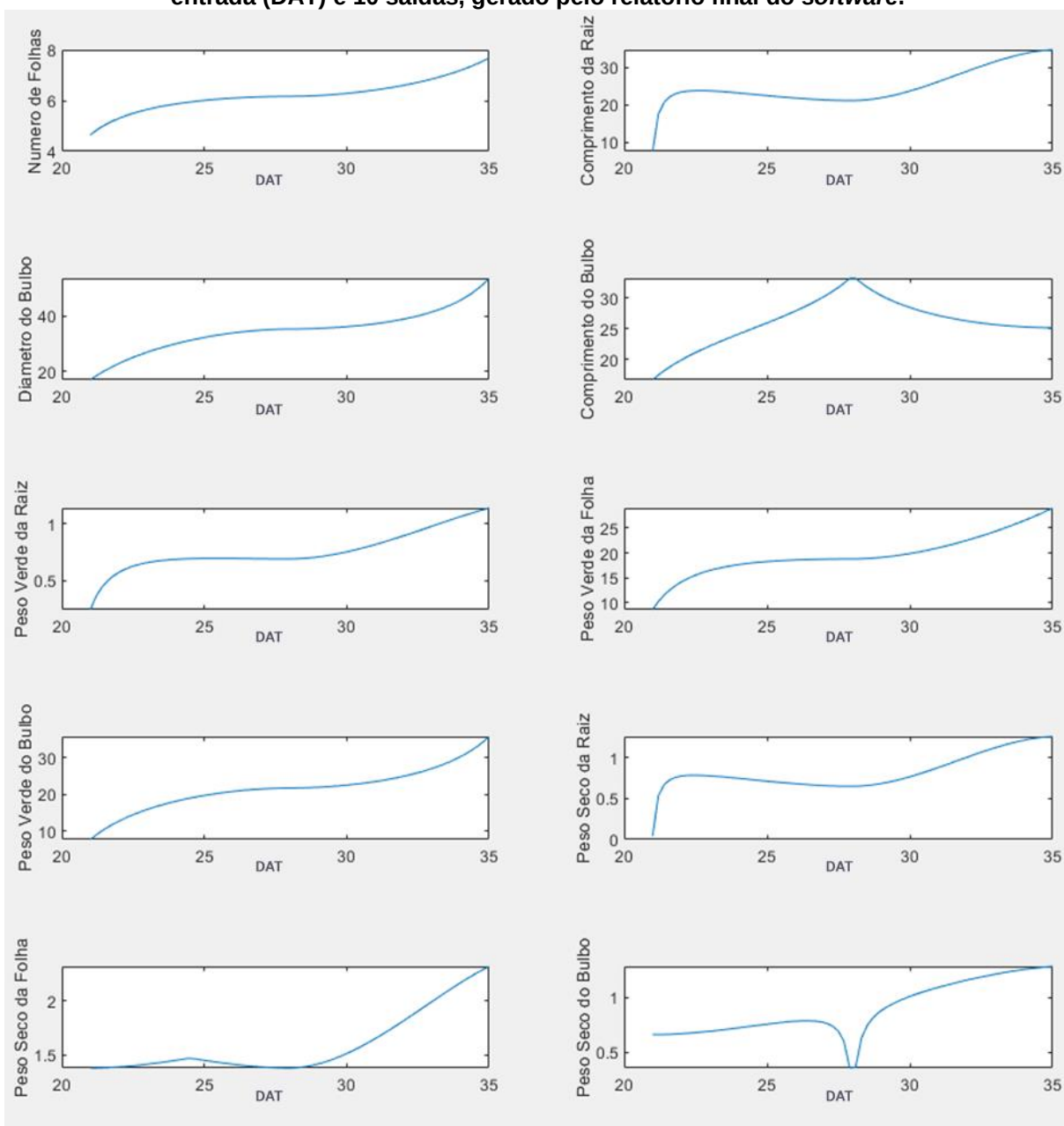






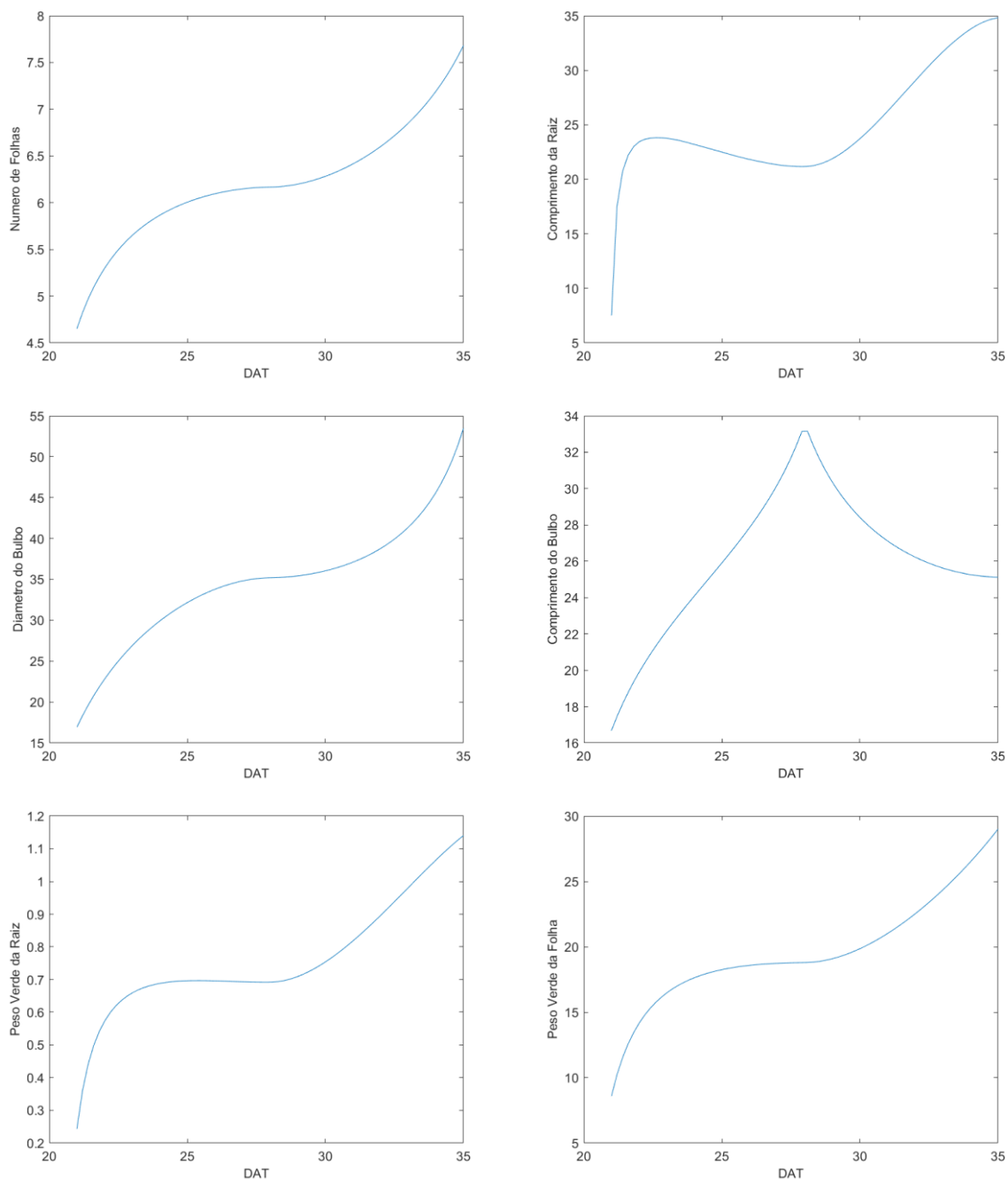
Fonte: Elaborado pelo autor.

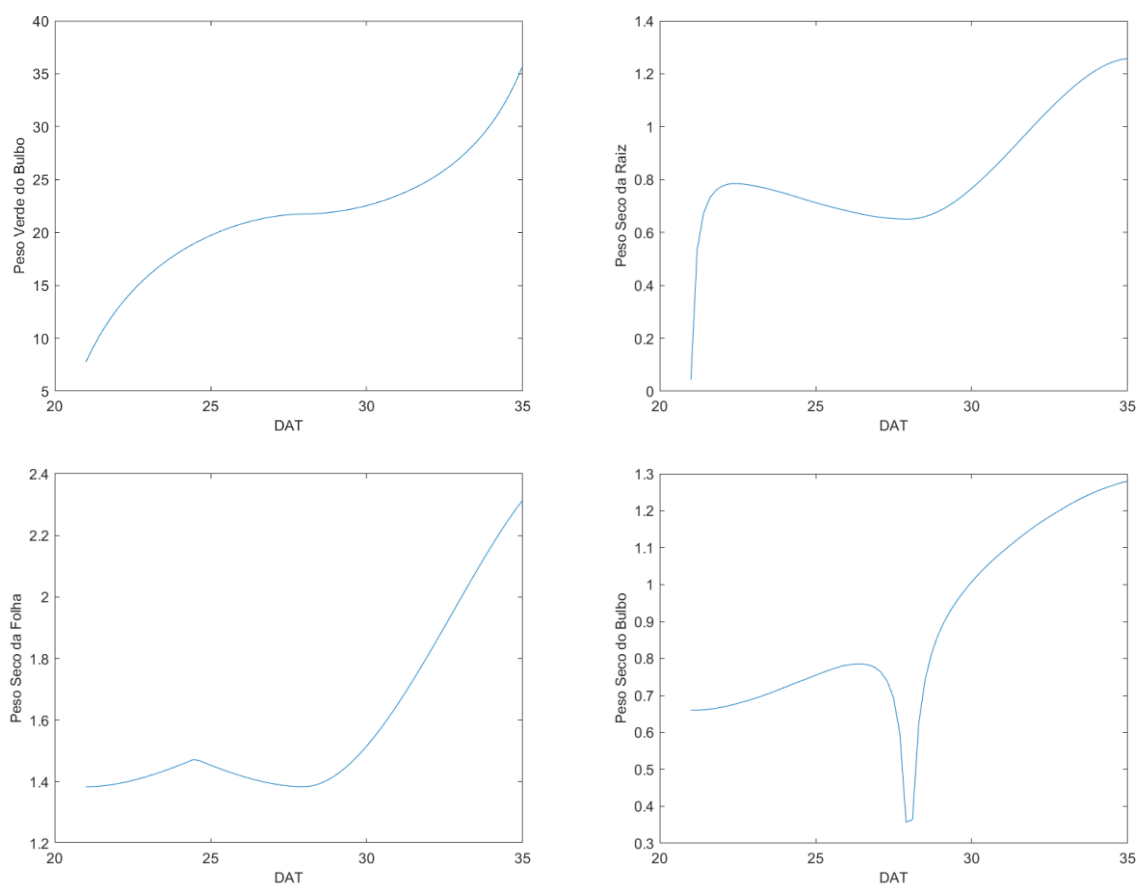
Figura 36 – Mosaico de curvas modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 37 – Curvas do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (DAT) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.





Fonte: Elaborado pelo autor.

As tabelas geradas consistem em todos intervalos das variáveis de entrada e saída (Tabela 13), nos parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída (Tabela 14) e na base de regras (Tabela 15).

Tabela 13 – Planilhas gerada pelo relatório final do *software* com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.

Variável		Limite inferior	Limite Superior
Entrada	1	21	35
	1	4	8,5
	2	7	47,575
	3	6,995	61,27
Saída	4	12,5	37,595
	5	0,15085	1,483
	6	5,2477	35,5605
	7	0,7147	42,28735
	8	0,02705	1,8319
	9	0,2732	3,03815
	10	0,0192	1,8618

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 14 – Planilhas gerada pelo relatório final do *software* contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de Entrada e Saída do modelo *fuzzy*.

Intervalos de pertinência de Entrada e Saída do modelo fuzzy.					
Variável		Conjunto Fuzzy	Delimitador 1	Delimitador 2	Delimitador 3
Entrada	1	C1	20	21	28
	1	C2	21	28	35
	1	C3	28	35	36
Saída	1	C1	3	4	6
	1	C2	4	6	8,5
	1	C3	6	8,5	9,5
	2	C1	6	7	8,9
	2	C2	7	8,9	47,575
	2	C3	8,90	47,58	48,58
	3	C1	6,00	7,00	37,36
	3	C2	7,00	37,36	61,27
	3	C3	37,36	61,27	62,27
	4	C1	11,50	12,50	25,29
	4	C2	12,50	25,29	37,60
	4	C3	25,29	37,60	38,60
	5	C1	-0,85	0,15	0,44
	5	C2	0,15	0,44	1,48
	5	C3	0,44	1,48	2,48
	6	C1	4,25	5,25	15,58
	6	C2	5,25	15,58	35,56
	6	C3	15,58	35,56	36,56
	7	C1	-0,29	0,71	22,25
	7	C2	0,71	22,25	42,29
	7	C3	22,25	42,29	43,29
	8	C1	-0,97	0,03	0,09
	8	C2	0,03	0,09	1,83
	8	C3	0,09	1,83	2,83
	9	C1	-0,73	0,27	0,84
	9	C2	0,27	0,84	3,04
	9	C3	0,84	3,04	4,04
	10	C1	-0,98	0,02	0,10
	10	C2	0,02	0,10	1,86
	10	C3	0,10	1,86	2,86

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 15 – Planilhas gerada pelo relatório final do *software* contendo a Base de Regras do modelo *fuzzy*.

Regras	Entrada	Saída									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	1
3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3

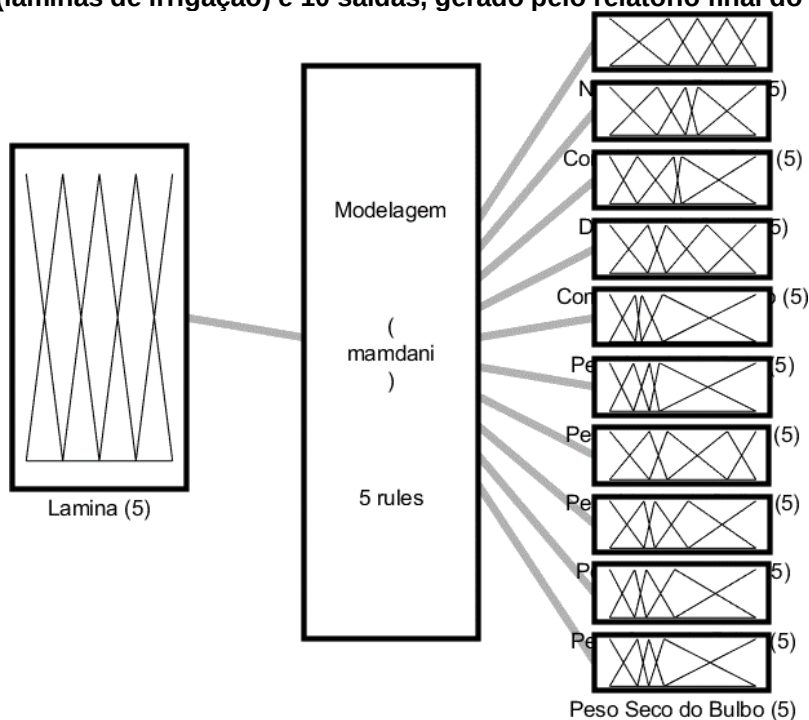
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3 Resultados do *software* genérico para a cultura do rabanete no momento de colheita com variações nas lâminas de irrigação

3.2.3.1 Resultados para irrigação com AC

Os resultados gerados pelo *software* com base no modelo *fuzzy*, considerando as variáveis biométricas do rabanete, irrigado com AC, com uma única entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, são: estrutura geral do modelo (Figura 38), as funções de pertinência (Figura 39), ao mosaico de curvas bidimensionais (Figura 40), bem como o conjunto de figuras destas curvas (Figura 41).

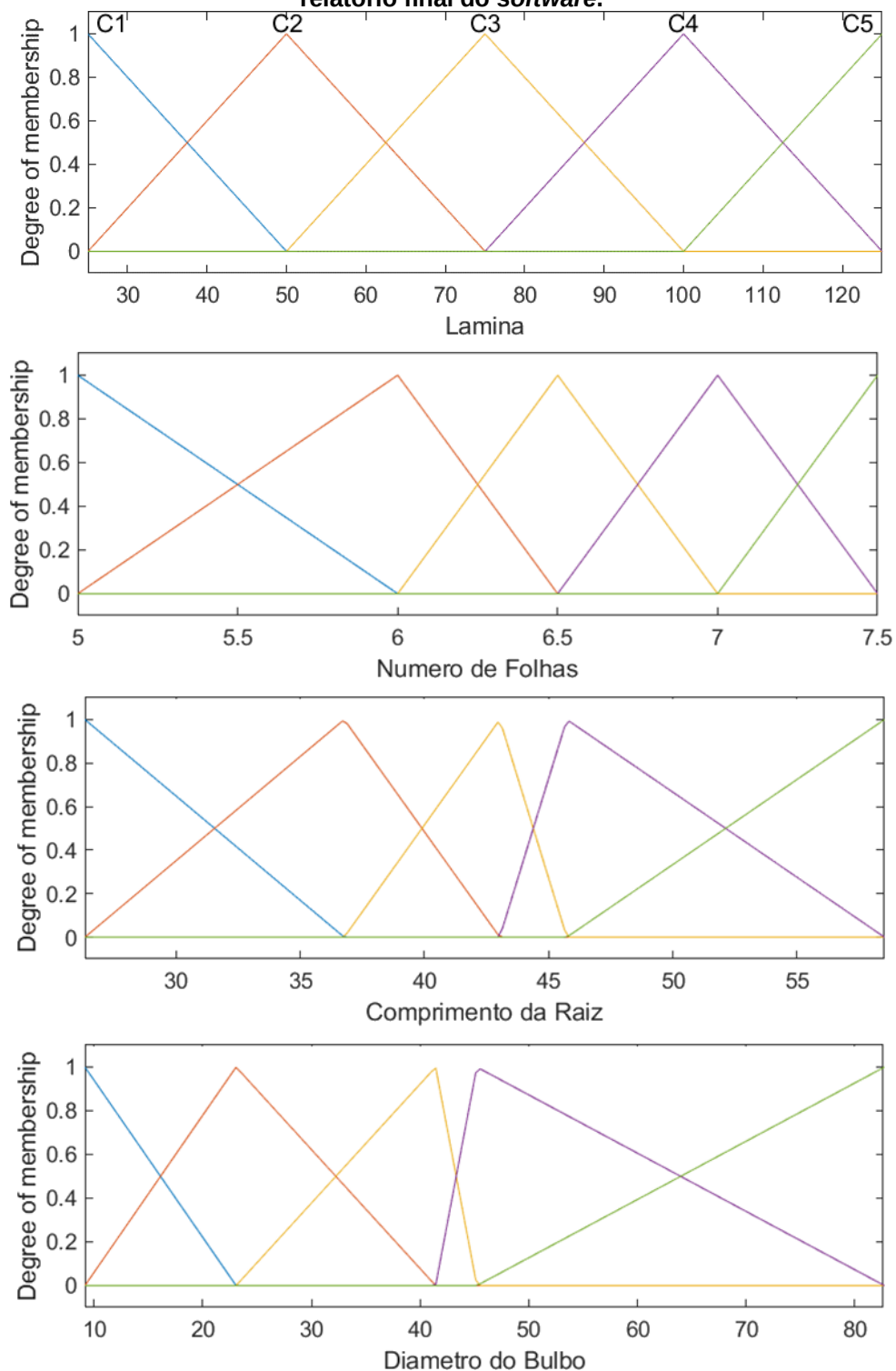
Figura 38 – Estrutura geral do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

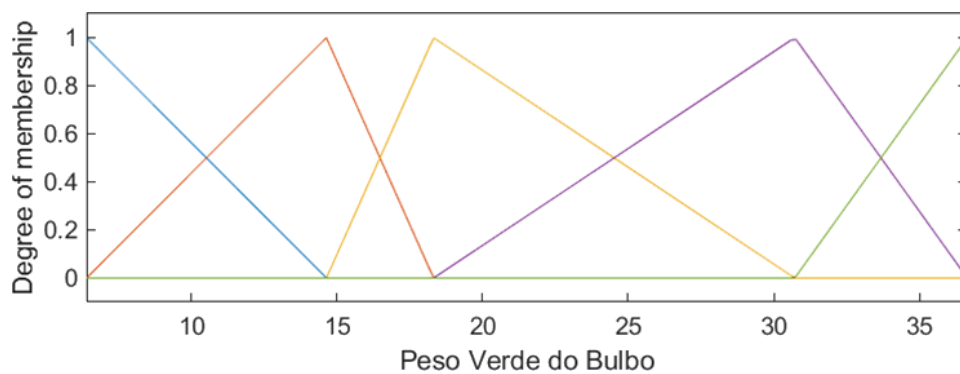
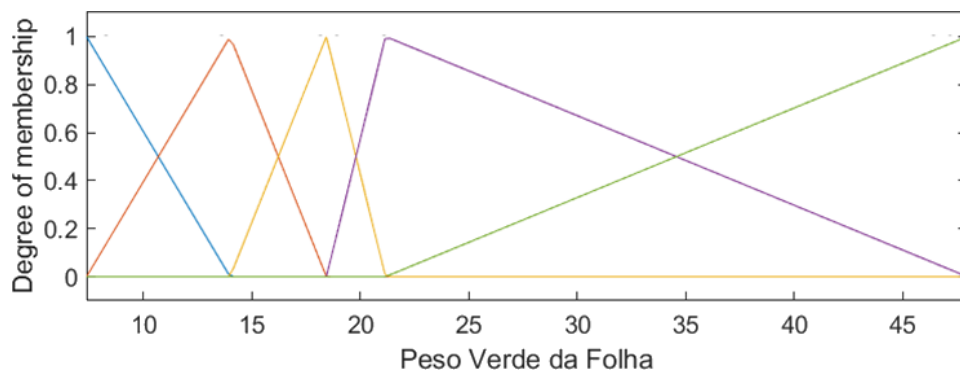
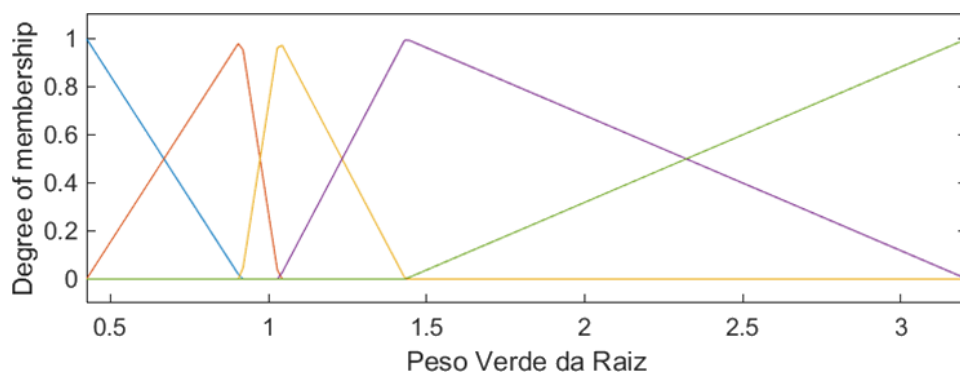
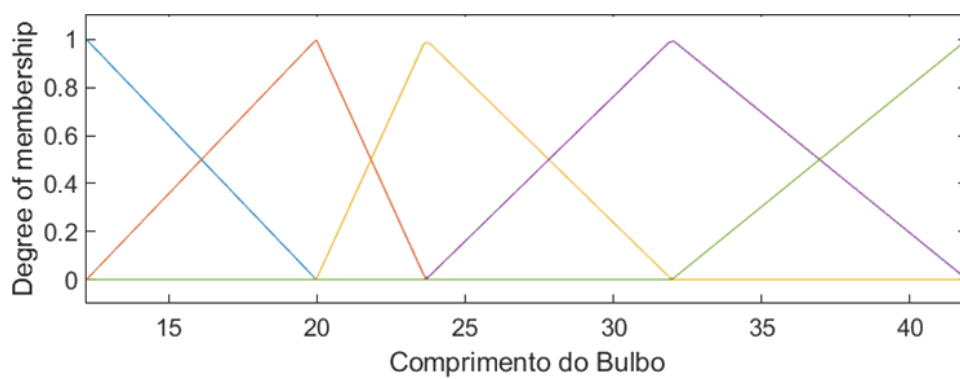


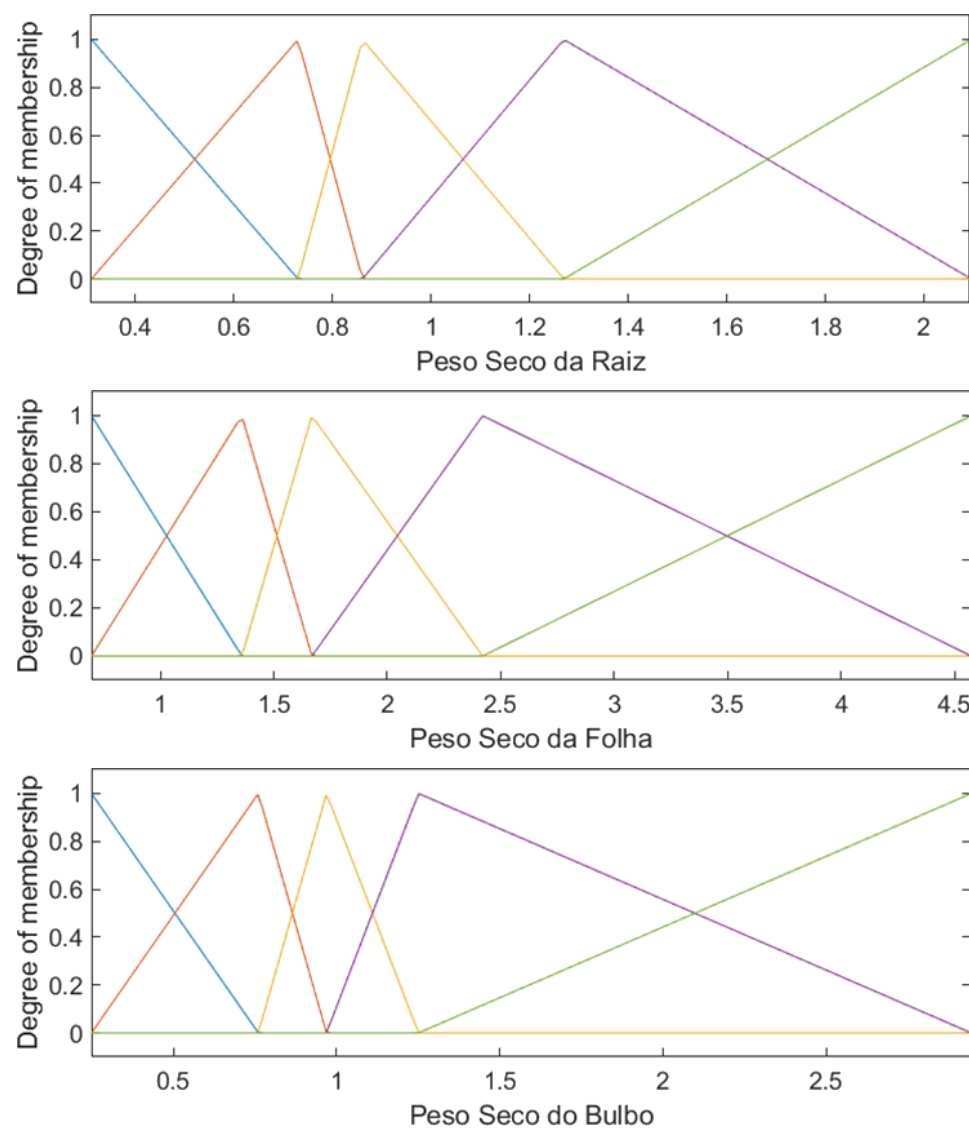
System Modelagem: 1 inputs, 10 outputs, 5 rules

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 39 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

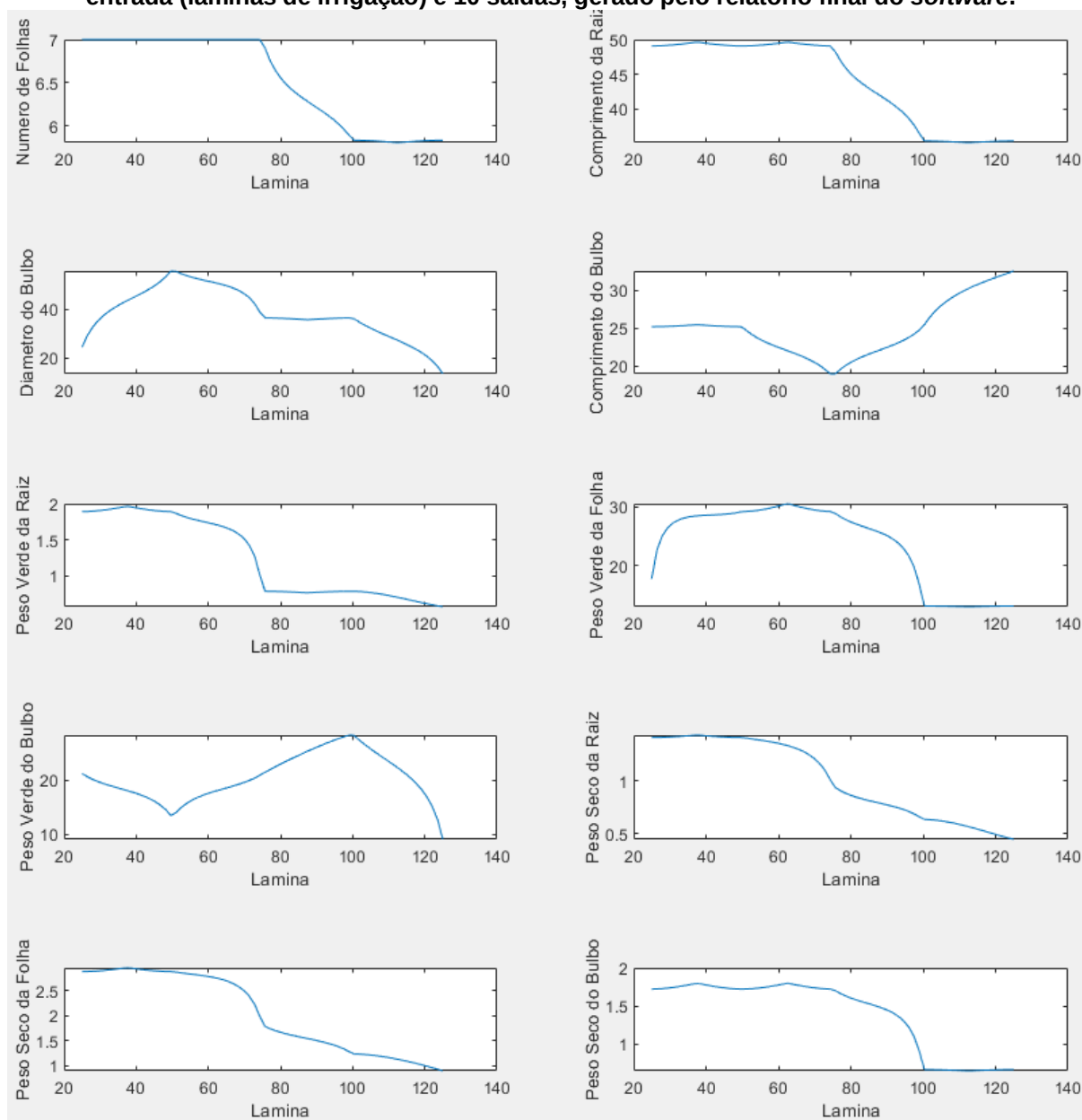






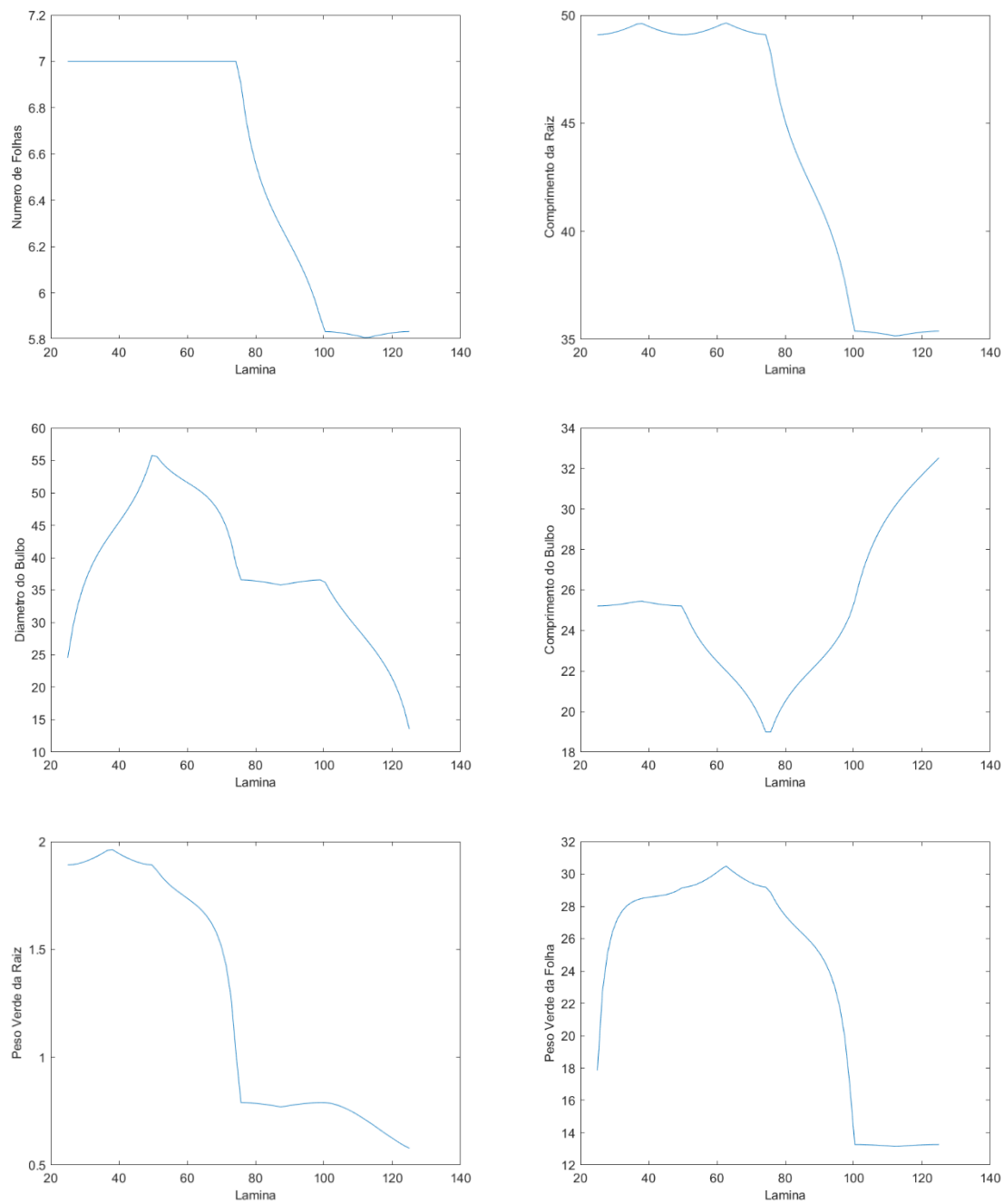
Fonte: Elaborado pelo autor.

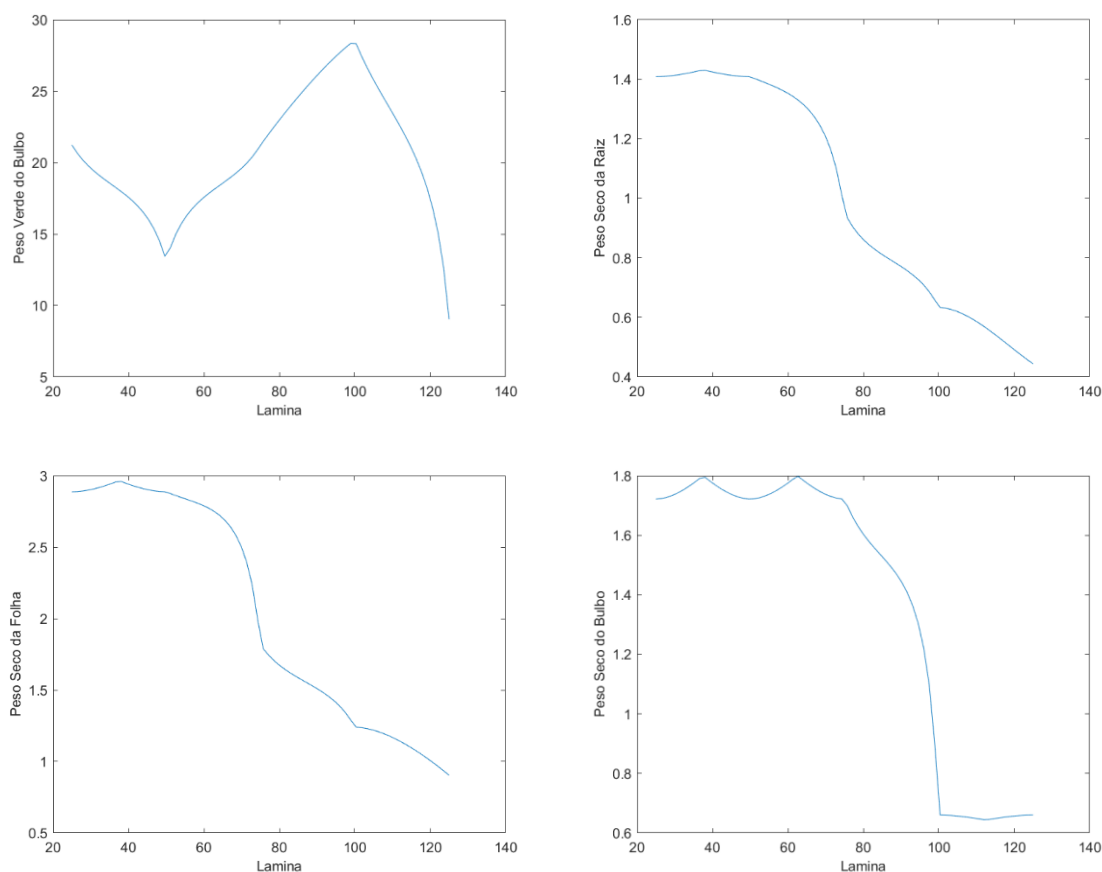
Figura 40 – Mosaico de curvas modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 41 – Curvas do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.





Fonte: Elaborado pelo autor.

As tabelas geradas consistem em todos intervalos das variáveis de entrada e saída (Tabela 16), nos parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída (Tabela 17) e na base de regras (Tabela 18).

Tabela 16 – Planilhas gerada pelo relatório final do software com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.

Variável		Limite inferior	Limite Superior
Entrada	1	25	125
	1	5	7,5
	2	26,325	58,52
	3	9,17	82,715
	4	12,23	41,94
Saída	5	0,424	3,21085
	6	7,3686	47,9735
	7	6,3969	36,64615
	8	0,31045	2,0962
	9	0,6962	4,5735
	10	0,24935	2,94475

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 17 – Planilhas gerada pelo relatório final do *software* contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de Entrada e Saída do modelo *fuzzy*.

Faixas de pertinência de Entrada e Saída do modelo fuzzy.					
Variável		Conjunto Fuzzy	Delimitador 1	Delimitador 2	Delimitador 3
Entrada	1	C1	24	25	50
	1	C2	25	50	75
	1	C3	50	75	100
	1	C4	75	100	125
	1	C5	100	125	126
Saída	1	C1	4	5	6
	1	C2	5	6	6,5
	1	C3	6	6,5	7
	1	C4	6,5	7	7,5
	1	C5	7	7,5	8,5
	2	C1	25,33	26,33	36,77
	2	C2	26,33	36,77	43,03
	2	C3	36,77	43,03	45,73
	2	C4	43,03	45,73	58,52
	2	C5	45,73	58,52	59,52
	3	C1	8,17	9,17	23,08
	3	C2	9,17	23,08	41,43
	3	C3	23,08	41,43	45,22
	3	C4	41,43	45,22	82,72
	3	C5	45,22	82,72	83,72
	4	C1	11,23	12,23	19,98
	4	C2	12,23	19,98	23,68
	4	C3	19,98	23,68	31,98
	4	C4	23,68	31,98	41,94
	4	C5	31,98	41,94	42,94
	5	C1	-0,58	0,42	0,91
	5	C2	0,42	0,91	1,03
	5	C3	0,91	1,03	1,43
	5	C4	1,03	1,43	3,21
	5	C5	1,43	3,21	4,21
	6	C1	6,37	7,37	13,99
	6	C2	7,37	13,99	18,43
	6	C3	13,99	18,43	21,15
	6	C4	18,43	21,15	47,97
	6	C5	21,15	47,97	48,97
	7	C1	5,40	6,40	14,63
	7	C2	6,40	14,63	18,31
	7	C3	14,63	18,31	30,72
	7	C4	18,31	30,72	36,65
	7	C5	30,72	36,65	37,65
	8	C1	-0,69	0,31	0,73
	8	C2	0,31	0,73	0,86
	8	C3	0,73	0,86	1,27
	8	C4	0,86	1,27	2,10
	8	C5	1,27	2,10	3,10
	9	C1	-0,30	0,70	1,36

9	C2	0,70	1,36	1,67
9	C3	1,36	1,67	2,42
9	C4	1,67	2,42	4,57
9	C5	2,42	4,57	5,57
10	C1	-0,75	0,25	0,76
10	C2	0,25	0,76	0,97
10	C3	0,76	0,97	1,25
10	C4	0,97	1,25	2,94
10	C5	1,25	2,94	3,94

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 18 – Planilhas gerada pelo relatório final do *software* contendo a Base de Regras do modelo *fuzzy*.

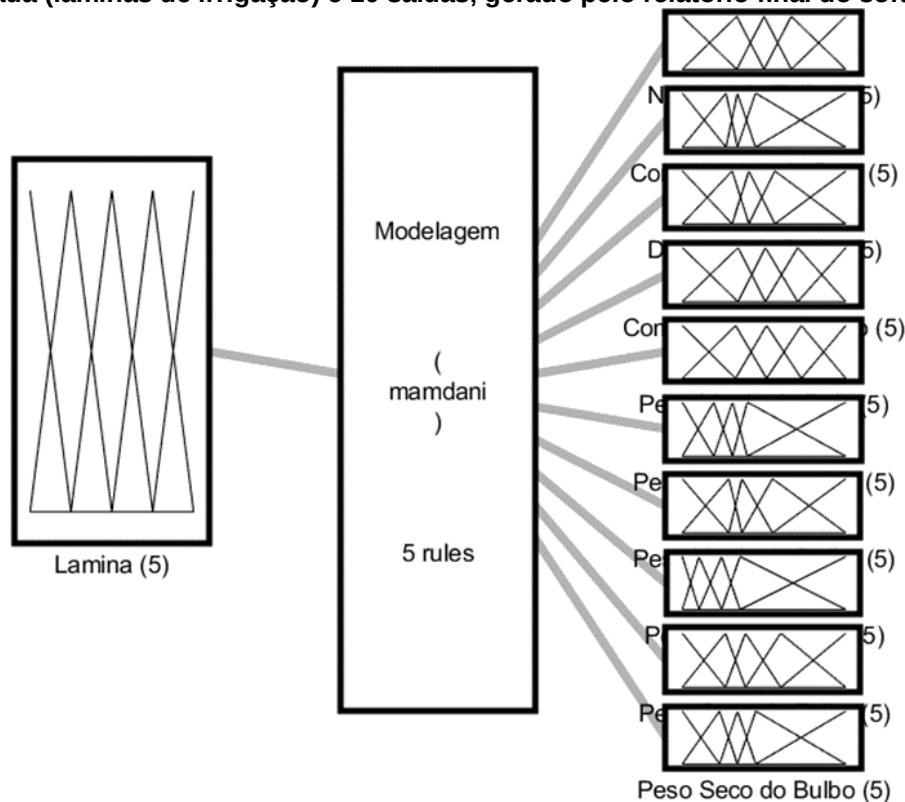
Regras	Entrada	Saída									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4
2	2	4	4	4	3	4	4	2	4	4	4
3	3	4	4	3	2	2	4	3	3	3	4
4	4	2	2	3	3	2	2	4	2	2	2
5	5	2	2	1	4	1	2	1	1	1	2

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3.2 Resultados para irrigação com ATM

Os resultados gerados pelo *software* com base no modelo *fuzzy*, considerando as variáveis biométricas do rabanete, irrigado com ATM, com uma única entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, são: estrutura geral do modelo (Figura 42), as funções de pertinência (Figura 43), ao mosaico de curvas bidimensionais (Figura 44), bem como o conjunto de figuras destas curvas (Figura 45).

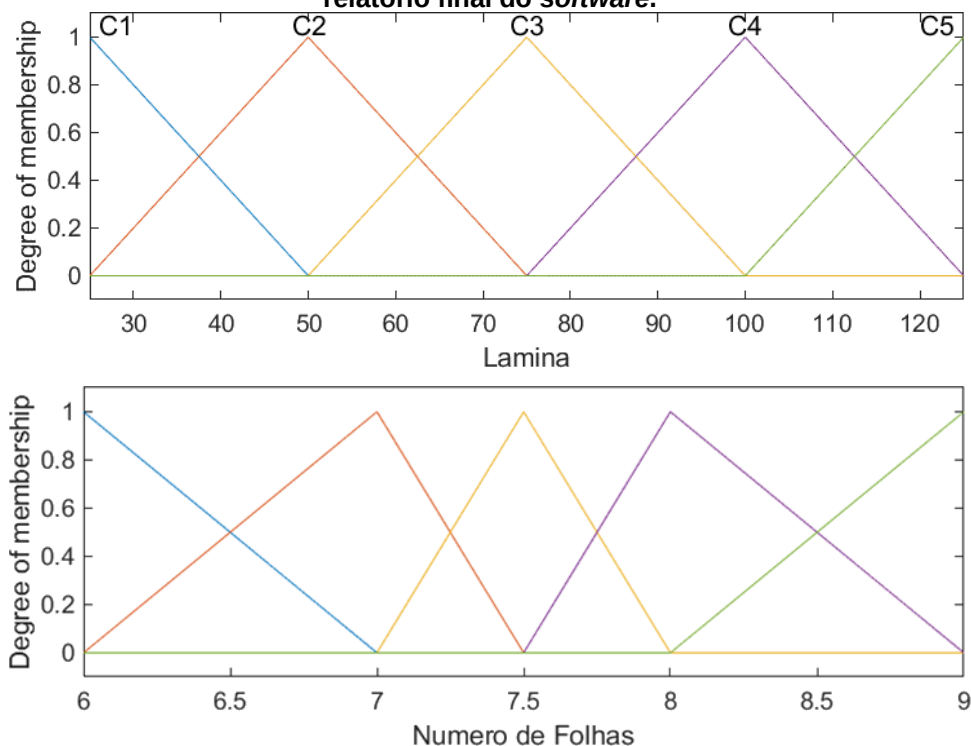
Figura 42 – Estrutura geral do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

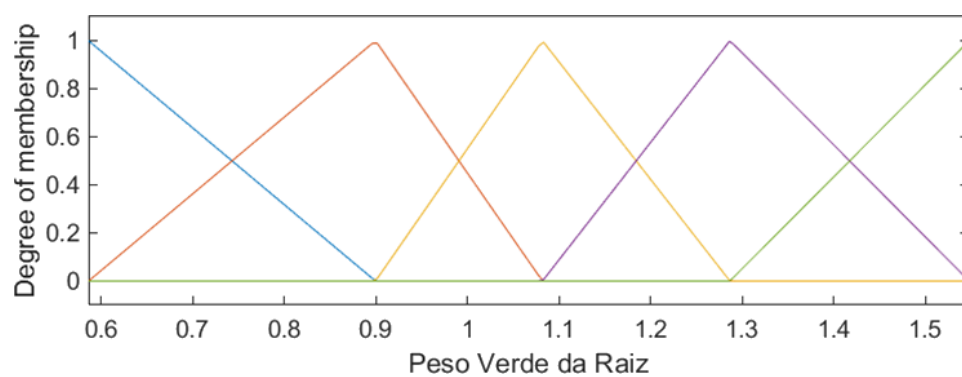
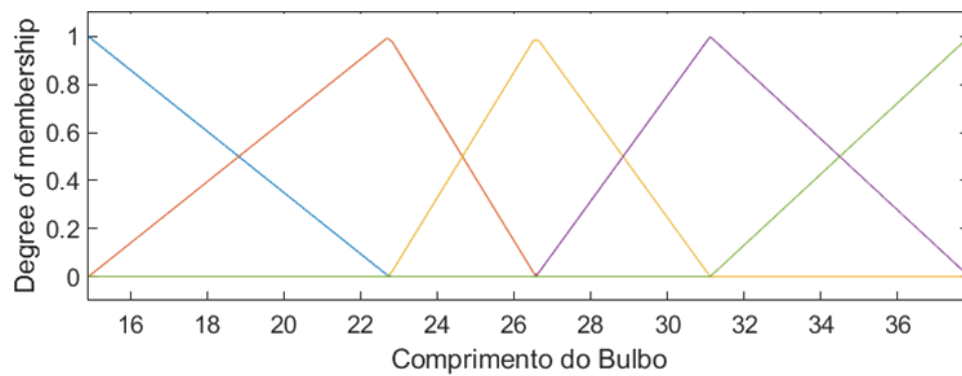
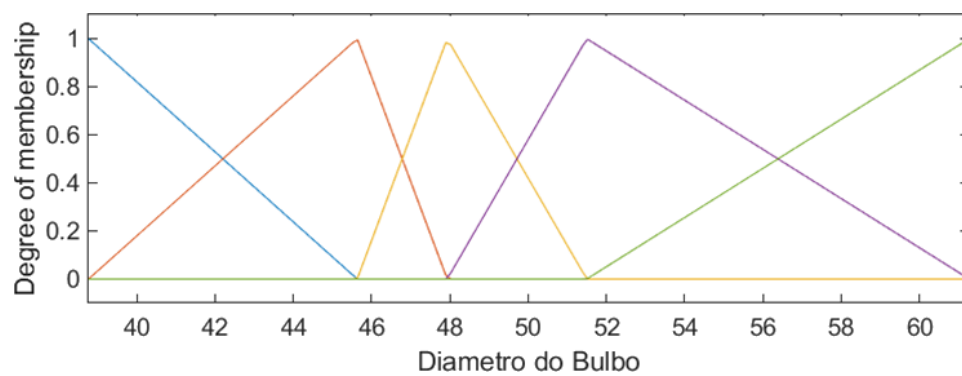
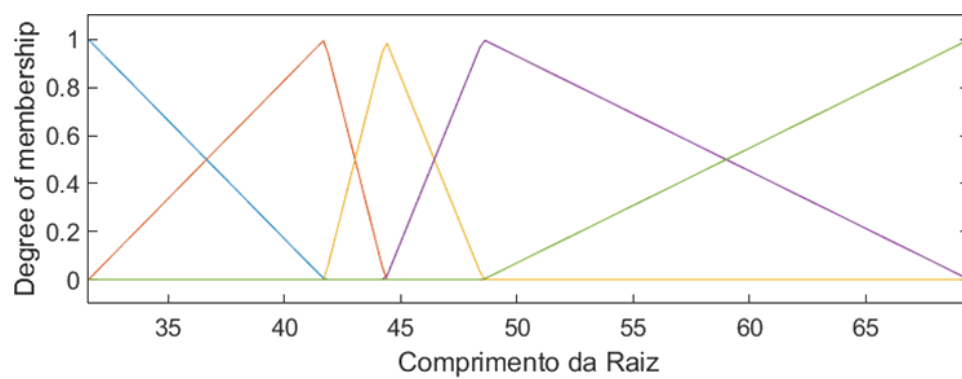


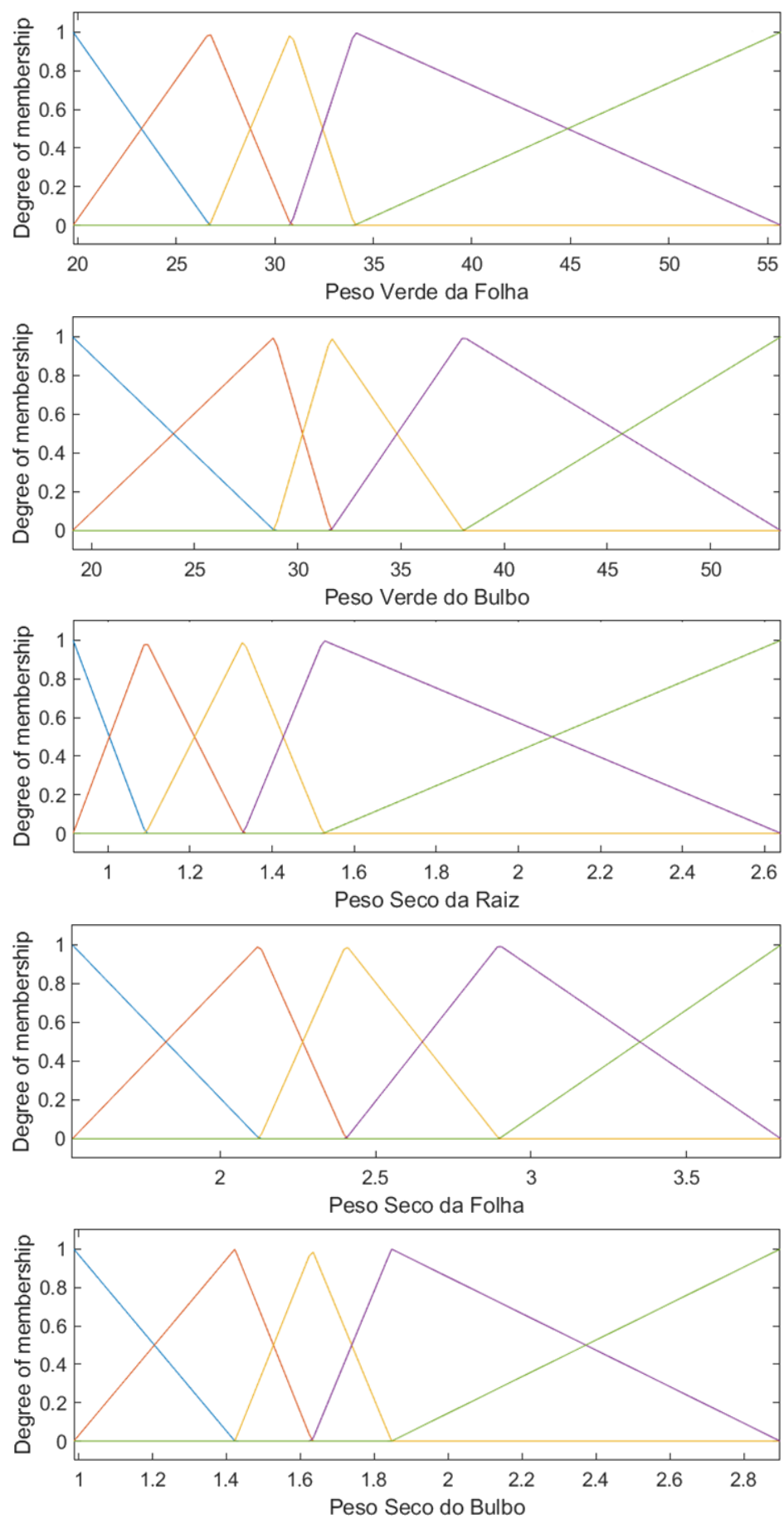
System Modelagem: 1 inputs, 10 outputs, 5 rules

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 43 – Funções de pertinência de entrada e saída do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.

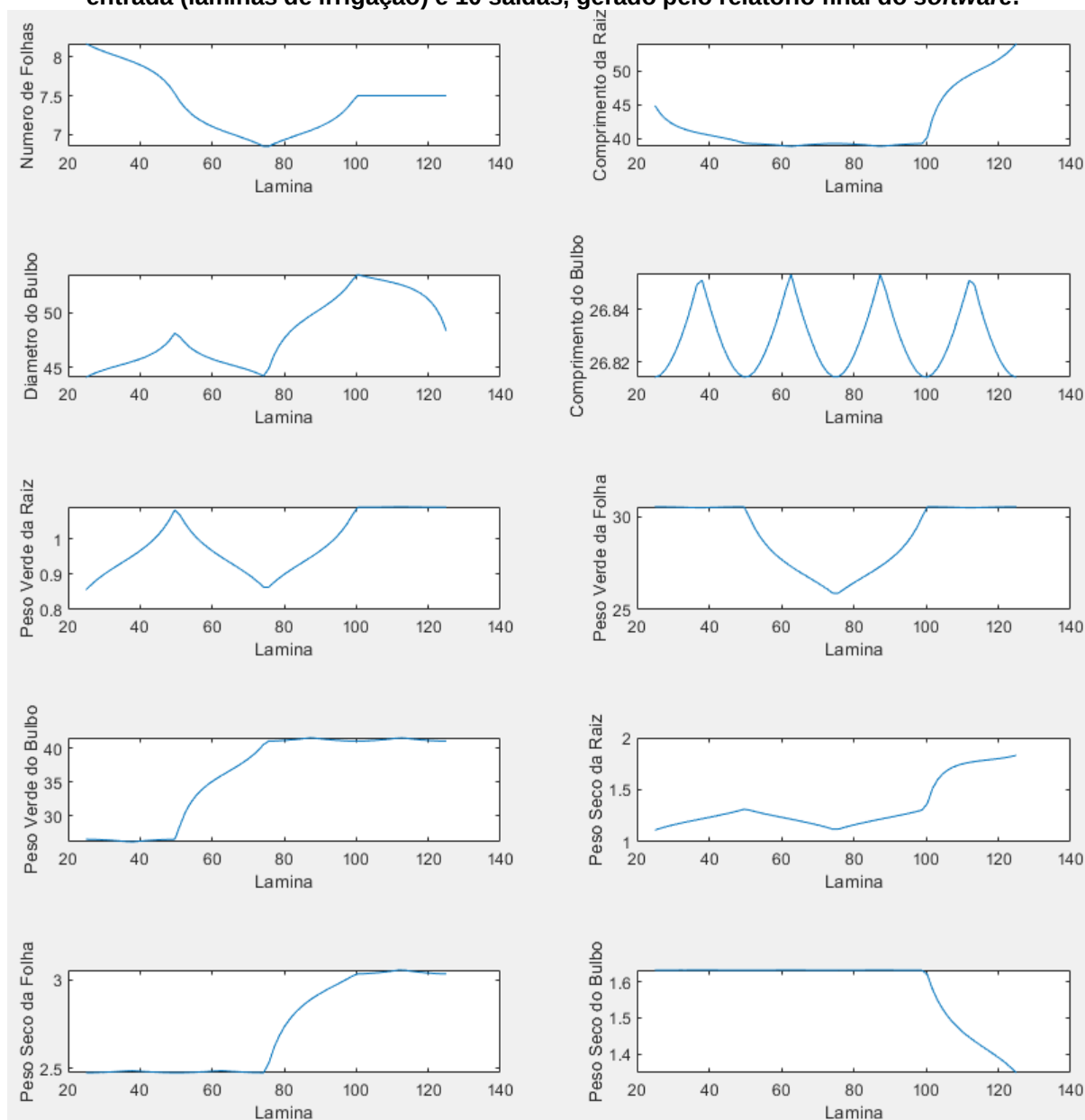






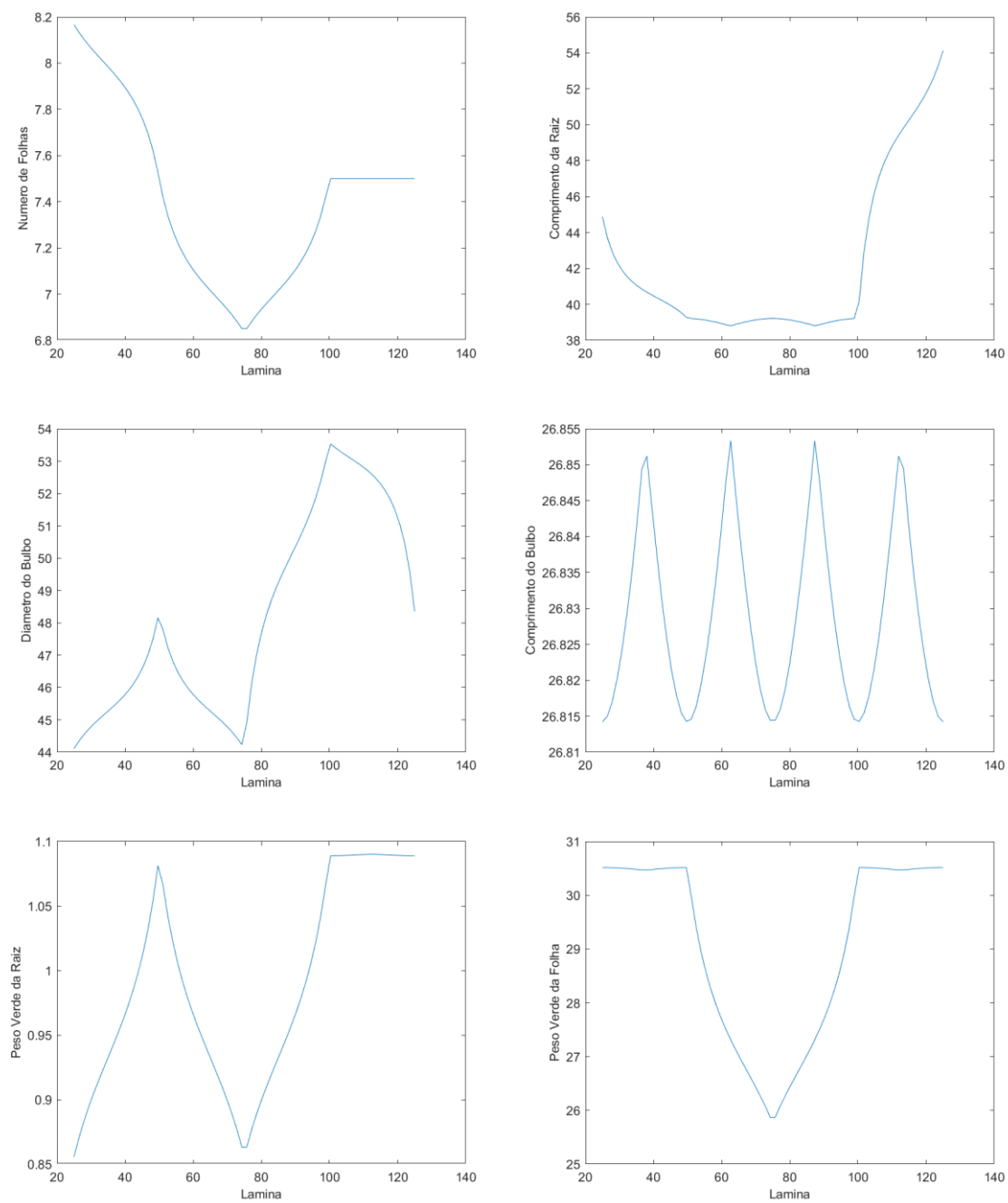
Fonte: Elaborado pelo autor.

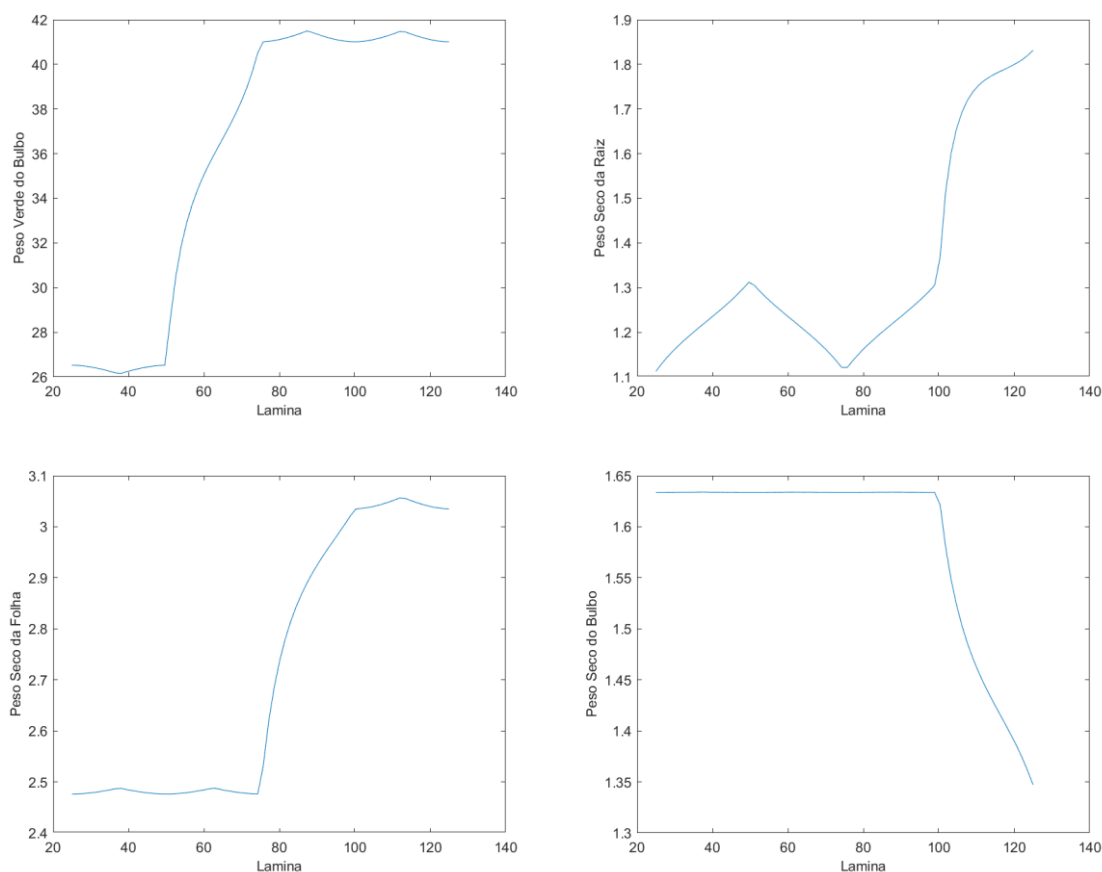
Figura 44 – Mosaico de curvas modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 45 – Curvas do modelo *fuzzy* das variáveis biométricas do rabanete, com 1 entrada (lâminas de irrigação) e 10 saídas, gerado pelo relatório final do *software*.





Fonte: Elaborado pelo autor.

As tabelas geradas consistem em todos intervalos das variáveis de entrada e saída (Tabela 19), nos parâmetros de todas funções de pertinência de entrada e saída (Tabela 20) e na base de regras (Tabela 21).

Tabela 19 – Planilhas gerada pelo relatório final do software com todos intervalos das variáveis de entrada e saída.

Variável		Limite inferior	Limite Superior
Entrada	1	25	125
	1	6	9
	2	31,57	69,47
	3	38,765	61,27
	4	14,91	37,875
Saída	5	0,586	1,54755
	6	19,76505	55,6873
	7	19,08385	53,41335
	8	0,91525	2,63995
	9	1,52525	3,80395
	10	0,98715	2,8979

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 20 – Planilhas gerada pelo relatório final do *software* contendo os parâmetros de todas funções de pertinência de Entrada e Saída do modelo *fuzzy*.

Faixas de pertinência de Entrada e Saída do modelo fuzzy.					
Variável	Conjunto Fuzzy	Delimitador 1	Delimitador 2	Delimitador 3	
Entrada	1	C1	24	25	50
	1	C2	25	50	75
	1	C3	50	75	100
	1	C4	75	100	125
	1	C5	100	125	126
Saída	1	C1	5	6	7
	1	C2	6	7	7,5
	1	C3	7	7,5	8
	1	C4	7,5	8	9
	1	C5	8	9	10
	2	C1	30,57	31,57	41,73
	2	C2	31,57	41,73	44,35
	2	C3	41,73	44,35	48,55
	2	C4	44,35	48,55	69,47
	2	C5	48,55	69,47	70,47
	3	C1	37,77	38,77	45,63
	3	C2	38,77	45,63	47,93
	3	C3	45,63	47,93	51,50
	3	C4	47,93	51,50	61,27
	3	C5	51,50	61,27	62,27
	4	C1	13,91	14,91	22,75
	4	C2	14,91	22,75	26,58
	4	C3	22,75	26,58	31,12
	4	C4	26,58	31,12	37,88
	4	C5	31,12	37,88	38,88
	5	C1	-0,41	0,59	0,90
	5	C2	0,59	0,90	1,08
	5	C3	0,90	1,08	1,29
	5	C4	1,08	1,29	1,55
	5	C5	1,29	1,55	2,55
	6	C1	18,77	19,77	26,69
	6	C2	19,77	26,69	30,82
	6	C3	26,69	30,82	34,04
	6	C4	30,82	34,04	55,69
	6	C5	34,04	55,69	56,69
	7	C1	18,08	19,08	28,87
	7	C2	19,08	28,87	31,60
	7	C3	28,87	31,60	38,02
	7	C4	31,60	38,02	53,41
	7	C5	38,02	53,41	54,41
	8	C1	-0,08	0,92	1,09
	8	C2	0,92	1,09	1,33
	8	C3	1,09	1,33	1,52
	8	C4	1,33	1,52	2,64
	8	C5	1,52	2,64	3,64
	9	C1	0,53	1,53	2,13

9	C2	1,53	2,13	2,40
9	C3	2,13	2,40	2,90
9	C4	2,40	2,90	3,80
9	C5	2,90	3,80	4,80
10	C1	-0,01	0,99	1,42
10	C2	0,99	1,42	1,63
10	C3	1,42	1,63	1,85
10	C4	1,63	1,85	2,90
10	C5	1,85	2,90	3,90

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 21 – Planilhas gerada pelo relatório final do software contendo a Base de Regras do modelo *fuzzy*.

Regras	Entrada	Saída									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	4	3	2	3	2	3	2	2	3	3
2	2	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3
3	3	2	2	2	3	2	2	4	2	3	3
4	4	3	2	4	3	3	3	4	3	4	3
5	5	3	4	3	3	3	3	4	4	4	2

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 CONCLUSÕES

O *software* para avaliação do desenvolvimento do rabaneteiro baseado em sistemas de regras *fuzzy* desenvolvido nesse trabalho é um sistema de fácil uso, com o objetivo de auxiliar os produtores estimar o desenvolvimento e a produtividade dessa cultura, com DAT entre 21 a 35 dias, considerando uma lâmina de irrigação de 100%, ou com variação de lâminas de irrigação de 25% a 125% da ET_c, considerando um DAT de 35 dias. Ambas avaliações podem ser feitas com utilização de água de irrigação convencional ou tratada magneticamente.

Já o *software* genérico pode ser utilizado para avaliar o desenvolvimento e a produção de outras culturas irrigadas, para diversas variáveis de entrada, utilizando modelagem *fuzzy* gerada por meio deste.

REFERÊNCIAS

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 3. ed. Jaboticabal-SP: Funep, 2006. 237p.

BORDIN, D. **Plataforma computacional *fuzzy* para avaliação nos estágios do tomateiro dos efeitos da irrigação e salinidade da água**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – FCE/UNESP. Tupã, 2016.

BOSO, A. C. M. R. **Modelagem matemática e computacional na avaliação do uso de água magnetizada na irrigação do rabanete utilizando o sistema Mamdani**. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – FCA/UNESP. Botucatu, 2018.

CAMARGO, G. A.; CONSOLI, L.; LELLIS, I.C.S.; MIELI, J.; SASSAKI, E.K. Bebidas naturais de frutas perspectivas de mercado, componentes funcionais e nutricionais. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 1, p. 181-195, 2007.

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.

CHOUERI, M. **Modelagem *fuzzy* para avaliação do desenvolvimento da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente sem estresse hídrico**. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – FCE/UNESP. Tupã, 2018.

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) – UNESP/FCA, Botucatu, 2008.

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

FAO - Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements - FAO - Irrigation and drainage**. Local: FAO, 1998. 56p.

FAO - Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Dia mundial da água: cuidar da água é fundamental para a segurança energética e a luta contra a fome.** Santiago do Chile, mar/2014.

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. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v. 31, n. 4, 2011.

KLAR, A. E. et al. Efeitos de diferentes lâminas de irrigação na cultura do rabanete. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 150-159, 2015.

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

MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a *Fuzzy* Logic Controller. **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 1975.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Declaração universal dos direitos da água.** 1992. In: ONU-BR. Nações Unidas no Brasil. A ONU e a água. 2010.

PAIVA, A. C. C.; LINHARES, P. C. F.; MARACAJÁ, P. B.; PEREIRA, M. F. S.; ALVES, R. F.; SILVA, E. B. R. Rabanete (*Raphanus sativus* L.) em sucessão aos cultivos de cenoura e coentro em sistema orgânico de produção. **Agropecuária Científica do Semiárido**, v.9, p.88-93, 2013.

PEREIRA, D. F.; BIGHI, C. A.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P. C. Sistema *fuzzy* para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.28, n.4, 2008.

PUTTI, F. F. et al. Desenvolvimento Inicial da Alface (*Lactuca sativa* L.) Irrigada com Água Magnetizada. **Cultivando o Saber**. Cascavel, v.6, n.3, p.83-90, 2013.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. 2^a ed. Wiley. England, 2010. 607 p.

SILVA, S. A. et al. Análise espacial da erosão hídrica em um latossolo vermelho amarelo sob cultivo de café conilon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 04, p. 335-342, 2007.

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

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Água para um mundo sustentável**. 2015.

VALENTE, D. S. M. et al. Definition of management zones in coffee production fields based on apparent soil electrical conductivity. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v. 69, n. 3, June 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). FCA/UNESP. Botucatu, 2016.

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets**. **Information Control**, p. 338-353, 1965.