UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

ALLAN LEON CASEMIRO DA SILVA

MODELO NEURO-FUZZY DOS PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E NUTRICIONAIS DA CULTURA DO TOMATEIRO SOB ESTRESSE SALINO IRRIGADO COM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE

TUPÃ - SP

2023

ALLAN LEON CASEMIRO DA SILVA

MODELO NEURO-FUZZY DOS PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E NUTRICIONAIS DA CULTURA DO TOMATEIRO SOB ESTRESSE SALINO IRRIGADO COM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE

Área de concentração: Agronegócio e Desenvolvimento

Linha de pesquisa: Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti

Coorientador: Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel

TUPÃ - SP

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Biblioteca e Documentação da FCE – Unesp, Câmpus Tupã:

S586m

Silva, Allan Leon Casemiro da..
Modelo neuro-fuzzy dos parâmetros fisiológicos e nutricionais da cultura do tomateiro sob estresse salino irrigado com água tratada magneticamente / Allan Leon Casemiro da Silva. – Tupã: [s.n.], 2023.
103 f. : il.

Tese (Doutorado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Universidade Estadual Paulista UNESP – Faculdade de Ciências e Engenharia, 2024.

Orientador: Luís Roberto Almeida Gabriel Filho
Coorientador: Fernando Ferrari Putti
Coorientador: Camila Pires Cremasco Gabriel

1. Modelagem Neuro-fuzzy. 2. Fertirrigação. 3. Salinidade. 4. Tomateiro. I. Título. II. Autor.

Fonte: Eliana Kátia Pupim, bibliotecária CRB 8 – 6202. Essa ficha não pode ser modificada.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Este estudo abre novas linhas de pesquisa em agronegócio e inteligência artificial, buscando reduzir os custos de produção ao diminuir a necessidade de água e fertilizantes, aliados a práticas sustentáveis de produção agrícola. Demonstra a tecnologia aplicada para melhorar a eficiência e sustentabilidade na agricultura, incentivando uma produção adaptada às mudanças climáticas e escassez de recursos.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This study opens new lines of research in agribusiness and artificial intelligence, aiming to reduce production costs by decreasing the need for water and fertilizers, combined with sustainable agricultural production practices. It demonstrates the technology applied to enhance efficiency and sustainability in agriculture, encouraging production that is adapted to climate change and resource scarcity.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Tupã

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Modelagem neuro-fuzzy dos parâmetros biométricos e produtivos da cultura do tomateiro sob estresse salino irrigado com água tratada magneticamente

AUTOR: ALLAN LEON CASEMIRO DA SILVA
ORIENTADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO
COORIENTADOR: FERNANDO FERRARI PUTTI
COORIENTADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências, pela Comissão Examinadora:

unesp Assinado de forma digital por Luis Roberto Almeida Gabriel Filho:26878761867 Dados: 2024.04.16 16:27:47 -03'00'

Prof. Dr. LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO (Participaçao Virtual)
Departamento de Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP

gov.br Documento assinado digitalmente FERNANDO DE LIMA CANEPPELE Data: 28/07/2023 10:11:08-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. FERNANDO DE LIMA CANEPPELE (Participaçao Virtual)
Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - FZEA - USP - Pirassununga/SP

gov.br Documento assinado digitalmente BRUNO CESAR GOES Data: 28/07/2023 10:24:48-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. BRUNO CÉSAR GÓES (Participaçao Virtual)
Programa de Pós-graduação em Sistemas de Produção na Agropecuária / Universidade José do Rosário Vellano - UNIFENAS - Alfenas/MG

gov.br Documento assinado digitalmente SERGIO AUGUSTO RODRIGUES Data: 27/07/2023 18:09:54-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO RODRIGUES (Participaçao Virtual)
Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA - UNESP - Botucatu/SP

gov.br Documento assinado digitalmente RAUL ANDRES MARTINEZ URIBE Data: 28/07/2023 14:56:42-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. RAUL ANDRES MARTINEZ URIBE (Participaçao Virtual)
Departamento de Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã/SP

Tupã, 28 de fevereiro de 2023

Dedico esta pesquisa para minha família de quem tive incentivo em todos os momentos para que pudesse concluir mais essa etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em uma trajetória marcada por sua vastidão e intricada complexidade, incontáveis indivíduos deixaram sua marca indelével, permitindo que este trabalho também se configurasse como um mosaico composto pelos ensinamentos e influências daqueles que, de maneira direta ou indireta, acompanharam-me nesta jornada enriquecedora. Minha profunda gratidão a Deus, cuja benevolência divina foi o alicerce de minha existência, concedendo-me não apenas o dom da vida, mas também fortaleza nos momentos de profunda vulnerabilidade.

Com imenso respeito e admiração, presto homenagem ao meu orientador, Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho, cuja erudição notável e generosidade no compartilhamento de conhecimento foram fundamentais. Sua paciência inabalável, aliada à gentileza e perspicácia nas orientações, foram pilares que sustentaram o desenvolvimento deste estudo.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti, expresso minha sincera gratidão pelo suporte inestimável e pelo estímulo constante, guiando-me pelos caminhos do saber com uma tranquilidade e segurança que dissiparam as nuvens de incerteza que por vezes obscureciam minha jornada.

À Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel, sou eternamente grato pela assistência e suporte incondicionais nos momentos mais desafiadores, caracterizados sempre por uma serenidade comunicativa e uma colaboração inestimável que transcendem a descrição.

Elevando meu reconhecimento à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), no Campus de Tupã, registro minha profunda estima por esta instituição que não somente foi meu ambiente de trabalho, mas também o berço de minha formação acadêmica e profissional, desde a graduação até o atual estágio de Pós-Graduação no programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento (PGAD). Esta instituição representou um cenário de inestimável valor para o meu crescimento intelectual e pessoal.

“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos” (Fernando Pessoa).

SILVA, Allan Leon Casemiro da. Modelo *neuro-fuzzy* dos parâmetros fisiológicos e nutricionais da cultura do tomateiro sob estresse salino irrigado com água tratada magneticamente. Tupã: UNESP, 2023. 96 f. Tese (Doutorado em Agronegócio e Desenvolvimento) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Tupã, 2023.

RESUMO

Pesquisas indicam que a irrigação com água tratada magneticamente (ATM) potencializa o rendimento de culturas. Este estudo se dedica à aplicação de modelos neuro-fuzzy para avaliar a influência da ATM em tomateiros, confrontando diferentes graus de salinidade. Utiliza-se a modelagem neuro-fuzzy ANFIS, notável por precisar em modelar sistemas complexos, para investigar a eficácia da ATM na melhoria de parâmetros biométricos do tomateiro, oferecendo insights para uma agricultura mais produtiva e sustentável. Os objetivos incluem revisão bibliográfica sobre ATM em irrigação, desenvolvimento de modelos neuro-fuzzy para examinar variáveis biométricas e produtivas sob variadas salinidades, e análise econômica da ATM em tomateiros. Espera-se que os resultados orientem a adoção da ATM, visando elevar a produtividade e sustentabilidade. Ao comparar a eficácia da ATM com a água não tratada em diferentes salinidades, o estudo contribui para o progresso científico e prático em irrigação e manejo de culturas sob estresse, destacando a importância de abordagens inovadoras e sustentáveis diante dos desafios atuais da agricultura.

Palavras-chave: Modelagem Neuro-fuzzy, fertirrigação, salinidade.

SILVA, Allan Leon Casemiro da. Neuro-fuzzy model of physiological and nutritional parameters of tomato culture under saline stress irrigated with magnetically treated water. Tupa: UNESP, 2023. 96 f. Thesis (Doctorate in Agribusiness and Development) - São Paulo State University, Faculty of Science and Technology. Tupã, 2023.

ABSTRACT

Research indicates that irrigation with magnetically treated water (MTW) enhances the yield of crops. This study is dedicated to the application of neuro-fuzzy models to assess the influence of MTW on tomato plants, confronting different degrees of salinity. The neuro-fuzzy ANFIS modeling, notable for its precision in modeling complex systems, is used to investigate the efficacy of MTW in improving the biometric parameters of tomato plants, offering insights for a more productive and sustainable agriculture. The objectives include a bibliographic review on MTW in irrigation, development of neuro-fuzzy models to examine biometric and productive variables under various salinities, and an economic analysis of MTW in tomato cultivation. The findings are expected to guide the adoption of MTW, aiming to increase productivity and sustainability. By comparing the effectiveness of MTW with untreated water under different salinities, the study contributes to scientific and practical progress in irrigation and crop management under stress, highlighting the importance of innovative and sustainable approaches in the face of current agricultural challenges.

Keywords: Neuro-fuzzy modeling, fertigation, salinity.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL DA TESE 13

REFERÊNCIAS 17

CAPÍTULO I - RESULTADOS DO USO DA ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE (ATM) NA IRRIGAÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA ... 19

1 INTRODUÇÃO 19

2 METODOLOGIA 21

2.1 ENTRADA 22

2.2 PROCESSAMENTO - SELEÇÃO, CATALOGAÇÃO E ANÁLISE DOS ARTIGOS SELECIONADOS 22

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES 23

3.1 ARTIGO NA ÁREA DE IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE 23

3.2 SAÍDA - RELATÓRIO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA (RBS) .. 28

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 39

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO 40

CAPÍTULO II - ESTIMATIVA DOS PARÂMETOS BIOMÉTRICOS NA CULTURA DO TOMATEIRO SOB ESTRESE SALINO IRRIGADOS COM ÁGUA NÃO TRATADA (ANT) E ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE (ATM) UTILIZANDO MODELAGEM NEURO-FUZZY 44

1 INTRODUÇÃO 44

2 MATERIAIS E MÉTODOS 48

2.1 DO EXPERIMENTO REALIZADO 48

2.2 MODELAGEM *NEURO-FUZZY* 50

2.4 MODELAGEM ESTATÍSTICA PARA COMPARAÇÃO DOS MODELOS 52

3.2 CONJUNTOS NEUROFUZZY DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA 58

3.3 TREINAMENTO DOS MODELO NEURO-FUZZY ANFIS 60

3.4 SAÍDA DA MODELAGEM NEURO-FUZZY 65

3.4 COMPARATIVO ESTATÍSTICO MODELAGEM NEURO-FUZZY E DA REGRESSÃO POLIINOMIAL 67

4 CONCLUSÕES 71

CAPÍTULO III – VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE TOMATES EM ESTUFAS IRRIGADOS COM ÁGUA NÃO TRATADA (ANT) E ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE (ATM) 76

2 MATERIAIS E MÉTODOS.....79

2.1 DO EXPERIMENTO REALIZADO 79

2.2 MODELAGEM NEURO-FUZZY 79

2.4 MODELAGEM ESTATÍSTICA PARA COMPARAÇÃO DOS MODELOS 80

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 83

3.1 MODELAGEM *NEURO-FUZZY* DA PRODUTIVIDADE DO TOMATEIRO 83

3.1.1 Conjuntos neuro-fuzzy das variáveis de entrada.....84

3.1.2 Treinamento dos modelos *neuro-fuzzy* ANFIS.....85

3.1.3 Saída da modelagem *neuro-fuzzy* 87

3.2 COMPARATIVO ESTATÍSTICO MODELAGEM *NEURO-FUZZY* E DA REGRESSÃO POLIINOMIAL 89

4 CONCLUSÕES 95

CONCLUSÃO GERAL DA TESE.....99

ANEXO 01 - PLANTIO PROTEGIDO - TOMATE ÁGUA NÃO TRATADA - ANT 101

ANEXO 02 - PLANTIO PROTEGIDO - TOMATE EM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE – ATM.....103

INTRODUÇÃO GERAL DA TESE

As mudanças climáticas são uma das principais preocupações da sociedade moderna. Como protagonista destas preocupações, a produção de alimentos, a segurança alimentar e o uso de recursos hídricos na agricultura, apresentam desafios, que precisam ser discutidos.

Isso é agravado pela necessidade de produção agrícola em regiões com vulnerabilidade hídrica, como regiões áridas e semiáridas, onde o desenvolvimento agrícola necessita de alternativas para o alto consumo de água pelas culturas, direcionando a produção para a agricultura mais sustentável.

Outro fator que tem agravado esse problema é o aumento da salinidade dos solos que influencia o crescimento e a produtividade das plantas devido às suas características físico-químicas, causada tanto pela degradação ambiental, quanto pelo manejo inadequado no campo, com a aplicação incorreta de fertilizantes e técnicas extensivas de irrigação. (TAN E WANG, 2017; ZHOU et al., 2021).

Muitas pesquisas foram direcionadas para o uso de água tratada magneticamente na irrigação de diversas culturas. Zhao et al. (2021) obtiveram melhor rendimento de grãos para o trigo, Alavi et al. (2021), sugeriram a melhoria de absorção de nutrientes para as plantas irrigadas com ATM, Zhou et al. (2021) e Zang et al. (2021), apontaram ganhos no crescimento do algodão irrigados com ATM sob estresse salino.

A água tratada magneticamente é aquela submetida a passagem por um campo magnético, que organiza os íons, permitindo maior solubilidade e reduzindo efeitos adversos efeitos da salinidade no crescimento das plantas (DA SILVA E DOBRÁNSZKI, 2014; FAIZY, 2019), Esse processo também aumenta capacidade de penetração da água nas células da raiz, reduzindo viscosidade da água, pela quebra das ligações de hidrogênio promovendo maior a absorção de água pelas raízes (ELHINDI; AL-MANA; ALGAHTANI; ALOTAIBI; 2020).

Mesmo que essas variáveis fossem analisadas individualmente os dados já denotariam uma dificuldade na interpretação aplicada à irrigação de uma cultura específica (ALAVI et al., 2010) Com a maior complexidade de dados, utilizando a interação de variáveis como irrigação, salinidade, tipos de água (água não tratada ou água tratada magneticamente como variáveis dependentes ou independentes envolvidas na tomada de decisão, tornam os sistemas especialistas mais

complexos, reduzindo a precisão dos resultados (NADERLOO et al. 2012).

Mazieiro et at. (2021) o sistema de inferência *neuro-fuzzy* adaptável (ANFIS) apresenta eficácia na estimativa de parâmetros, sobretudo em contextos de modelos matemáticos de natureza complexa e multivariada. Esses modelos, quando submetidos ao ANFIS, frequentemente alcançam níveis de precisão superiores em comparação com aqueles obtidos através do método de regressão linear múltipla.

Os sistemas fuzzy e *neuro-fuzzy* (ANFIS) tem sido amplamente utilizado para análise de dados, modelagem matemática e criação de sistemas especialistas ligados às ciências agrárias como apresentado por Ferrari (2018), Viais Neto et al. (2018) e Silva et al. (2014).

Assim, o presente trabalho buscou o desenvolvimento de modelagens matemáticas *neuro-fuzzy*, que possam direcionar a interação dos diversos níveis de salinidade nos índices biométricos do tomateiro, irrigados tanto com água não tratada (ANT) quanto com água tratada magneticamente (ATM). E posteriormente a realização da viabilidade econômica do uso desta tecnologia para produção do tomateiro.

Espera-se que os resultados deste trabalho sirvam como base para auxiliar e direcionar trabalhos quanto ao uso de água tratada magneticamente na irrigação e a eventual produtividade de culturas aplicadas ao agronegócio, possibilitando um avanço na fronteira do conhecimento desta área.

Diante da problemática apresentada acima, o presente trabalho tem como objetivo geral: Avaliar a eficiência do uso de água não tratada (ANT) e água tratada magneticamente (ATM) nos parâmetros biométricos do tomateiro irrigados com diferentes níveis de salinidade, por meio da modelagem matemática *neuro-fuzzy* ANFIS.

Assim delineou-se como objetivos específicos:

1. Realizar uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) sobre o uso água tratada magneticamente na irrigação;
2. Desenvolver modelagem matemática, baseada em *neuro-fuzzy* para analisar as variáveis de biométricas do tomateiro irrigado com diferentes níveis de salinidade de água não tratada (ANT) e água tratada magneticamente (ATM);
3. Desenvolver modelagem matemática, baseada em neuro-fuzzy para analisar as variáveis produtivas e realizar a viabilidade econômica do

tomateiro irrigado com diferentes níveis de salinidade de água não tratada (ANT) e água tratada magneticamente (ATM);

A configuração do presente trabalho foi delineada, com os capítulos estruturados de maneira a atender os objetivos específicos previamente estabelecidos. Em conformidade com este arranjo, cada capítulo foi elaborado seguindo o formato de um artigo científico, abrangendo seções de introdução, revisão de literatura, metodologia e apresentação dos resultados. Uma conclusão abrangente foi formulada, visando a integração e análise crítica dos resultados obtidos, em alinhamento com o objetivo geral da pesquisa.

O Quadro 01, abaixo, apresenta o detalhamento dos objetivos, abordagens de pesquisa utilizadas e as fontes dos dados utilizados na pesquisa.

Quadro 1 - Quadro metodológico da pesquisa

OBJETIVO GERAL Avaliar a eficiência do uso de água não tratada (ANT) e água tratada magneticamente (ATM) nos parâmetros biométricos e produtivos do tomateiro irrigados com diferentes níveis de salinidade, por meio da modelagem matemática neuro-fuzzy ANFIS.		
OBJETIVO ESPECÍFICO 1. Realizar uma RBS sobre o uso água tratada magneticamente na irrigação;	**OBJETIVO ESPECÍFICO** 2. Desenvolver modelagem matemática, baseada em neuro-fuzzy para analisar as variáveis biométricas do tomateiro irrigado com diferentes níveis de salinidade de água não tratada (ANT) e água tratada magneticamente (ATM);	**OBJETIVO ESPECÍFICO** 3. Desenvolver modelagem matemática, baseada em neuro-fuzzy para analisar as variáveis produtivas e realizar a viabilidade econômica do tomateiro irrigado com diferentes níveis de salinidade de água não tratada (ANT) e água tratada magneticamente (ATM);
METODOLOGIA Pesquisa Exploratória; Abordagem Qualitativa; Revisão Bibliográfica Sistemática – RBS.	**METODOLOGIA** Pesquisa Explicativa; Abordagem Qualitativa; Procedimento experimental.	**METODOLOGIA** Pesquisa Explicativa; Abordagem Quantitativa;
FONTE DE DADOS Portal de Periódicos da Capes; SCOPUS; Web of Science	**FONTE DE DADOS** Dados primários da pesquisa; Dados secudários de especialistas;	**FONTE DE DADOS** Dados primários da pesquisa; Dados secudários de bases de dados do agronegócio;

Fonte: elaborado pelo autor

De acordo com a estrutura supracitada, apresenta-se um breve relato sobre desenvolvimento de cada um dos capítulos/artigos.

No **Capítulo I**, "*Resultados do uso da água tratada magneticamente (ATM) na irrigação: uma revisão sistemática*", objetivou-se o levantamento de referencial teórico, compilação e análise da literatura científica, bem como a identificação e avaliação dos métodos predominantemente empregados na magnetização da água, destinada à utilização experimental. Esta fase preliminar possibilitou a caracterização e compreensão das variáveis relativas ao emprego de água magnetizada em processos de irrigação, facilitando assim a coleta, análise e sistematização das informações que constituíram a base teórica da investigação e delinearam o panorama atual do conhecimento no campo específico.

Adicionalmente, o estudo corroborou com a hipótese de que a utilização de água tratada por meio de magnetização na irrigação contribui significativamente para o aprimoramento dos índices de germinação, produtividade e crescimento vegetal. Esta constatação foi evidenciada tanto em ambientes controlados, como laboratórios, quanto em condições reais de campo, reiterando a eficácia e viabilidade do uso de água magnetizada em práticas agrícolas sustentáveis e inovadoras.

O **Capítulo II**, denominado *"Estimativa dos parâmetros biométricos na cultura do tomateiro sob estrese salino irrigados com água não tratada (ANT) e água tratada magneticamente (ATM) utilizando modelagem neuro-fuzzy",* atende ao segundo objetivo específico desta pesquisa. Neste capítulo foi utilizada uma comparação do modelo matemático baseado em *neuro-fuzzy* com a regressão dos dados biométricos e de produção da cultura do tomateiro, utilizando cálculo dos índices estatísticos: Coeficiente de determinação (R^2), Erro do Quadrado Médio (RMSE) e Erro Absoluto Médio (MAE), em relação à regressão. O capítulo apontou a eficiência superior da modelagem baseada em *neuro-fuzzy* ANFIS, sobre a regressão dos dados e permitiu avaliar os efeitos da irrigação com água não tratada (ANT) e água tratada magneticamente (ATM) no tomateiro sob estresse salino.

O **Capítulo III**, intitulado "Estimativa de produtividade e v*iabilidade econômica na produção de tomates em estufas irrigados com água não tratada (ANT) e água tratada magneticamente (ATM)"* teve como objetivo a comparação de um modelo matemático baseado em *neuro-fuzzy* com a regressão dos dados biométricos e de produção da cultura do tomateiro e realizar a viabilidade da produção de tomateiros utilizando os dois tipos de tratamento de água. A viabilidade

foi construída com os resultados de produção do tomateiro levantados na pesquisa, considerando a lâmina de salinidade mais produtiva.

REFERÊNCIAS

ALAVI, N., NOZARI, V., MAZLOUMZADEH, S.M. et al. Irrigation water quality evaluation using adaptive network-based fuzzy inference system. **Paddy Water Environ**, v.8, 2010. Doi.org/10.1007/s10333-010-0206-6

ALAVI, S.A., GHEHSAREH, A.M., SOLEYMANI, A.. Enhanced nutrient uptake in salt stressed Mentha piperita using magnetically treated water. **Protoplasma.** v. 258, p. 403–414, 2021. DOI:10.1007/s00709-020-01547-4

DA SILVA, J. T., DOBRÁNSZKI, J.,. Impact of magnetic water on plant growth. **Environmental and Experimental Biology**. v.12, 2014.

ELHINDI, K.M; AL-MANA, F.A.; ALGAHTANI, M.A; ALOTAIBI M.A, Effect of irrigation with saline magnetized water and different soil amendments on growth and flower production of Calendula officinalis L. plants. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 11, p. 3072-3078, 2020.

FAIZY, H. S. Effect of phosphor fertilizer, magnetic water and humic acid on the growth, photosynthesis pigments and oil yield components of nigella sativa plant. **Mesopotamia Journal of Agriculture**, v. 47, n. 2, 2019.

FERRARI, J. M. S. **Análise da produtividade e das variáveis biométricas do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação com água tratada magneticamente utilizando modelagem neuro-fuzzy**. Botucatu: UNESP, 2018. 105 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2018.

JANG, J.-S. R.; SUN, C.-T.; MIZUNAMI, E.; **Neuro-fuzzy and Soft Computing,** 1997 Prentice Hall.

HACHICHA M.; KAHLAOUI B., KHAMASSI N., MISLE E., JOUZDAN O. Effect of electromagnetic treatment of saline water on soil and crops. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. v.17, p.154-162, 2018. DOI: 10.1016/j.jssas.2016.03.003

NADERLOO L., ALIMARDANI R., OMID M., SARMADIAN F., JAVADIKIA P., TORABI M.Y., ALIMARDANI F. Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. **Measurement**, v. 45, 2012.

MAZIERO, L. P.; FREDERICK, S. L.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Modelagem *neuro-fuzzy* da evapotranspiração de referência baseada no método de camargo: *Neuro-fuzzy* modeling of evapotranspiration. **IRRIGA**, v. 1, n. 3, p. 489-505, 2021.

SILVA, A. A. V.; SILVA, I. A. F.; FILHO, M.C. M.T.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA, M. C. M. Estimativa da produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando

modelagem *neuro-fuzzy*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.2, p.180–187, 2014.

TAN, S., WANG, Q.J.; Evaluating effects of four controlling methods in bare strips on soil temperature, water, and salt accumulation under film-mulched drip irrigation. **Field Crop Res**. v. 214. 2017.

VIAIS NETO, D.S; PRADELA, V.A; GABRIEL FILHO. L.R.A; CREMASCO, C.P; MARIA, A.C.G; OLIVEIRA, G.S. Modelagem fuzzy para avaliação da produção de mudas de tomate cereja utilizando diferentes doses de polímeros e níveis de irrigação. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n.3, Jul-Set. 2018.

ZHOU B.; YANG L.; CHEN X.; YE S.; PENG Y.; LIANG C.. Effect of magnetic water irrigation on the improvement of salinized soil and cotton growth in Xinjiang. **Agric Water Manag**. v. 248. 2021. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.106784.

ZHAO, G.; MU, Y.; WANG, Y.. Response of winter-wheat grain yield and water-use efficiency to irrigation with activated water on Guanzhong Plain in China. **Irrigation Science**. v.39, p. 1-14, 2021. DOI:10.1007/s00271-020-00706-y.

CAPÍTULO I - RESULTADOS DO USO DA ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE (ATM) NA IRRIGAÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

1 INTRODUÇÃO

Semelhante a outras tecnologias destinadas ao incremento da produtividade agrícola, a irrigação necessita ser integrada a sistemas tecnológicos complementares para alcançar níveis de produtividade elevados. Lopes (2007) menciona que a aplicação de irrigação com água magnetizada se apoia nos avanços dos sistemas de irrigação tradicionais, incorporando um elemento inovador, que consiste na indução de transferência de prótons nas pontes de hidrogênio das moléculas de água, quando estas são expostas a um campo magnético estático externo.

A conversão da água em água tratada magneticamente demanda a ação de uma força eletromotriz, que é induzida em um enrolamento espiral, condicionada à variação do número de linhas de campo magnético que a atravessa, conforme descrito por AGHAMIR et al. (2015).

Alkhatib, Abdo e Al-Eitan (2020), ressaltam que a aplicação de um campo magnético na água, causa mudanças na distribuição de íons nas camadas difusas e leva à organização desses íons. O fluxo das cargas negativas e positivas aumenta a força de colisão entre as moléculas, levando a maior precipitação de metais e presenças de compostos insolúveis.

Os avanços nas áreas de fertilidade, manejo e genética levaram a uma nova realidade agrícola onde o estresse hídrico e o excesso de água no solo emergem como os desafios dominantes, exigindo a adoção de irrigação e drenagem como meios vitais para alcançar a produtividade desejada (REZENDE et al. 2004)

Putti (2014) coloca que plantas irrigadas com água tratada magneticamente facilmente levam os sais minerais do solo não sendo formados sedimentos neste. Isso também acarreta o melhor aproveitamento dos fertilizantes orgânicos e minerais pelas plantas, o que resulta, na redução da necessidade de utilização em até 50%.

Uma investigação aprofundada que possibilita a contextualização adequada do conhecimento adquirido e a aplicação efetiva da metodologia sugerida em variadas culturas agrícolas. Isso envolve uma análise minuciosa das especificidades e necessidades de diferentes espécies vegetais para garantir a adaptabilidade e eficácia do método em estudo.

Montori, Swiontkowski e Cook (2003) apontam que ao realizar um estudo de um objeto complexo, que conta com variáveis de evidência, é necessário um levantamento teórico que consiga abarcar a complexidade do estudo envolvido, e que as revisões bibliográficas tradicionais e assistemáticas não são uma abordagem apropriada para resumir as evidências. A metodologia mais indicada seria uma revisão sistemática de todos os estudos disponíveis com o intuito de obter uma medida imparcial e precisa da verdadeira magnitude e direção da associação entre eventos que fosse amplamente aplicável.

Necessita-se examinar os resultados já obtidos em estudos anteriores, com o objetivo de identificar padrões, limitações e possíveis áreas de melhoria. Essa avaliação deve abranger uma revisão sistemática da literatura científica, análise de dados de campo e estudos de caso, proporcionando uma compreensão holística dos impactos e da viabilidade da metodologia em diferentes contextos agronômicos.

As revisões sistemáticas têm que ser baseadas em uma estratégia de busca extensiva, em diversas bases indexadas, para que sejam diminuídos os vieses de publicação e critérios de seleção e avaliação da qualidade dos artigos. Isso permite realizar uma análise com a maior quantidade de variáveis possíveis, e explorar possíveis razões para diferenças entre os resultados dos estudos levantados. (SIMUNOVIC, SPRAGUE e BHANDARI, 2009).

PAI et al. (2004) ressalta que para o bom desenvolvimento de uma revisão sistemática tem que ser descrito claramente os critérios pré-estabelecidos sobre os das variáveis de entradas, utilizando apenas estudos de alta qualidade com critérios pré-estabelecidos de avaliação de qualidade explícita para garantir a heterogeneidade dos resultados, sendo a análise sistemática menos sujeita ao viés de interpretação do pesquisador.

Neste sentido a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) sobre os métodos de tratamento magnético é imprescindível para que seja utilizado um método adequado à cultura proposta, buscando assim uma melhor contextualização teórica para a parte experimental da pesquisa.

A adoção da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) para a coleta,

organização e análise de dados é fundamentada pela necessidade de explorar profundamente e compreender o panorama atual do conhecimento relativo à água tratada magneticamente, além de facilitar a quantificação dos estudos conforme a temporalidade e a metodologia delineadas por Conforto, Amaral e Silva (2011).

Dentro desse quadro, e em busca de fundamentos que propiciem reflexões mais embasadas para o desenvolvimento da pesquisa em questão, este estudo visa realizar uma RBS focada na utilização de água tratada magneticamente para irrigação. O objetivo é investigar como essa prática pode influenciar positivamente os parâmetros de produção e nutrição das plantas.

2 METODOLOGIA

Tendo em vista a objeto do presente trabalho, e considerando as diversas metodologias existentes para realização de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), foi seguido o mesmo procedimento metodológico adotado por Levy e Ellis (2006) e Conforto, Amaral e Silva (2011), conforme Figura 1, por melhor caracterizar as etapas a serem seguidas para realização desta, favorecendo o levantamento de resultados contundentes.

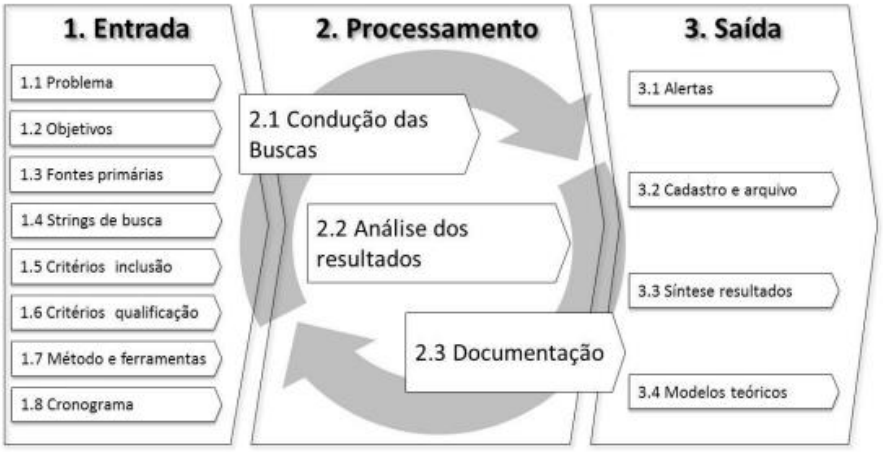


Figura 1- Roadmap da Revisão Bibliográfica Sistemática Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011)

A vantagem da utilização da metodologia proposta por Levy e Ellis (2006) e Conforto, Amaral e Silva (2011) é que essa permite um delineamento qualitativo e uma análise quantitativa, permitindo uma análise comparativa dos trabalhos levantados, quanto ao método de magnetização, e resultados biométricos nas plantas.

2.1 ENTRADA

Os problemas e objetivos da presente revisão sistemática, tiveram como base os objetivos gerais da Tese e foram delineados para responder a seguinte problemática: Quais os resultados de produtividade e biométricos em plantas irrigadas com água tratada magneticamente em plantas. Que servirá como base das discussões futuras e do aprimoramento da modelagem matemáticas futura dos dados obtidos.

Foram escolhidas duas bases de dados e uma biblioteca virtual: SCOPUS, Science Direct, e o Portal de Periódicos CAPES, tendo em vista sua relevância e importância na área objeto desta pesquisa.

2.2 PROCESSAMENTO - SELEÇÃO, CATALOGAÇÃO E ANÁLISE DOS ARTIGOS SELECIONADOS

Tendo em vista os objetivos da pesquisa, buscou-se a adoção de critérios e pressuposições que resultassem em um levantamento do método de tratamento magnético da água, partindo da hipótese que a adoção desta tecnologia na irrigação aumenta a produtividade de diversas culturas.

Para realização da RBS, no “Filtro 1”, foi escolhida a palavra-chave “*Magnetically treated water*”, que representa a principal fonte de informações do assunto pretendido na pesquisa. No “Filtro 2” a busca booleana utilizada nesse filtro seguiu a seguinte sequência de critérios: *“Magnetically treated water”* OR “água tratada magneticamente” AND “Irrigação” or *“Irrigation”* A adoção do critério “Irrigação” foi utilizada como forma de restringir a utilização apenas para o campo de interesse da pesquisa.

Como “Filtro 3” foi utilizado o recorte temporal de coleta (2011 a 2021); seleção apenas de artigos de periódicos e, por fim, a restrição das áreas temáticas de interesse (*Agricultural and Biological Sciences*). E como “Filtro 4” foi realizada a seleção dos artigos de interesse, nessa primeira etapa de seleção, foram realizadas leituras atentas em relação ao título, ao resumo e as palavras-chave.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ARTIGO NA ÁREA DE IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE

Os critérios utilizados para seleção e os resultados obtidos em cada fase do processo estão detalhados na Tabela 1. Utilizando quatro critérios específicos de filtragem, identificaram-se, na etapa inicial de seleção, um total de 55 artigos científicos, distribuídos da seguinte forma: 11 oriundos da base de dados Science Direct, 25 da SCOPUS e 19 do Portal de Periódicos da Capes.

A Tabela 1 ilustra a distribuição dos artigos recuperados por base de dados e os resultados decorrentes da aplicação dos critérios de filtragem estabelecidos para a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS).

Tabela 1 – Resultado do processamento por base de dados

BASE DE DADOS	**Science Direct**	**SCOPUS**	**Periódico Capes**
Data da Coleta	15/03/2021 e 15/04/2021	15/03/2021 e 15/04/2021	**15/03/2021 e 15/04/2021**
FILTRO 01 (String)	Magnetized Water OR Magnetically treated water	Magnetized Water OR Magnetically treated water	**Magnetized Water OR Magnetically treated water**
RESULTADO 1	Artigos (344,647)	Artigos (146)	**Artigos (24.178)**
FILTRO 02 (Busca Booleana)	"Magnetized Water" OR "Magnetically treated water" AND “Irrigation” OR "ferti-irrigation"	"Magnetized Water" OR "Magnetically treated water" AND “Irrigation” OR "ferti-irrigation"	**“Magnetically treated water” OR “água tratada magneticamente” AND “Irrigação” or “Irrigation”**
RESULTADO 2	Artigos (194)	Artigos (96)	**Artigos(442)**
FILTRO 03	Período: 2011 a 2021 Agricultural and Biological Sciences	Período: 2011 a 2021 Agricultural and Biological Sciences	**Período: 2011 a 2021 Peródicos revisados por pares**
RESULTADO 3	Artigos (22)	Artigos (56)	**Artigos (97)**
FILTRO 04	Leitura do Título, Resumo e palavras chaves	Leitura do Título, Resumo e palavras chaves	**Leitura do Título, Resumo e palavras chaves**
RESULTADO 4	**11 Artigos**	**25 Artigos**	**19 Artigos**

Fonte: Dados da Pesquisa, com base em Bernardo (2016).

Durante a fase de coleta, dos 55 artigos identificados, 8 foram removidos por estarem duplicados nas bases consultadas e 4 foram descartados por não estarem acessíveis integralmente, resultando em 43 artigos remanescentes. Posteriormente, procedeu-se à leitura sistemática desses 43 artigos, durante a qual 20 foram eliminados por não apresentarem relevância temática, dado que não abordavam questões relacionadas à irrigação, fertirrigação ou ao emprego de água tratada magneticamente na agricultura.

Assim, restaram 23 artigos que se mostraram pertinentes e foram selecionados para a construção da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS).

Tabela 2 – Descrição dos artigos selecionados para elaboração da RBS

Nº	Base de dados	Título	Autores	Periódico	Ano	País
1	Capes	Response of winter-wheat grain yield and water-use efficiency to irrigation with activated water on guanzhong plain in China	ZHAO, G.; MU, Y.; WANG, Y..	Irrigation Science	2021	China
2	Capes	Enhanced nutrient uptake in salt-stressed Mentha piperita using magnetically treated water	ALAVI, S.A., GHEHSAREH, A.M., SOLEYMANI, A.	Protoplasma	2021	Irã
3	Science Direct	Effect of magnetic water irrigation on the improvement of salinized soil and cotton growth in Xinjiang	ZHOU B.; YANG L.; CHEN X.; YE S.; PENG Y.; LIANG C	Agricultural Water Management	2021	China
4	SCOPUS	Effects of magnetized brackish water on seed germination, seedling growth, photosynthesis and dry matter distribution of cotton (gossypium hirsutum l.)	ZHANG, J.H.; WANG, Q.J.; WEI, K.; SUN, Y.; MU, W.Y..	Applied Ecology And Environmental Research	2021	China
5	SCOPUS	Salinity stress mitigation of some canola cultivars grown under south sinais conditions using magnetic water technology	HOZAYN, M.; AZZA, S.M.; Abd EL-MONEM, A.A.A.; EL-MAHDY, A.A..	Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev	2021	Egito
6	Science Direct	Irrigation with magnetically treated saline water influences the growth and photosynthetic capability of Vitis vinifera L. seedlings	LIU X.; WANG L.; WEI Y.; ZHANG Z.; ZHU H.; KONG L.; MENG S.; MA, F.	Scientia Horticulturae	2020	China
7	SCOPUS	Effect of irrigation with saline magnetized water and different soil amendments on growth and flower production of Calendula officinalis L. plants	ELHINDI, K.M; AL-MANA, F.A.; ALGAHTANI, M.A; ALOTAIBI M.A,	Saudi Journal of Biological Sciences	2020	Arabia Saudita
8	SCOPUS	Effect of organic matter, bio-fertilizers and magnetic water on the vegetative growth and flower quality of gladiolus (gladiolus hybrida l.) var. cartago	AHMMAD, C. A.; ABDULLATIF, S..	Applied Ecology and Environmental Research	2020	Iraque
9	SCOPUS	Impact of magnetically treated water on the growth and	ALKHATIB, R.; ABDO, N.; AL-EITAN, L..	Physiol Mol Biol Plants	2020	Jordânia

		development of tobacco (Nicotiana tabacum var. Turkish)				
10	SCOPUS	Increased soyabean-rhizobium symbiosis by magnetically treated water	ALIVERDI, A.; PARSA, M.; HAMMAMI, H..	Biological Agriculture & Horticulture	2020	Irã
11	Capes	Effect of phosphor fertilizer, magnetic water and humic acid on the growth, photosynthesis pigments and oil yield components of nigella sativa plant	FAIZY, H. S	Mesopotamia J. of Agric	2019	Iraque
12	Capes	Influence of Magnetized Water and Seed on Yield and Uptake of Heavy Metals of Tomato	YUSUF, K. O.; SAKARIYAH, S. A.; BAIYERI, M. R..	Not Sci Biol	2019	Nigéria
13	Science Direct	Effects of magnetic solutions on some biochemical properties and production of some phenolic compounds in grapevine (Vitis vinifera L.)	ZAREEI, E.; ZAARE-NAHANDI, F.; OUSTAN, S.; HAJILOU, J..	Scientia Horticulturae	2019	Irã
14	Science Direct	Physiological and anatomical studies of two wheat cultivars irrigated with magnetic water under drought stress conditions	SELIM, D. A. F. H.; NASSAR, R. M. A.; BOGHDADY, M. S.; BONFILL, M..	Plant Physiology and Biochemistry	2019	Egito
15	SCOPUS	The effects of magnetic treatment of irrigation water on seedling growth, photosynthetic capacity and nutrient contents of Populus × euramericana ‘Neva’ under NaCl stress	LIU, X.; ZHU, H.; MENG, S.; BI, S.; ZHANG, Y.; WANG, H.; MA, F.	Acta Physiologiae Plantarum	2019	China
16	Capes	Magnetically treated water for irrigation: effects on production and efficiency of water use in carrot (Daucus carota L.) crop	PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; SILVA JUNIOR, J. F..	Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas	2018	Brasil
17	SCOPUS	Effects of Magnetically Treated Water on Physiological Characteristics of Lens culinaris L.	AZIMI, N.; MAJD, A.; NEJADSATTARI, T.; GHANATI, F.;	Iran J Sci Technol Trans Sci	2018	Irã
18	SCOPUS	Photosynthesis and biomass yield in Tabasco pepper, radish and maize subjected to magnetically treated water	OSPINA-SALAZAR, D. I.; BENAVIDES-BOLAÑOS, J. A.; ZÚÑIGA-ESCOBAR, O.; MUÑOZ-PEREA, C. G	Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria	2018	Colombia
19	Science Direct	Effect of electromagnetic treatment of saline water on soil and crops	HACHICHA M.; KAHLAOUI B., KHAMASSI N., MISLE E., JOUZDAN O	Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences	2018	Tunisia
20	Capes	Água tratada magneticamente estimula a germinação e desenvolvimento de mudas de *solanum lycopersicum* l.	AGUILERA, J. G.; MARTÍN, R. M.;	Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável	2016	Brasil
21	Science Direct	The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, waterland soil characteristics	SURENDRAN U.; SANDEEP O.; JOSEPH E.J.	Agricultural Water Management	2016	India
22	Science Direct	Magnetically treated water irrigation effect on turnip seed germination, seedling growth and enzymatic activities	ZIA, H.; MUNAWAR I.; YASIR J., HAFEEZ A.; AYESHA Y.; MUHAMMAD A.; FAREED M. Z.; FIDA H..	Information Processing In Agriculture	2016	Paquistão
23	Capes	Impact of Magnetic Treatment of Irrigation Water on the Growth and Yield of Tomato	YUSUF, K. O.; OGUNLELA, A. O..	Not Sci Biol	2015	Nigéria

Fonte: Dados da Pesquisa

Dentre os 23 estudos selecionados, observou-se uma predominância linguística, com apenas dois deles sendo redigidos em português, enquanto os demais 21 foram publicados em inglês. Tal distribuição sugere uma possível relevância internacional da divulgação científica nessa área de estudo. Quanto à proveniência geográfica dos autores, constata-se uma representatividade significativa da Ásia, de onde provêm 17 dos artigos, correspondendo a 73,9% do total. Em contraste, a Europa e a América contribuíram com um e quatro artigos, respectivamente, indicando uma menor participação destas regiões na produção do conhecimento no campo em questão.

A figura abaixo demonstra a concentração de artigos por país e região tendo em vista a distribuição da origem dos autores, não sendo considerado o local que foi realizado os experimentos.

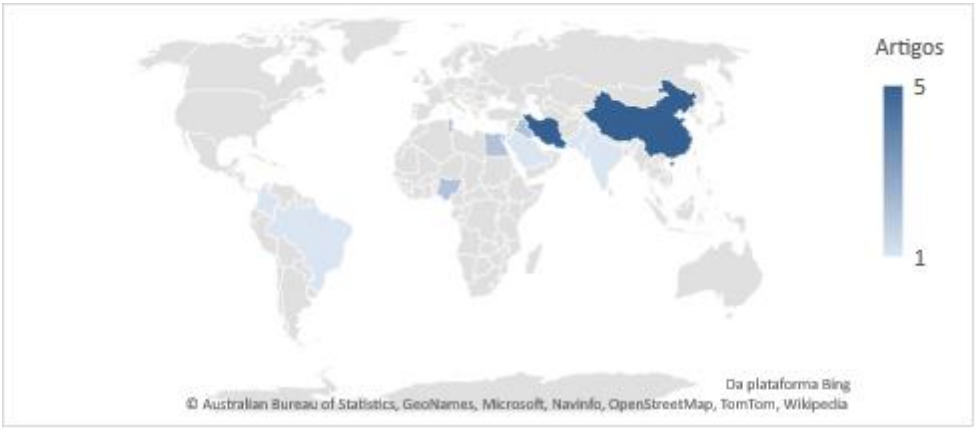


Figura 2- Distribuição geográfica dos países de publicação dos artigos

A temporalidade dos artigos revela uma tendência de interesse crescente no tema, dado que cinco dos trabalhos foram publicados em 2021, e aproximadamente 79,1% deles datam dos últimos cinco anos, enfatizando a atualidade e a crescente relevância do tema na comunidade científica, conforme apresentado na figura 3.

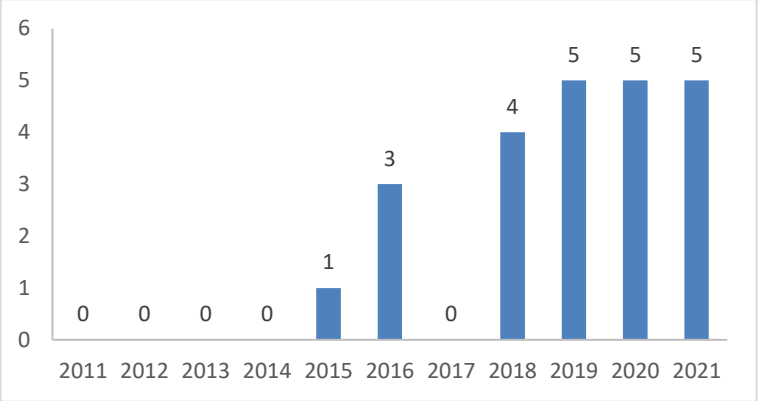


Figura 3- Artigos de interesse publicados por ano

Para determinar a relevância dos artigos, foi realizada uma análise no SCImago, onde se avaliaram métricas como o Quartil de posicionamento do periódico, que indica sua classificação em relação a outros periódicos da mesma área; o Fator de Impacto, que quantifica a média de citações recebidas por artigos publicados no periódico; e o Índice h, que reflete o número de publicações de um periódico que receberam um número de citações igual ou superior a esse índice. A Tabela 3 a seguir ilustra a distribuição dos periódicos nos quais os artigos selecionados foram publicados, evidenciando sua representatividade no campo de estudo.

Tabela 3 – Índices de relevância dos Periódicos representativos dos artigos selecionados

	PERIÓDICO	ARTIGOS	QUARTIL	SJR	INDICE H
1	Plant Physiology and Biochemistry	1	Q1	1,1	113
2	Scientia Horticulturae	2	Q1	0,84	102
3	Protoplasma	1	Q1	0,95	68
4	Irrigation Science	2	Q1	1,02	65
5	Acta Physiologiae Plantarum	1	Q2	0,61	62
6	Saudi Journal of Biological Sciences	1	Q1	0,65	42
7	Arabian Journal of Geosciences	1	Q2	0,4	40
8	Physiol Mol Biol Plants	1	Q2	0,6	31
9	Biological Agriculture & Horticulture	1	Q2	0,5	29
10	Applied Ecology and Environmental Research	2	Q3	0,23	28
11	Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences	2	Q1	1,06	25
12	Iran J Sci Technol Trans Sci	1	Q2	0,21	17
13	Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev	1	Q3	0,18	8
14	Journal of Horticultural Research	1	Q3	0,24	7
15	Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria	1	Q3	0,19	3
16	Mesopotamia J. of Agric	1	NC*	NC*	NC*

17	Not Sci Biol	2	NC*	NC*	NC*
18	Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável	1	NC*	NC*	NC*
19	Revista Colombiana de Ciências Hortícolas	1	NC*	NC*	NC*

Fonte: Dados da Pesquisa *Não consta no SCimago

Dos 19 periódicos analisados verificou-se que 4 destes não estão constam no Scimago. Dos periódicos encontrados 06 estão entre os melhores da sua área (Q1) e outros 05 apresentam relevância na área (Q2), conforme demonstrado na Figura 4.

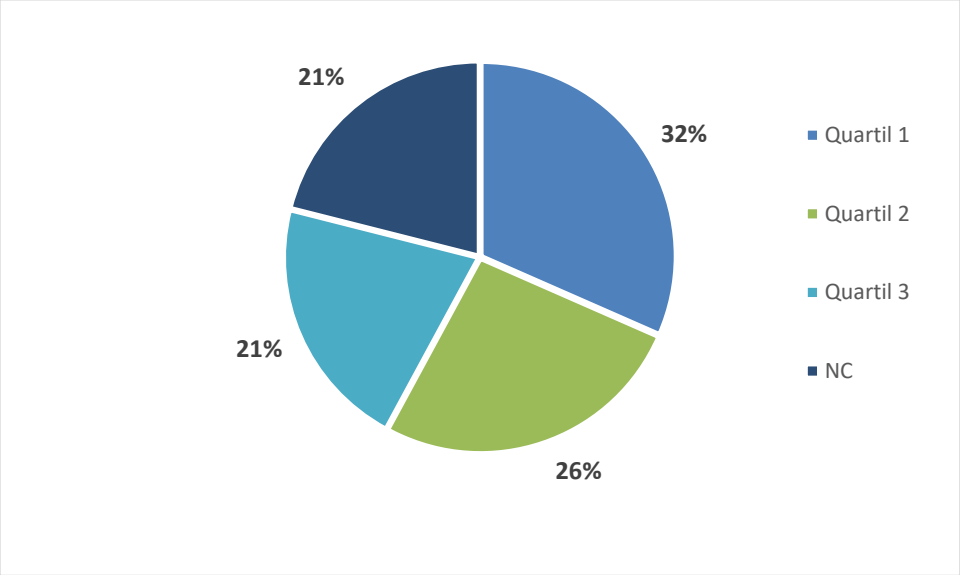


Figura 4 - Distribuição por Quartil de relevância dos periódicos

Quanto à análise do fator de impacto a *Plant Physiology and Biochemistry*, apresenta maior relevância com 1,1, com o Índice h, com *score* de h113, indicando que, mesmo com menor fator de impacto apresenta artigos com grande relevância em sua área.

3.2 SAÍDA - RELATÓRIO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA (RBS)

Considerando a análise do conteúdo dos 24 artigos escolhidos, procedeu-se à sua sistematização. Levando em conta a natureza experimental dos artigos analisados e o escopo da pesquisa subjacente a esta Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), decidiu-se pela identificação e análise de três variáveis principais: a) o método de magnetização da água, detalhando a intensidade do

campo magnético, o modo de exposição (contínuo ou em fluxo) e a duração da exposição magnética; b) o tipo de solo empregado nos experimentos; e c) os efeitos observados pelo uso da água tratada magneticamente nos estudos.

As avaliações foram organizadas em temas recorrentes identificados na literatura. A Tabela 4 apresenta um resumo das principais temáticas abordadas nos artigos selecionados, destacando-se que alguns autores abordaram mais de um tema. Além disso, foi notada a menção a métodos específicos aplicados em outros contextos dentro dos estudos analisados.

Tabela 4 – Síntese dos métodos de magnetização e resultados obtidos dos artigos selecionados

Nº	Título	Autores	Método de magnetização	Tipo de solo	Principais resultados
1	Response of winter-wheat grain yield and water-use efficiency to irrigation with activated water on guanzhong plain in China	ZHAO, G.; MU, Y.; WANG, Y..	Campo Magnético: 0,3T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Campo aberto sem especificação do solo	Aumento 12,2% na absorção de água, 8,0% mais biomassa. Rendimento 3,2% maior para ATM, dependendo de lâmina de água
2	Enhanced nutrient uptake in salt-stressed Mentha piperita using magnetically treated water	ALAVI, S.A., GHEHSAREH, A.M., SOLEYMANI, A.	Campo Magnético: 0,1T, 0,2T e 0,3T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Substrato de turfa de coco, palma, turfa de coco + perlita e palma + perlita. Uso de 4 níveis de salinidade, 40, 80, e 120mM NaCl.	A ATM aumentou os níveis de nutrientes da planta N (1,08%), P (0,89%), K (3,23%), Ca (53,6 mg / kg) e concentrações de Mg (39,63 mg / kg). Sugeriu que ATM promove o aumento de absorção de nutrientes da planta
3	Effect of magnetic water irrigation on the improvement of salinized soil and cotton growth in Xinjiang	ZHOU B.; YANG L.; CHEN X.; YE S.; PENG Y.; LIANG C	Campo Magnético: 0T, 0,1T, 0,3T, 0,4T e 0,5T. Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Campo aberto sem especificação do solo. Uso de 3 níveis de salinidade (baixa, média e alta)	Aumento do teor de agua no solo (33,2%-56,2%) e taxa de dessalinização (29,2% - 50,4%) em comparação com o controle. A ATM aumentou significativamente o crescimento do algodão.
4	Effects of magnetized brackish water on seed germination, seedling growth, photosynthesis and dry matter distribution of cotton (gossypium hirsutum l.)	ZHANG, J.H.; WANG, Q.J.; WEI, K.; SUN, Y.; MU, W.Y..	Campo Magnético: 0,1T, 0,3T, e 0,5T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em vaso, sem especificação do solo. Uso de água salobra (salina)	A ATM aumentou a germinação do algodão e potential de germinação em 39,4-60,6% e 129,1-246,3%, respectivamente. A taxa de germinação teve um aumento de 7,5-41,9%., principalmente em com a aplicação do campo de ATM em 0,3T.
5	Salinity stress mitigation of some canola cultivars grown under south sinais conditions using magnetic water technology	HOZAYN, M.; AZZA, S.M.; Abd EL-MONEM, A.A.A.; EL-MAHDY, A.A..	Campo Magnético de 0,375T e 0,07T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Campo aberto sem espeificação do solo. Enriquecimento de superfosfato de cálcio (15,5% P2O5), sulfato de amônio (20,60 N%), e sulfato de potássio (48% K2O)	A ATM aumentou em 10,78-16,02% o crescimento, 28,33-31,76% a matéria seca da planta; 15,58 -80,81% para folha; 10,71-63,88% para hastes e 2,42-54,48% para o conteúdo mineral das folhas, e 19,66 e 21,30% na produção óleo da semente.
6	Irrigation with magnetically treated saline water influences the growth and photosynthetic capability of Vitis vinifera L. seedlings	LIU X.; WANG L.; WEI Y.; ZHANG Z.; ZHU H.; KONG L.; MENG S.; MA, F.	Campo Magnético de 0,3T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em vaso, com solo enriquecido de N, P e K e matéria orgânica.	A ATM aumentou a biomassa das folhas, caules e raízes em 2,0% ~45,0% com ATM, o índice de clorofila aumentou de 3,0% a 13,0%.

7	Effect of irrigation with saline magnetized water and different soil amendments on growth and flower production of Calendula officinalis L. plants	ELHINDI, K.M; AL-MANA, F.A.; ALGAHTANI, M.A; ALOTAIBI M.A,	Campo Magnético de 1,5T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em vaso com areia (controle), adição de Sulfato de ferro (Fe2SO4), musgo de turfa e Sulfato de ferro (Fe2SO4) + musgo de turfa	A ATM realçou os parâmetros de crescimento vegetativo e de floração, aumentou os índices de disponibilidade de minerais e de sobrevivência nas plantas, além de reduzir os níveis de salinidade.
8	Effect of organic matter, bio-fertilizers and magnetic water on the vegetative growth and flower quality of gladiolus (gladiolus hybrida l.) var. cartago	AHMMAD, C. A.; ABDULLATIF, S..	Campo Magnético: 0,05T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em sacos plásticos (4 kg) com solo e turfa em 3 proporções (0%, 2% e 4%)	A ATM Os resultados mostraram um aumento significativo no crescimento vegetativo e qualidade da flor (número de dias para a floração, concentração de antocianina nas pétalas
9	Impact of magnetically treated water on the growth and development of tobacco (Nicotiana tabacum var. Turkish)	ALKHATIB, R.; ABDO, N.; AL-EITAN, L..	Campo Magnético: 0,07T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em irrigação por hidroponia	Aumento nos parâmetros fisiológicos da planta como altura do rebento e comprimento da raiz, com aumento na taxa de fotossíntese e no conteúdo de proteína, mas sem diferenças significativas na condutância estomática e taxa de transpiração.
10	Increased soyabean-rhizobium symbiosis by magnetically treated water	ALIVERDI, A.; PARSA, M.; HAMMAMI, H..	Campo Magnético: 0,7T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em vaso com solo composto por 71.8% areia, 24.1% argila e 4.1% de matéria orgânica	Aumento do rendimento e tamanho de caule e raiz peso seco, conteúdo de nitrogênio da parte aérea e da raiz, conteúdo de fósforo da parte aérea e parte aérea, e rendimento de sementes,
11	Effect of phosphor fertilizer, magnetic water and humic acid on the growth, photosynthesis pigments and oil yield components of nigella sativa plant	FAIZY, H. S	Campo Magnético: 0,32T Tempo de exposição: 12h e 24h Tipo de exposição: imersão	Aplicação em vaso com solo composto enriquecido com P2O5.	A ATM com exposição de 24 h causou acréscimos significativos em todas as características estudadas (altura da planta, número de ramos por planta, diâmetro do caule, número de cápsula / planta, peso seco, clorofila total, porcentagem de óleo fixa, porcentagem de óleo volátil e porcentagem de carboidratos totais).
12	Influence of Magnetized Water and Seed on Yield and Uptake of Heavy Metals of Tomato	YUSUF, K. O.; SAKARIYAH, S. A.; BAIYERI, M. R..	Campo Magnético: 0,319T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em vaso com solo compost não enriquecido.	A combinação de ATM e de semente magnetizada aumentou o rendimento do tomate em 44%, enquanto a ATM aumento o rendimento do tomate em 27%.
13	Effects of magnetic solutions on some biochemical properties and production of some phenolic compounds in	ZAREEI, E.; ZAARE-NAHANDI, F.; OUSTAN, S.; HAJILOU, J..	Campo Magnético: 0,1T e 0,2T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em vaso com solo de perlite não enriquecido.	Aumento significativo do conteúdo de carboidratos, o acúmulo de prolina na videira, a concentração compostos fenólicos (fenol total, antocianina e flavonóides e a produção de

	grapevine (Vitis vinifera L.)				trans-resveratrol) aumentou.
14	Physiological and anatomical studies of two wheat cultivars irrigated with magnetic water under drought stress conditions	SELIM, D. A. F. H.; NASSAR, R. M. A.; BOGHDADY, M. S.; BONFILL, M..	Campo Magnético: 0,3T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em vasos, sem especificação do solo.	Aumentou o rendimento de grãos de (entre 61% e 75%), também aumentou a espessura da veia média e da lâmina da folha, além do rendimento de grãos sob todos os níveis de estresse hídrico
15	The effects of magnetic treatment of irrigation water on seedling growth, photosynthetic capacity and nutrient contents of Populus × euramericana 'Neva' under NaCl stress	LIU, X.; ZHU, H.; MENG, S.; BI, S.; ZHANG, Y.; WANG, H.; MA, F.	Campo Magnético: 0,3T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em vasos, sem especificação do solo.	Aumento dos parâmetros das planta. Os teores de Fe, Zn e Cu nas folhas e raízes aumentaram. A ATM aumentou o crescimento da muda, o desenvolvimento da raiz, fotossíntese e conteúdo de nutrientes minerais.
16	Magnetically treated water for irrigation: effects on production and efficiency of water use in carrot (Daucus carota L.) crop	PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; SILVA JUNIOR, J. F..	Campo Magnético: 3,2T Tempo de exposição: contínuo Tipo de exposição: imersão	Aplicação em estufa, com especificação do solo	Aumento significativo no número de folhas, comprimento de bulbo e diâmetro para a cultura da cenoura.
17	Effects of Magnetically Treated Water on Physiological Characteristics of Lens culinaris L.	AZIMI, N.; MAJD, A.; NEJADSATTARI, T.; GHANATI, F.;	Campo Magnético: 0,110T Tempo de exposição: contínuo Tipo de exposição: imersão	Aplicação em estufa, sem especificação do solo	Aumento dos valores do ferro, antioxidante, carotenóide, flavonóide, açúcar e conteúdo de proteína. Também aumentou o número de sementes, pesos frescos e secos das sementes
18	Photosynthesis and biomass yield in Tabasco pepper, radish and maize subjected to magnetically treated water	OSPINA-SALAZAR, D. I.; BENAVIDES-BOLAÑOS, J. A.; ZÚÑIGA-ESCOBAR, O.; MUÑOZ-PEREA, C. G	Campo Magnético: 0,159T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em vaso com solo composto por 2,8% de matéria orgânica	As espécies irrigadas com ATM aumentaram a taxa fotossintética e sua condutância estomática. Na pimenta tabasco, a ATM favoreceu o rendimento, biomassa aérea, frutos por planta e área foliar. Nas plantas de milho houve apenas um aumento de peso e grãos por espiga, enquanto os de rabanete mostraram uma perda não significativo na biomassa total.
19	Effect of electromagnetic treatment of saline water on soil and crops	HACHICHA M.; KAHLAOUI B., KHAMASSI N., MISLE E., JOUZDAN O	Campo Magnético: não informado Tempo de exposição: 15 min Tipo de exposição: imersão	Aplicação em vasos, sem especificação do solo.	Como resultado apresentou um aumento da taxa de germinação de sementes de milho, e a absorção de nutrientes (K, N e P).

20	Água tratada magneticamente estimula a germinação e desenvolvimento de mudas de *solanum lycopersicum* l.	AGUILERA, J. G.; MARTÍN, R. M.;	Campo Magnético: 1,2T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em estufa, sem especificação do solo	Aceleração da PG 36% a mais, estimulação da AP em um 97% a mais, 12% a mais para o DC e 5% para o NF
21	The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, waterland soil characteristics	SURENDRAN U.; SANDEEP O.; JOSEPH E.J.	Campo Magnético: 1,8-2,0T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em estufa, sem especificação do solo	Melhora no crescimento da cultura, e de rendimento tanto na berinjela quanto no feijão-de-corda.
22	Magnetically treated water irrigation effect on turnip seed germination, seedling growth and enzymatic activities	ZIA, H.; MUNAWAR I.; YASIR J., HAFEEZ A.; AYESHA Y.; MUHAMMAD A.; FAREED M. Z.; FIDA H..	Campo Magnético: 0,211T Tempo de exposição: água em fluxo Tipo de exposição: fluxo	Aplicação em estufa, sem especificação do solo	Aumento da germinação (28,33%), crescimento de plântulas (45,41%), teor de proteína (33 %), teor de clorofila (37,75%) e atividades enzimáticas
23	Impact of Magnetic Treatment of Irrigation Water on the Growth and Yield of Tomato	YUSUF, K. O.; OGUNLELA, A. O..	Campo Magnético: N/I* Tempo de exposição: 15 min Tipo de exposição: constante (Sistema Aqua-4D)	Aplicação em vaso, sem enriquecimento.	Aumento da taxa de germinação de sementes de milho, Aumento da absorção de nutrientes (K, N e P) pelas batatas

Fonte: Dados da Pesquisa

Zhao et al. (2021), realizaram estudos nos parâmetros de crescimento do trigo de inverno em experimentos de campo aberto. Para o tratamento da água foi utilizado um comercial de magnetização (W600DELF e AQUAMAG) aplicado constantemente no cano de irrigação aplicando um campo de 0,3T (Tesla). Seus resultados apontam que o trigo absorveu 12,2% mais água tradada magneticamente (ATM) do que a água não tratada (ANT). A biomassa acima do solo foi 8,0% maior com ATM que com AC. Os componentes de rendimento tiveram melhor desempenho com uma quantidade de irrigação de 120 mm, com rendimento de grãos 28,3 e 3,2% maior que para os valores de 60 e 180 mm, respectivamente. O rendimento de grãos a 120 mm foi de 10,1 e 13,9% maior para ATM do que AC.

Alavi et al. (2021), analisaram a melhoria do crescimento e da qualidade *Mentha piperita* sob estresse salino aplicando campos de 0,1T, 0,2T e 0,3T com salinidade de 40, 80 e 120 mM de NaCl. A ATM aumentou os níveis de nutrientes da planta N (1,08%, S3M4X1), P (0,89%, S3M3X1), K (3,23%, S3M3X1), Ca (53,6 mg / kg, S4M4X4) e concentrações de Mg (39,63 mg / kg, S3M3X2), em comparação ao controle. O estudo sugeriu que ATM promove o aumento de absorção de nutrientes da planta.

Zhou et al. (2021), estudaram o efeito da irrigação com ATM na melhoria de diferentes solos salinizados e no crescimento do algodão, aplicando campo de 0T, 0,1T, 0,3T, 0,4T e 0,5T, em 3 níveis de salinidade. A ATM com 0,3T obteve melhor resultado no aumento do teor de água no solo (33,2%-56,2%) e taxa de dessalinização (29,2% - 50,4%) em comparação com o controle. A ATM aumentou significativamente o crescimento do algodão.

Zang et al. (2021) estudaram os efeitos da água magnetizada salobra germinação de sementes de algodão com experimentos em vasos utilizando-se da ATM em campos de 0,1T, 0,3T, e 0,5T. A ATM aumentou resultados no vigor de germinação do algodão e potencial de germinação em 39,4-60,6% e 129,1-246,3%, respectivamente. A taxa de germinação teve um aumento de 7,5-41,9%. A taxa fotossintética líquida (Pn) e a eficiência instantânea do uso da água (iWUE) do algodão sob irrigação com água salobra magnetizada aumentaram significativamente, principalmente em com a aplicação do campo de ATM em 0,3T.

Hozayn et al. (2021) estudaram os efeitos da ATM na canola, sendo que utilizou três sistemas comerciais de magnetização de 0,375T e 0,07T. A ATM aumentou em 10,78-16,02% para os parâmetros de crescimento, 28,33-31,76% para a matéria seca da planta; 15,58 -80,81% para folha; 10,71-63,88% para hastes

e 2,42-54,48% para o conteúdo mineral das folhas. A ATM também aumentou rendimento final com aumento de 19,66 e 21,30% no óleo de semente.

Liu et al. (2020) realizaram sua pesquisa com mudas de uva em vaso em 3 níveis de salinidade, com aplicação de um campo magnético de 0,03T. Em seu estudo verificou que e a biomassa das folhas, caules e raízes aumentaram 2,0% ~45,0% com ATM, o índice de clorofila aumentou de 3,0% a 13,0%, além de gerar melhoria na taxa fotossintética (Pn), condutância estomática (Gs), taxa de transpiração (Tr), valor limite de estômatos (Ls) e eficiência do uso de água (WUE), enquanto a concentração intercelular de CO2 (Ci) diminuiu.

Elhindi et al. (2020), buscaram os benefícios do uso da ATM na margarida (*Calendula officinalis L*.), com 3 tipos de água (água convencional de torneira, água de poço salina e água salina tradada magneticamente, utilizando de um campo de 1,5T em imersão. A ATM realçou os parâmetros de crescimento vegetativo e de floração, aumentou os índices de disponibilidade de minerais e de sobrevivência nas plantas, além de reduzir os níveis de salinidade.

Ahmmad e Abdullatif (2020), investigaram o uso de estercos de aves para adubação em flores de corte *Gladiolus* cultivar Cartago, com irrigação com àgua de torneira e água tratada magneticamente, utilizando- se de imersão em campo de 0,05T. Os resultados mostraram um aumento significativo no crescimento vegetativo (altura da planta, matéria seca da folha, intensidade da clorofila da folha, concentração de N, P e K nas folhas) e qualidade da flor (número de dias para a floração, concentração de antocianina nas pétalas (mg.100 g- 1), diâmetro floral basal e vida de vaso), estes devido ao efeito de plantas com 2% de esterco aviário, inoculação por bactérias e irrigação com ATM. Aponta também que a ATM diminuiu os efeitos negativos do excesso de adubação. Não foi realizado experimento de controle apenas com ATM.

Alkhatib, Abdo e Al-Eitan (2020) realizaram experimento em plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum* var. Turco) em hidroponia com aplicação de campo em fluxo de 0,07T. Os resultados mostram que o tratamento magnético com água destilada levou um aumento nos parâmetros fisiológicos da planta como altura do rebento e comprimento da raiz, com aumento na taxa de fotossíntese e no conteúdo de proteína, mas sem diferenças significativas na condutância estomática e taxa de transpiração. Aponta que a ATM é uma excelente opção de melhorar os métodos de irrigação e, assim, obter produção agrícola com alta eficiência.

Aliverdi, Parsa e Hammami (2020), realizou um experimento com 5

variedades de soja (*Glycine max)* inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. Para magnetização foi utilizado um dispositivo de tratamento magnético com campo magnético de 0,7T. Os resultados apontam melhoria em todas as medições das cinco variedades de soja, caule e raiz peso seco, conteúdo de nitrogênio da parte aérea e da raiz, conteúdo de fósforo da parte aérea e parte aérea, e rendimento de sementes, das plantas irrigadas com ATM.

Faizy (2019), realizou um estudo com cominho preto (*Nigella sativa L*), irrigados com 3 níveis de ATM por imersão (12h e 24) com campo de 0,32T. Utilizou-se experimento em vaso com a influência de três níveis de fertilizante P2O5 (0, 260 e 520 mg) por vaso, ácido húmico a (0, 0,6 e 0,8 mg.L-1). O grupo de plantas que irrigou com água magnética por 24 h causou acréscimos significativos em todas as características estudadas (altura da planta, número de ramos por planta, diâmetro do caule, número de cápsula / planta, peso seco, clorofila total, porcentagem de óleo fixa, porcentagem de óleo volátil e porcentagem de carboidratos totais).

Yusuf et al. (2019), estudaram a influência da ATM e da semente magnetizada (MS) na produção e absorção de metais pesados de tomate, com irrigação de água em fluxo, submetida a um campo magnético de 0,319T. Combinação de semente magnetizada e água magnetizada aumentou o rendimento do tomate em 44%, enquanto a combinação de produtos não magnetizados sementes e água magnetizada aumentaram o tomate rendimento de 27%.

Zareei et al. (2019) estudaram os efeitos da ATM nos parâmetros bioquímicos de duas cultivares de videira, irrigadas com ATM, submetida a campos magnéticos de 0,1T e 0,2T, com duas soluções (água convencional e água destilada). Os resultados apontam que as soluções magnetizadas aumentaram significativamente o conteúdo de carboidratos, o acúmulo de prolina na videira, a concentração de composto fenólicos (fenol total, antocianina e flavonoides e a produção de trans resveratrol) aumentou.

Selim et al. (2019) avaliaram os parâmetros fisiológicos e alterações anatômicas na cultura do trigo, irrigado com ATM, sob campo magnético de fluxo, com dois níveis de estresse hídrico 75% e 50%). Os resultados apontaram que a irrigação com água magnetizada aliviou as consequências negativas do estresse hídrico na maioria dos parâmetros fisiológicos e bioquímicos (peso seco de toda a planta, água total teor, concentração de açúcar solúvel total nas folhas, aminoácidos livres totais e prolina). O uso Da ATM aumentou o rendimento de grãos de (entre 61% e 75%), também aumentou a espessura da veia média e da lâmina da folha,

além do rendimento de grãos sob todos os níveis de estresse hídrico.

Liu et al. (2019) realizaram o estudo sobre os efeitos da irrigação com ATM, em plantas do gênero *populus*, e sua tolerância à salinidade. Foi tratamento magnético em fluxo com campo de 0,3T Gs, da empresa *Magnetic Technologies L.C.C*.. A ATM promoveu o desenvolvimento da raiz, comprimento, área superficial, diâmetro médio, volume e pontas das raízes. Os parâmetros biológicos indicaram maiores teores de Fe, Zn e Cu nas folhas e raízes e um menor teor de Mn. Esses resultados indicaram que a irrigação com ATM promoveu o crescimento da muda, o desenvolvimento da raiz, fotossíntese e conteúdo de nutrientes minerais.

Putti et al. (2018) analisaram os efeitos da ATM na cultura da cenoura, utilizou-se de água com exposição contínua por imersão com um campo magnético de 3,2T, da empresa *Timol Group* em 5 lâminas de água (25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETc). A ATM causou um aumento significativo no número de folhas, comprimento de bulbo e diâmetro para a cultura da cenoura.

Azimi et al. (2018) avaliaram os efeitos da ATM no crescimento, e parâmetros fisiológicos da lentilha (*lente culinaris L*.) foi utilizado um processo de magnetização através do campo magnético de 0,110T, por imersão contínua. Os resultados demonstram um aumento dos valores de férrico, poder redutor / antioxidante, carotenóide, flavonóide, açúcar e conteúdo de proteína na folha da lentilha para ATM. O número de sementes, pesos frescos e secos das sementes também foi maior com plantas de lentilha irrigadas com ATM.

Ospina-Salazar et al. (2018) analisaram os efeitos da ATM, magnetizada por fluxo contínuo com campo magnético de 0,156T, nos parâmetros fisiológicos da Pimenta Tabasco, rabanete e milho amarelo. As espécies irrigadas com ATM aumentaram a taxa fotossintética e sua condutância estomática. Na pimenta tabasco, a ATM favoreceu o rendimento, biomassa aérea, frutos por planta e área foliar. Nas plantas de milho houve apenas um aumento de peso e grãos por espiga, enquanto os de rabanete mostraram uma perda não significativo na biomassa total.

Hachicha et al. (2018) realizaram experimentos para estudar o efeito do tratamento eletromagnético com uso de água convencional e água salina na germinação de sementes de milho e cultura de batata irrigada. Utilizou- se de um sistema comercial Aqua-4D que emite um sinal eletromagnético polarizado constante, no entanto não informou a força do campo magnético. Como resultado apresentou um aumento da taxa de germinação de sementes de milho, e a absorção de nutrientes (K, N e P) pelas batatas. Aponta também a diminuição da toxicidade

iónica para a cultura ao diminuir o conteúdo de Na+ nas plantas. Também aponta que o tratamento magnético de água salina teve um efeito positivo na produção.

Aguilera e Martin (2016) analisaram os efeitos da ATM, submetida um campo magnético de 1,2T, no processo de germinação de sementes e desenvolvimento do tomate. Os resultados apontaram aceleração da PG 36% a mais, estimulação da AP em um 97% a mais, 12% a mais para o DC e 5% para o NF. Os resultados mostraram um aumento da germinação e desenvolvimento de mudas usando a ATM.

Surendran, Sandeep e Joseph (2016), realizaram seu estudo com aplicação na berinjela e no feijão-de corda, com utilização de água tradicional e água salina . Utilizou-se para o tratamento da água, indução a um campo magnético de 0.180T a 0.200T (Tesla) com fluxo contínuo de 2L/s (Litros por segundo). Como resultado apresentou que o tratamento magnético levou a uma melhora no crescimento da cultura, e de rendimento tanto na berinjela quanto no feijão-de-corda. O estudo aponta com esse resultado como consequência que o tratamento magnético tende a reduzir a condutividade elétrica, os sólidos dissolvidos totais e os níveis de salinidade das soluções salinas. Na água de irrigação normal aponta um aumento de pH. Isso acarreta o aumento da umidade solo após 1 a 3 dias de irrigação com água tratada magneticamente. Aponta também que a água dura tratada magneticamente, apresenta uma variação na estrutura cristalina do carbonato de cálcio com o aumento do tamanho de suas estruturas.

Zia et al. (2016) realizaram um estudo com a germinação de sementes de nabo, crescimento de mudas e atividades enzimáticas. Para o tratamento magnético a água foi exposta a um campo magnético constante de 0,211T(Tesla), por 30, 45 e 60 minutos. Seus resultados demonstraram o aumento da germinação (28,33%), crescimento de plântulas (45,41%), teor de proteína (33 %), teor de clorofila (37,75%) e atividades enzimáticas, tendo a otimização do sistema com 45 minutos de exposição (T3).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo possibilitou uma análise detalhada sobre a aplicação de água tratada magneticamente no contexto da irrigação. A metodologia da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) foi crucial para a agregação, processamento e estruturação das informações que fundamentaram o capítulo em questão, delineando o panorama atual do conhecimento no campo de estudo.

Na literatura examinada, observou-se que a magnetização da água é comumente realizada utilizando campos magnéticos com intensidades que variam entre 0,1 Tesla (T) e 0,3 T. A exposição da água ao campo magnético é, em sua maioria, executada em um fluxo contínuo. Os estudos indicaram que o tratamento magnético da água promove efeitos positivos no desenvolvimento vegetal, incluindo a melhoria nos índices de crescimento das plantas, na eficiência da absorção de nutrientes e no rendimento agrícola.

A análise também corroborou a hipótese de que o uso de água tratada magneticamente na irrigação contribui para o aumento na taxa de germinação, produtividade e crescimento vegetal, tanto em condições controladas de laboratório quanto em aplicações diretas no campo.

Outro aspecto relevante foi a observação de um aumento nas publicações científicas sobre o tema nos anos de 2020 e 2021, evidenciando um crescente interesse na pesquisa do tratamento magnético da água para fins de irrigação. Este fato ressalta a importância do projeto de pesquisa ao qual esta RBS está vinculada, destacando-o como um recurso promissor para o fomento de futuros estudos significativos na área.

Os artigos apresentam principalmente três características de resultados: a) crescimento vegetativo e à qualidade das plantas; b) aumento nos níveis de nutrientes nas plantas e melhorias na fotossíntese, crescimento e; c) melhorias nos parâmetros fisiológicos das plantas.

Assim oito artigos destacaram melhorias significativas relacionadas ao crescimento vegetativo e à qualidade das plantas. Os resultados enfatizam o aumento na absorção de água, biomassa, rendimento das culturas e a absorção de nutrientes essenciais como potássio (K), nitrogênio (N) e fósforo (P). Alguns estudos mencionam especificamente melhorias na floração, na produção de compostos fenólicos, na espessura da folha e nos rendimentos sob estresse hídrico.

Outros dez artigos apontaram um aumento nos níveis de nutrientes nas plantas e melhorias na fotossíntese, crescimento, e desenvolvimento da raiz. Os resultados mostram um efeito positivo na germinação de sementes, atividade enzimática, teor de clorofila e proteína. Alguns artigos reportam aumentos no rendimento do tomate e melhorias nos parâmetros de crescimento em várias culturas, como alface e tomate.

Também cinco artigos relatam melhorias nos parâmetros fisiológicos das plantas, como aumento na altura do rebento, comprimento da raiz, e taxa de fotossíntese. Nota-se também um aumento na absorção de nutrientes e melhorias em aspectos bioquímicos, como teores de ferro, antioxidantes, carotenoides, flavonoides, açúcar e proteína. Algumas pesquisas apontam para o aumento no rendimento de sementes e melhorias no peso seco das partes das plantas.

Uma área que demanda investigações adicionais refere-se às modificações bioquímicas nas plantas decorrentes do uso de água tratada magneticamente, as quais culminam na otimização dos índices biológicos vegetais. Este aspecto não foi explorado de maneira incisiva nos estudos revisados.

É imperativo compreender as alterações específicas em níveis enzimáticos, hormonais e de metabolitos secundários que ocorrem nas plantas sob influência do tratamento magnético da água, e como estas alterações contribuem para a melhoria do crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas. Investigar esses mecanismos bioquímicos proporcionará um entendimento mais profundo dos processos fisiológicos envolvidos e permitirá a elaboração de práticas agrícolas mais eficientes e embasadas cientificamente.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALAVI, S.A., GHEHSAREH, A.M., SOLEYMANI, A.. Enhanced nutrient uptake in salt-stressed *Mentha piperita* using magnetically treated water. **Protoplasma.** v. 258, p. 403–414, 2021. DOI:10.1007/s00709-020-01547-4

AGHAMIR, F.; BAHRAMI H. A.; MALAKOUTI M. J.; ESHGHI S. Magnetized Water Effects on Seed Germination and Seedling Growth of Corn (*Zea mays*) Under Saline Conditions. **American Journal of Life Science Researches**. v. 3, p. 184-195, 2015.

AHMMAD, C. A.; ABDULLATIF, S.. A effect of organic matter, bio-fertilizers and magnetic water on the vegetative growth and flower quality of gladiolus (*gladiolus hybrida l.*) var. cartago. Applied Ecology and Environmental Research, v. 18, n. 2, p. 2637-2655, 2020.

AGUILERA, J. G.; MARTÍN, R. M.; Água tratada magneticamente estimula a germinação e desenvolvimento de mudas de solanum lycopersicum L. **Revista**

Brasileira de Agropecuária Sustentável, v. 6, n. 1, 2016.

ALIVERDI, A.; PARSA, M.; HAMMAMI, H.. Increased soyabean-rhizobium symbiosis by magnetically treated water. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 31, n. 3, p. 167-176, 2015.

ALKHATIB, R.; ABDO, N.; AL-EITAN, L..Impact of magnetically treated water on the growth and development of tobacco (*Nicotiana tabacum var. Turkish*). **Physiology and Molecular Biology of Plants,** v. 26, n. 5, p. 1047-1054, 2020.

AL-OGAIDI, A. A.; WAYAYOK, A.; ROWSHON, M. K.; ABDULLAH, A. F.. The influence of magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. **Agricultural Water Management**, v. 180, p. 70-77, 2017.

AZIMI, N.; MAJD, A.; NEJADSATTARI, T.; GHANATI, F.; ARBABIAN, S.. Effects of Magnetically Treated Water on Physiological Characteristics of Lens culinaris L. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: **Science**, v. 42, n. 2, p. 331-337, 2018.

BERNARDO, Roberto. **Análise da produtividade agrícola da cana-de-açúcar nos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás** . Tupã: UNESP, 2016. 162 f. Dissertação (Mestre em Agronegócio e Desenvolvimento) - Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO– CBGDP, 8., 2011, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre, RS, 2011.

ELHINDI, K.M; AL-MANA, F.A.; ALGAHTANI, M.A; ALOTAIBI M.A, Effect of irrigation with saline magnetized water and different soil amendments on growth and flower production of Calendula officinalis L. plants. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 11, p. 3072-3078, 2020.

FAIZY, H. S. Effect of phosphor fertilizer, magnetic water and humic acid on the growth, photosynthesis pigments and oil yield components of *nigella sativa* plant. **Mesopotamia Journal of Agriculture**, v. 47, n. 2, 2019.

GENEROSO, T. N.; MARTINEZ, M. A.; ROCHA, G. C.; HAMAKAWA, P. J.. Water magnetization and phosphorus transport parameters in the soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 9-13, 2017.

HACHICHA M.; KAHLAOUI B., KHAMASSI N., MISLE E., JOUZDAN O. Effect of electromagnetic treatment of saline water on soil and crops. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. v.17, p.154-162, 2018. DOI: 10.1016/j.jssas.2016.03.003

HOZAYN, M.; AZZA, S.M.; Abd EL-MONEM, A.A.A.; EL-MAHDY, A.A.. Salinity stress mitigation of some canola cultivars grown under South Sinai conditions using magnetic water technology. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, v. 21, n. 1, p. 17234-17253, 2021.

KRAWIEC, M.; DZIEWULSKA-HUNEK, A.; KORNARZYNSKI, K. The use of physical factors for seed quality improvement of horticultural plants. **Journal of Horticultural Research**, v. 26, n. 2, 2018.

LEVY, Y.; ELLIS, T.J. A system approac8 to conduct an effective literature review in support of information systems research. **Informing Science Journal**, v.9, p.181-212, 2006.

LIU, X.; ZHU, H.; MENG, S.; BI, S.; ZHANG, Y.; WANG, H.; MA, F. The effects of magnetic treatment of irrigation water on seedling growth, photosynthetic capacity and nutrient contents of Populus× euramericana 'Neva'under NaCl stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 41, n. 1, p. 1-13, 2019.

LIU X.; WANG L.; WEI Y.; ZHANG Z.; ZHU H.; KONG L.; MENG S.; MA, F. Irrigation with magnetically treated saline water influences the growth and photosynthetic capability of Vitis vinifera L. seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 262, p. 109056, 2020.

LOPES, G,. N. et al. Irrigação magnética. **Agro@mbiente On-line**, vol. 1, no. 1, jul/dez. 2007.

MOUSSA, M.; HALLAIRE, V.; MICHOT, D.; HACHICHA, M.. Micro-and macrostructure changes of soil under irrigation with electromagnetically treated water. **Soil and Tillage Research,** v. 203, p. 104690, 2020.

MONTORI, V. M.; SWIONTKOWSKI, M. F.; COOK, D. J. Methodologic Issues in Systematic Reviews and Meta-Analyses. **Clinical Orthopaedics and Related research**, v. 413, p. 43-54, 2003. DOI: 10.1097/01.blo.0000079322.41006.5b.

OSPINA-SALAZAR, D. I.; BENAVIDES-BOLAÑOS, J. A.; ZÚÑIGA-ESCOBAR, O.; MUÑOZ-PEREA, C. G.. Photosynthesis and biomass yield in Tabasco pepper, radish and maize subjected to magnetically treated water. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria,** v. 19, n. 2, p. 291-305, 2018.

PAI M.; MCCULLOCH M.; GORMAN J.D.; PAI N.; ENANORIA W.; KENNEDY G.; THARYAN P.; COLFORD J.M. Systematic reviews and meta-analyses: an illustrated, step-by-step guide. **Natl Med J India**. v.17(2), p.86-95, 2004. PMID: 15141602

PUTTI, Fernando Ferrari. **Produção da cultura de alface irrigada com água tratada magneticamente** . Botucatu: UNESP, 2014. 123 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2014.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; SILVA JUNIOR, J. F..Magnetically treated water for irrigation: effects on production and efficiency of water use in carrot (Daucus carota L.) crop. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 12, n. 2, p. 447-455, 2018.

REZENDE, M. S.; NETO, J. M. A.; SILVA, D. M.; GARCIA, J. F. L.; ASSIS, G. A.; FRAGA JR, E. F.. Irrigação do cafeeiro com água magnetizada sob diferentes lâminas de irrigação. In: **INOVAGRI International Meeting**, IV. 2017.

SELIM, D. A. F. H.; NASSAR, R. M. A.; BOGHDADY, M. S.; BONFILL, M.. Physiological and anatomical studies of two wheat cultivars irrigated with magnetic water under drought stress conditions. **Plant physiology and biochemistry**, v. 135, p. 480-488, 2019.

SIMUNOVIC N.; SPRAGUE S.; BHANDARI M. Methodological issues in systematic reviews and meta-analyses of observational studies in orthopaedic research. **J Bone Joint Surg Am**. v.91, p. 87-94, 2009. DOI: 10.2106/JBJS.H.01576.

SURENDRAN U.; SANDEEP O.; JOSEPH E.J. The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics. **Agricultural Water Management**. v. 178, p. 21–29. 2016.

YUSUF, K. O.; OGUNLELA, A. O.. Impact of magnetic treatment of irrigation water on the growth and yield of tomato. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 7, n. 3, p. 345-348, 2015.

YUSUF, K. O.; SAKARIYAH, S. A.; BAIYERI, M. R.. Influence of magnetized water and seed on yield and uptake of heavy metals of tomato. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 11, n. 1, p. 122-129, 2019.

ZAREEI, E.; ZAARE-NAHANDI, F.; OUSTAN, S.; HAJILOU, J.. Effects of magnetic solutions on some biochemical properties and production of some phenolic compounds in grapevine (Vitis vinifera L.). **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 217-226, 2019.

ZIA, H.; MUNAWAR I.; YASIR J., HAFEEZ A.; AYESHA Y.; MUHAMMAD A.; FAREED M. Z.; FIDA H.. Magnetically treated water irrigation effect on turnip seed germination, seedling growth and enzymatic activities. **Information processing in agriculture**. v. 3, p. 99–106. 2016.

ZHANG, J.H.; WANG, Q.J.; WEI, K.; SUN, Y.; MU, W.Y.. Effects of magnetized brackish water on seed germination, seedling growth, photosynthesis and dry matter distribution of cotton (Gossypium hirsutum L.). **Applied Ecology and Environmental Research**. v.19, p. 683-697, 2021. DOI: 10.15666/aeer/1901_683697.

ZHAO, G.; MU, Y.; WANG, Y.. Response of winter-wheat grain yield and water-use efficiency to irrigation with activated water on Guanzhong Plain in China. **Irrigation Science**. v.39, p. 1-14, 2021. DOI:10.1007/s00271-020-00706-y.

ZHOU B.; YANG L.; CHEN X.; YE S.; PENG Y.; LIANG C.. Effect of magnetic water irrigation on the improvement of salinized soil and cotton growth in Xinjiang. **Agric Water Manag**. v. 248. 2021. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.106784.

ZLOTOPOLSKI, V.. The impact of magnetic water treatment on salt distribution in a large unsaturated soil column. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 5, n. 4, p. 253-257, 2017.

CAPÍTULO II - ESTIMATIVA DOS PARÂMETOS BIOMÉTRICOS NA CULTURA DO TOMATEIRO SOB ESTRESE SALINO IRRIGADOS COM ÁGUA NÃO TRATADA (ANT) E ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE (ATM) UTILIZANDO MODELAGEM NEURO-FUZZY

1 INTRODUÇÃO

As preocupações geradas pelas mudanças climáticas e a insegurança hídrica a produção de alimentos, os fatores que causam estresse às culturas, como alta salinidade, seca, frio e calor, impactam a produção de biomassa e o rendimento de alimentos básicos em até 70% (PARIHAR, 2015).

Soma-se a isso a crescente demanda agrícola, o aumento de regiões áridas e semiáridas, o desenvolvimento de agricultura precisa de alternativas focadas na produção e uso racional da água de forma mais sustentável.

A cultura do tomate no Brasil é de significativa importância econômica e alimentar, constituindo-se como uma das principais hortaliças cultivadas no país. Sua relevância se manifesta tanto no contexto do mercado interno quanto no âmbito das exportações, caracterizando-se pela versatilidade de uso na culinária, seja em estado fresco ou processado, e por ser uma rica fonte de nutrientes essenciais (DE LIMA et al., 2020)

O cultivo do tomate no território brasileiro destaca-se pela capacidade de adaptação às diversas condições climáticas e ambientais, permitindo sua produção em diferentes regiões. Para maximizar a eficiência e sustentabilidade da produção, é crucial o entendimento das variáveis biométricas que impactam o crescimento e a produtividade das plantas de tomate. Tais variáveis incluem, mas não se limitam a, altura da planta, número de frutos por planta, peso médio dos frutos e taxa de crescimento (BARBOSA et al., 2021)

O aumento da salinidade do solo, também afeta o crescimento e a produtividade das plantas devido à degradação ambiental e às propriedades físico-químicas, associados ao manejo inadequado na fertilização e técnicas de irrigação extensiva. (TAN E WANG, 2017; ZHOU et al., 2021). O estresse salino é um dos fatores limitantes mais sérios para o crescimento e a produção das culturas. Com base na natureza, características e relações de crescimento das plantas em solos

afetados por sais, oriundos do próprio solo, do uso excessivo de fertilizantes ou características da água utilizada na cultura (PARIHAR, 2015; ISAYENKOV E MAATHUIS, 2019).

A salinidade do solo é um dos problemas mais importantes que afeta a produtividade das culturas, prejudicando o crescimento e o desenvolvimento das plantas por estresse hídrico, citotoxicidade e desequilíbrio nutricional, acompanhada por estresse oxidativo (ISAYENKOV E MAATHUIS, 2019).

Na busca de tecnologias que possam minimizar os impactos da salinidade do solo nas culturas, a água tratada magneticamente (ATM) surge como estratégia para minimizar a salinidade, por alterar a estrutura das moléculas de água, tornando-as mais solúveis e facilitando a remoção de impurezas, metais pesados e dissolvendo os minerais salinos. Assim promove maior eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas, levando um crescimento mais saudável aumento na produtividade, tornando a produção agrícola mais sustentável.

Agregado a um sistema de irrigação, faz-se necessário um sistema especialista que tenha a possibilidade de predizer as condições fisiológicos e nutricionais de uma cultura irrigada, permitindo ao produtor uma maior assertividade na adoção de um sistema de irrigação que traga maior produtividade e rentabilidade.

Este sistema especialista também pode ser uma ferramenta para o planejamento da produção agrícola ou no desenvolvimento de novos projetos, na medida em que representa uma proposta sistematizada de análise da relação custo x benefício de uma determinada tecnologia aplicada à irrigação. (MACEDO et al. 2011).

Esses sistemas podem ser baseados em diversas ferramentas de Inteligência Artificial, baseado em diversos algoritmos matemáticos. Dentre eles a lógica *fuzzy* e as redes neurais apontam como os métodos de aprendizagem, cada vez mais avançados, para apoio na tomada de decisão, previsão, controle, de processos (CHAVES, 2013; CREMASCO, et. al. 2010).

Assim resta como problemática principal deste capítulo, desenvolver, validar um sistema baseado em *neuro-fuzzy* (ANFIS) ligado a uma modelagem matemática que permita construção de uma ferramenta com entradas dinâmicas e independentes que correlacionem variáveis complexas, tendo como resposta variáveis que seja de fácil interpretação ao produtor.

O modelo matemático adotado fundamenta-se na lógica fuzzy, uma abordagem que, aplicada aos sistemas de suporte à decisão em irrigação,

apresenta uma introdução relativamente recente.

O funcionamento do sistema especialista será conforme a metodologia estabelecida por Jang, Sun e Mizunami (1997), iniciando-se pela avaliação dos valores linguísticos coletados. Em seguida, realiza-se a inferência fuzzy, na qual esses valores são processados. A etapa subsequente envolve a defuzzyficação, processo pelo qual o conjunto fuzzy é convertido em um valor numérico concreto, representando o resultado da análise.

Para elaborar as funções de pertinência, utilizaram-se dados obtidos em estudos prévios, o que possibilita a transformação das entradas imprecisas e complexas em decisões concretas na saída, manifestadas pelo valor defuzzyficado. Esse procedimento garante que as variáveis ambíguas sejam efetivamente interpretadas e aplicadas em decisões práticas no contexto da irrigação.Para Srinivasa, Seetha, Krishna Prasad (2012) a construção do pensamento *fuzzy*, são feitos por aproximação e não essencialmente binários, o que baseia a nebulosidade proposta pelo sistema, como descrito abaixo:

- Na lógica difusa, tudo é uma questão de grau;
- Qualquer sistema lógico pode ser fuzzificado;

Na lógica *fuzzy*, o conhecimento de um especialista é codificado como uma restrição que é a regra fuzzy, em uma coleção de variáveis;

A inferência é vista como um processo de propagação de restrições elástica;

Com a evolução do pensamento surge o conceito *neuro-fuzzy*, que é um sistema de lógica *fuzzy*, que se utiliza do aprendizado proposto por um sistema de redes neurais (SANDRI; CORREA, 1999 e CHAVES, 2018).

No *Neuro-Fuzzy* no campo de pesquisa de modelagem difusa é dividido em duas áreas: modelagem difusa linguística que é focado na interpretabilidade, principalmente no modelo Mamdani; e modelagem *fuzzy* precisa que se concentra na precisão, principalmente o modelo Takagi-Sugeno-Kang (TSK) (SRINIVASA RAO D.; SEETHA M.; KRISHNA PRASAD M.H.M., 2012).

Srinivasa, Seetha, Krishna Prasad (2012) complementa que as vantagens de um sistema neuro-*fuzzy*, é associar a lógica nebulosa *fuzzy*, com um sistema de aprendizagem e conexão das redes neurais, permitindo assim*: a)Lidar com qualquer tipo de informação (numérica, linguística, lógica etc.); b)Gerenciar informações imprecisas, parciais, vagas ou com imperfeitas; c) Resolver conflitos por colaboração e agregação de sistemas; d)Autoaprendizagem, auto-organização e autoajuste das capacidades do sistema* (SRINIVASA, SEETHA, KRISHNA

PRASAD, 2012).

Umas das principais vantagem comparativas do sistema *Neuro-Fuzzy* é justamente sua capacidade de aprendizagem, sendo possível criar o sistema a partir dos dados de treinamento do zero, e inicializá-lo na forma de regras difusas procedimento de aprendizagem.

Na modelagem matemática, a lógica *fuzzy* segundo Jang, Sun, Mizunami, (1997), permite que as observações imprecisas das entradas fossem convertidas em uma tomada de decisão na saída, que é o valor defuzzyficado.

Diversos trabalhos já utilizaram a lógica *fuzzy*, ou sistema *neuro-fuzzy* para análise de variáveis ligadas a irrigação e a produtividade. Estudos aplicados ao rabanete (FERRARI, 2018; CHOUERI, 2018), à alface (PUTTI, 2017), ao tomate (VIAIS NETO et. al., 2018).

No entanto existe uma diferença entre a análise estatísticas dos dados e a criação de um modelo matemático *fuzzy* ou *neuro-fuzzy*, que sirva como apoio a tomada de decisão do produtor para previsão de produtividade e direcionamento das ações. A utilização do método *fuzzy* ou neuro-*fuzzy* envolve dois requisitos antagônicos na modelagem *fuzzy*: interpretabilidade *versus* precisão. (SRINIVASA RAO D.; SEETHA M.; KRISHNA PRASAD M.H.M., 2012).

O objetivo geral deste trabalho foi a construção de uma modelagem matemática *neuro-fuzzy* ANFIS, como instrumento para verificar os efeitos da fertirrigação em diversos níveis de salinidade, nos parâmetros biométricos na cultura do tomateiro.

Para isso tem-se como objetivos específicos:

- Desenvolver e validar um modelo matemático com sistema *neuro-fuzzy* ANFIS para obter um sistema de variáveis biométricas na irrigação do tomateiro, tendo em vista a utilização de lâminas de água com cinco níveis de salinidade irrigados com água não tratada (ANT) e água tratada magneticamente (ATM).
- Comparar a eficiência do modelo matemátio, utilizando cálculo dos índices estatísticos: Coeficiente de determinação (R^2), Erro do Quadrado Médio (RMSE) e Erro Absoluto Médio (MAE), em relação à regressão quadrática.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo em vista a complexidade do presente projeto, a análise metodológica abaixo, traz uma contextualização mais detalhada, permitindo uma análise sistemática e uma visão conceitual mais ampla, resultando em um direcionamento mais específico aos objetivos propostos.

2.1 DO EXPERIMENTO REALIZADO

Os dados experimentais utilizados para a modelagem *neuro-fuzzy* do presente estudo foram analisados estatisticamente por Putti (2019). A etapa experimental desta pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências e Engenharia, Campus de Tupã, São Paulo, com localização geográfica definida pelas coordenadas 22° 51' Latitude Sul (S) e 48° 26' Longitude Oeste (W) e altitude média de 786 metros acima do nível do mar.

A cultivar utilizada no experimento foi a HS 1188, tipo italiano da Horticeres. A semeadura foi realizada em bandejas plásticas de 160 células preenchidas com uma mistura a base de casca de pinus e fibra de coco BIOPLANT®, sendo semeada 3 sementes por célula que, após germinadas, foram submetidas ao desbaste, deixando-se apenas uma muda por célula.

O transplante das mudas ocorreu 35 dias após a semeadura (DAS), que posterior ao desenvolvimento da cultura, realizou-se a eliminação dos brotos laterais com o intuito de manter apenas um ramo principal até aproximadamente 2 m de altura, que foi despontado paralisando o desenvolvimento vertical. Ademais, foi realizado o tutoramento das plantas com o auxílio de fitilhos de plástico, sustentados por um fio de arame instalado acima e no sentido das linhas de cultivo. Os demais tratos culturais foram realizados conforme a recomendação técnica para a cultura do tomateiro, seguimento de mesa.

Foi adotado o delineamento experimental em blocos casuísticos para o experimento, em esquema fatorial 2 × 5, sendo dois tipos de água (água tratada magneticamente, e potável) e cinco concentrações de salinidade (1,5; 3,0; 4,5; 6,0 e 7,5 dS m-1) para a cultura do tomate. Deste modo, o experimento foi constituído de 10 tratamentos, com 4 repetições, assim totalizando 40 parcelas.

Os referidos tratamentos foram dispostos em vasos de 8 dm3 (uma planta

por vaso) preenchidos com substrato de fibra de coco. Os vasos foram alocados em cinco fileiras, com espaçamento de 0,35 m entre plantas e 1 m entre fileiras. Cada fileira representou um nível de salinidade e receberam os dois tipos de água.

2.1.1 Manejo da irrigação

A irrigação foi realizada por meio de sistema localizado, em que aproximadamente a cada 20 minutos o sistema era acionado, permanecendo ligado por 2 minutos. Ressalta-se que no período noturno não ocorria o acionamento do sistema.

A fertirrigação foi realizada de acordo com a fase fenológica da cultura, sendo a solução adotada na fase inicial contendo concentrações de 1,05 $g.L^{-1}$ de nitrato de cálcio, 0,1 $g.L^{-1}$ de ureia, 0,4 $g.L^{-1}$ de nitrato de potássio, 0,3 $g.L^{-1}$ de cloreto de potássio, 0,1 $g.L^{-1}$ de sulfato de potássio, 0,2 $g.L^{-1}$ de nitrato de magnésio, 0,1 $g.L^{-1}$ de sulfato de magnésio, 0,28 $g.L^{-1}$ de MKP, 0,003 $g.L^{-1}$ de sulfato de zinco, 0,008 $g.L^{-1}$ de ácido bórico e 0,02 $g.L^{-1}$ de ferro na forma de EDDHA 80%. Para a fase de florescimento e produtiva, a solução continha 1,114 $g.L^{-1}$ de nitrato de cálcio, 0,11 $g.L^{-1}$ de ureia, 0,43 $g.L^{-1}$ de nitrato de potássio, 0,03 g.L-1 de cloreto de potássio, 0,11 $g.L^{-1}$ de sulfato de potássio, 0,22 $g.L^{-1}$ de nitrato de magnésio, 0,11 $g.L^{-1}$ de sulfato de magnésio, 0,30 $g.L^{-1}$ de MKP, 0,0033 $g.L^{-1}$ de sulfato de zinco, 0,009 $g.L^{-1}$ de ácido bórico e 0,022 $g.L^{-1}$ de ferro na forma de EDDHA 80%.

As concentrações foram realizadas para cada litro de solução, assim obtendo a condutividade de 2,5 $dS.m^{-1}$. Para as demais, foram realizados proporcionalmente os cálculos para atingir a condutividade requerida sendo utilizados seis níveis de salinidade (1,5; 2,5; 4,0; 5,5 e 7,5 dS.m-1). Assim, adotou-se 5 reservatórios onde foram armazenadas de forma concentrada as soluções. No momento do acionamento do sistema de irrigação, ocorria a injeção dos fertilizantes.

2.1.2 Análises biométricas

Altura de plantas (cm): com auxílio de uma fita métrica, medindo-se a altura do colo da planta até a gema apical do ramo principal da planta; Diâmetro do caule (mm): medida obtida na haste principal, com auxílio de um paquímetro digital, considerando 1 cm de distância da superfície do solo; Número de folhas: foi obtido

pela contagem do número de folhas de cada planta; Fitomassa fresca de folha e caule (g): obtidas pela pesagem em balança analítica de precisão 0,01 g; Fitomassa seca de folha e caule (g): medida obtida pela secagem em estufa à 65°C±2°C, durante 72 horas, até atingir peso constante, e em seguida as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão 0,01 g.

2.1.3 Magnetização da água

Utilizou-se um magnetizador Sylocimol Rural da empresa Timol Indústria e Comércio de Produtos Magnético, o qual tem capacidade de magnetizar 1000 litros de água em 20 minutos e permanecendo magnetizada por 4 horas. 2.1.2 Análises biométricas e de produção

2.2 MODELAGEM *NEURO-FUZZY*

Esta abordagem consiste na combinação de redes neurais artificiais (RNAs) e técnicas fuzzy. Essa combinação permite a obtenção de melhores resultados do que usando algoritmos individuais e isso torna a Rede Neuro-Fuzzy (NFN) uma técnica de aprendizagem mais robusta e eficaz.

A modelagem matemática *fuzzy* para entrada no sistema ANFIS, para explicar a os parâmetros fisiológicos e nutricionais do tomateiro submetidos a cinco níveis de salinidade via fertirrigação de (1,5; 2,5; 4,0; 5,5 e 7,0 dS. m-1), cultivados em ambiente protegido.

Esta abordagem de modelagem é empregada na previsão e aproximação de funções, operando dentro do paradigma do sistema de inferência fuzzy Takagi-Sugeno, conforme descrito por Jang & Sun (1997). Essa metodologia pode ser implementada tanto em um nível constante (zero) quanto linear (primeira ordem), de acordo com Ferrari (2018). No desenvolvimento do sistema baseado em regras fuzzy, estabelece-se inicialmente um fuzzyficador para o processamento das entradas. Em seguida, define-se um conjunto de regras linguísticas que formam a base de conhecimento do sistema. Um método de inferência é então aplicado para processar estas regras, culminando no defuzzyficador, que é responsável por converter os resultados fuzzy em um valor numérico específico, representando a

saída real do sistema.

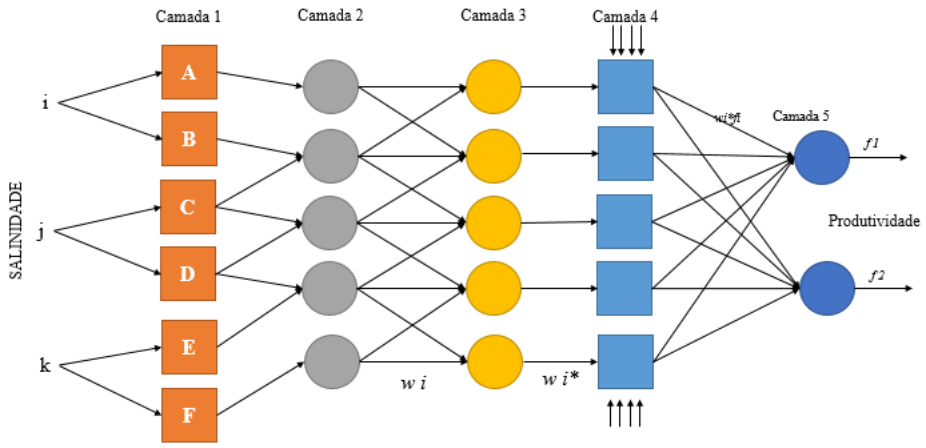


Figura 5- Construção do modelo *neuro-fuzzy.* Fonte: Adaptado de Chaves (2018) e Ferrari (2018).

Para definição do modelo *Neuro-Fuzzy*, foi escolhido o sistema ANFIS em 5 camadas, conforme proposto por (JANG, 1993), os nós das camadas um e quatro são adaptativos, ou seja, seus valores são fracionados em valores antecedentes e consequentes da regra (CHAVES, 2018, e FERRARI, 2018).

Para elaboração da sistemática das camadas foi utilizado a sistematização elaborada por Ferrari (2018), tendo em vista que utilizou o método em sistema semelhante de irrigação. Conforme demostrado na tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Demonstração do conjunto de fórmulas para construção das camadas ANFIS

Camada 1 $O_i^j = \mu_i^j(x_i)$	Camada 2 $O_j^2 = w_j = \prod_{i=1}^{2} \mu_i^j = \mu_i^j x \mu_i^j = \min(\mu_1^i; \mu_2^i), j = 1,2$
Camada 3 $O_j^3 = \overline{w_j} = \frac{w_j}{\sum_{i=1}^{2} wi} = \frac{w_j}{w_1 + w_2}; j = 1,2$	Camada 4 $O_j^4 = f_j = \overline{w_j} = (p_j x_1 + q_j x_2 = r_j$
Camada 5 $O_j^5 = f = \sum_{j=1}^{2} f_j$	

Fonte: Adaptado de Chaves (2018) e Ferrari (2018)

Na primeira camada, o grau de pertinência para cada entrada (x), relacionado às lâminas de salinidade, é determinado. Na segunda camada, encontra-se um

conjunto fixo de nós, onde cada nó calcula o grau de implicação de sua respectiva regra. Durante este processo, os neurônios empregam a T-norma produto, multiplicando todos os sinais de entrada que posteriormente são direcionados para a saída. A terceira camada consiste em nós não adaptativos que calculam a proporção do valor de ativação de cada regra pelo somatório dos valores de ativação de todas as regras, configurando-se como uma etapa preparatória para a defuzzyficação, conforme descreve Ferrari (2018).

A quarta camada possui nós ajustáveis, e a saída de cada neurônio é derivada do valor processado pela terceira camada, levando em consideração os valores normalizados e os resultados consequentes de cada regra. A quinta e última camada é composta por dois nós fixos que representam a saída final do sistema, segundo Ferrari (2018).

O desenvolvimento do modelo foi realizado utilizando o software MATLAB® R2022a, empregando a ferramenta *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*, parte do *Fuzzy Logic Toolbox*, licenciado para a Universidade Estadual Paulista (UNESP).

2.4 MODELAGEM ESTATÍSTICA PARA COMPARAÇÃO DOS MODELOS

Um dos grandes avanços deste trabalho é a comparação estatística de dois modelos matemáticos aplicados a um mesmo conjunto de dados.

A regressão quadrática é utilizada para modelar conjuntos de dados que exibem relações não lineares e padrões curvilíneos, pois sua formulação matemática permite capturar variações quadráticas na variável dependente. Essa adequação é evidenciada quando o modelo quadrático mostra um ajuste superior, refletido em um coeficiente de elevado, e menores valores de erro, como o RMSE e o MAE, em comparação com modelos lineares. (TORMAN; COSTER; RIBOLDI, 2012).

Portanto, a escolha pela regressão quadrática é baseada na sua capacidade de explicar mais eficientemente a variabilidade dos dados e fornece um modelo estatisticamente confiável para a relação entre as variáveis estudadas.

Para avaliação do grau de acerto e confiabilidade dos sistemas serão utilizados os índices estatísticos padrão para análise de dados desta complexidade. Assim foram escolhidos os seguintes: Erro do quadrado médio (RMSE), Erro absoluto médio (MAE), e Coeficiente de determinação (r2), com as fórmulas

demonstradas abaixo:

Tabela 6 - Demonstração do conjunto de fórmulas para análises comparativas dos modelos

$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$	$MAE = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^{N} \lvert \hat{y}_i - y_i \rvert$
$\text{MSE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2$	$R^2 = 1\,\frac{\sum_{k=1}^{n}(y_k - \hat{y}_k)^2}{\sum_{k=1}^{n}(y_k - \bar{y})^2}$

Fonte: Elaborado pelo autor

Para avalição dos modelos serão utilizados tanto o Erro quadrático médio (RMSE) ou erro absoluto médio (MAE). O RMSE e o MSE são mais adequados quando os dados apresentam desigualdade, sendo mais sensível a dados outliers. Uma vantagem distinta de RMSe sobre MAE é evitar o uso de valor absoluto, que é altamente indeterminado em muitos cálculos matemáticos. O MAE, no entanto, pode solucionar possíveis incertezas do modelo por considerar o erro absoluto dos resíduos do conjunto de dados (CHAI; DRAXLER, 2014).

Por fim o coeficiente de determinação (R^2), permite avaliar o ajuste do modelo matemático, inferindo um índice de qualidade do modelo e sua função explicativa ou preditiva, permitindo a comparação ente um modelo e outro. (TORMAN; COSTER; RIBOLDI, 2012).

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA

Medeiros et al. (2014) e Rhoades et al. (2000), apontam que para o tomateiro comercial o valor de salinidade, expresso em termos de condutividade elétrica do extrato de saturação, é entre 2,5 e 3,0 $dS.m^{-1}$, com decréscimo relativo para a cultura de 9,0%. Assim no experimento foram utilizados seis níveis de salinidade (1,5; 2,5; 4,0; 5,5 e 7,5 $dS.m^{-1}$).

A Tabela 7 aponta os valores médios dos parâmetros biométricos do tomateiro. Foi usado a média simples das repetições para cálculo da variação dos limites inferiores e superiores dos dados, utilizados para modelagem.

Tabela 7 - Dados médios parâmetros biométricos do tomateiro sob diferentes níveis de salinidade.

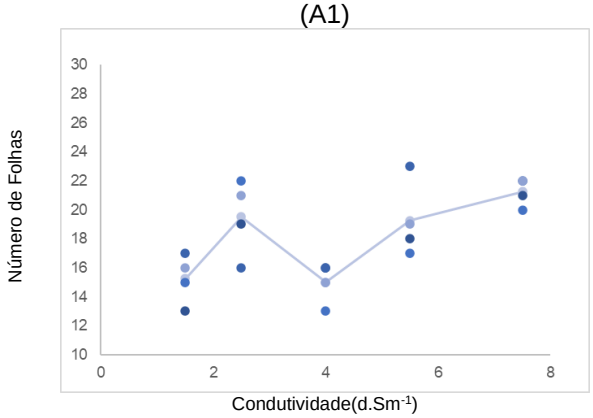
	Cond.(d.Sm-1)	**1,5**			**2,5**			**4,0**			**5,5**			**7,5**		
	Tipo de tratamento	ANT	ATM	DIF.	ANT	ATM	*DIF.*	ANT	ATM	*DIF.*	ANT	ATM	*DIF.*	ANT	ATM	*DIF.*
Variável Biométrica	**Número de Folhas**	15,25	18,0	*2,75*	19,5	25,5	*6,0*	15,0	19,7	*4,7*	19,25	18,5	*-0,75*	21,25	18,25	*-3,0*
	Peso fresco Folha (g)	425,9	380,0	*-45,9*	424,5	426,2	*1,7*	324,9	278,6	*-46,3*	239,9	353,0	*113,1*	316,8	260,9	*-55,9*
	Peso seco Folha (g)	141,5	134,9	*-6,6*	113,4	111,0	*-2,4*	126,2	106,3	*-19,9*	148,2	121,5	*-26,7*	135,5	75,6	*-59,9*
	Diâmetro (mm)	14,7	15,1	*0,4*	15,9	17,5	*1,6*	17,8	15,8	*-2*	17,6	16,3	*-1,3*	18,5	14,8	*-3,7*
	Peso fresco caule (g)	419,2	365,6	*-53,6*	384,5	267,1	*-117*	338,6	260,7	*-77,9*	340,7	252,4	*-88,3*	308,4	281,6	*-26,8*
	Peso seco do caule (g)	78,9	84,7	*5,8*	71,0	56,9	*-14,1*	73,2	55,7	*-17,5*	71,2	65,7	*-5,5*	64,6	66,8	*2,2*

Fonte: Dados da Pesquisa

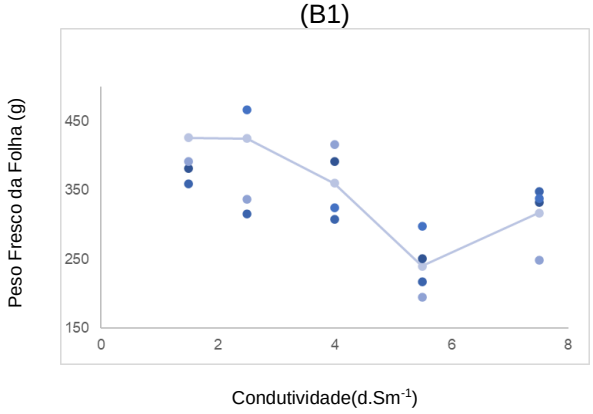
Os dados foram plotados na Figura 6, que demonstra a variação das quatro repetições dos dados separados pelos níveis de salinidade, conforme apresentado abaixo.

Água Não Tratada

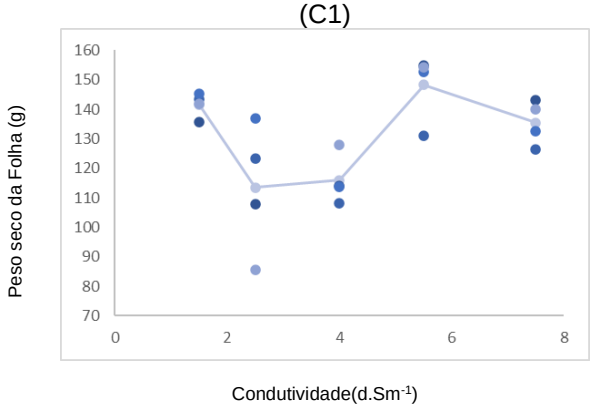
(A1)



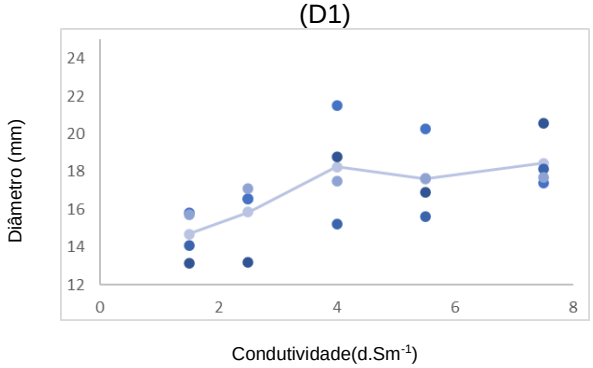
(B1)



(C1)

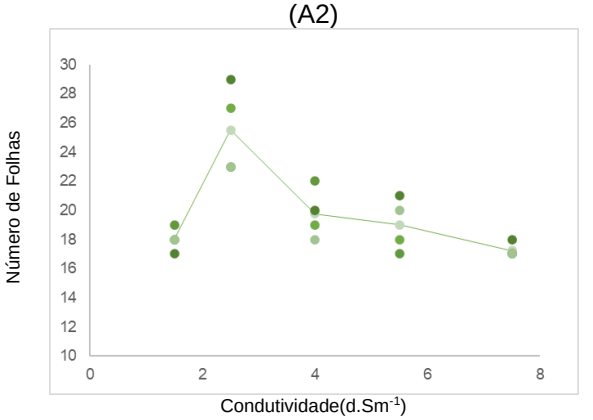


(D1)

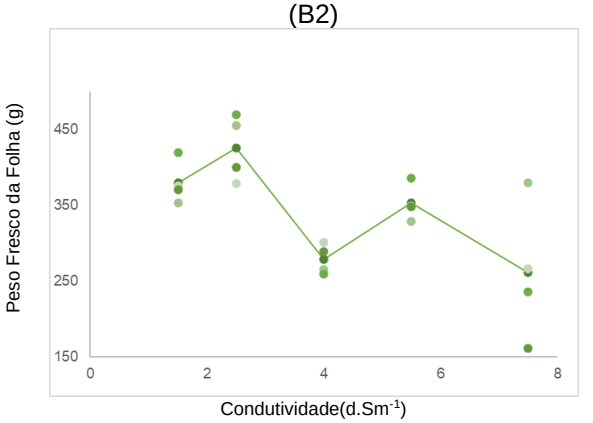


Água Tratada Magneticamente

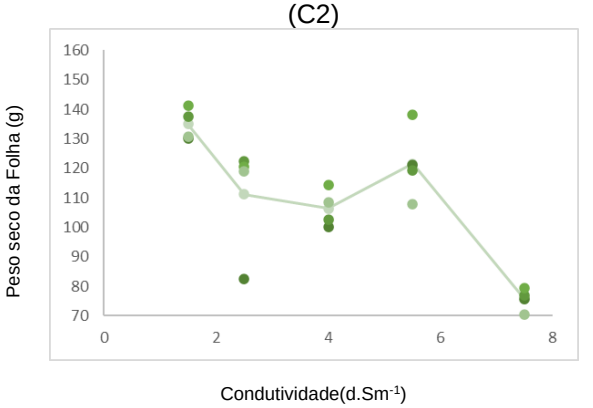
(A2)



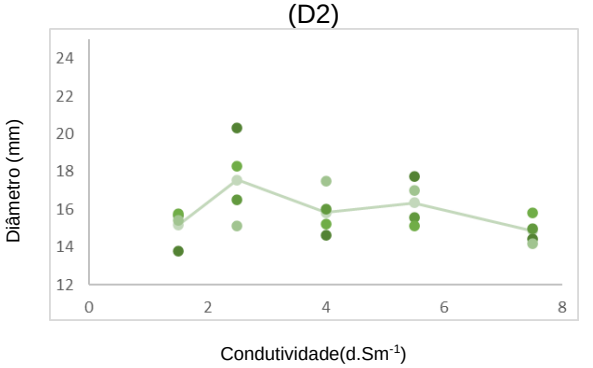
(B2)



(C2)



(D2)



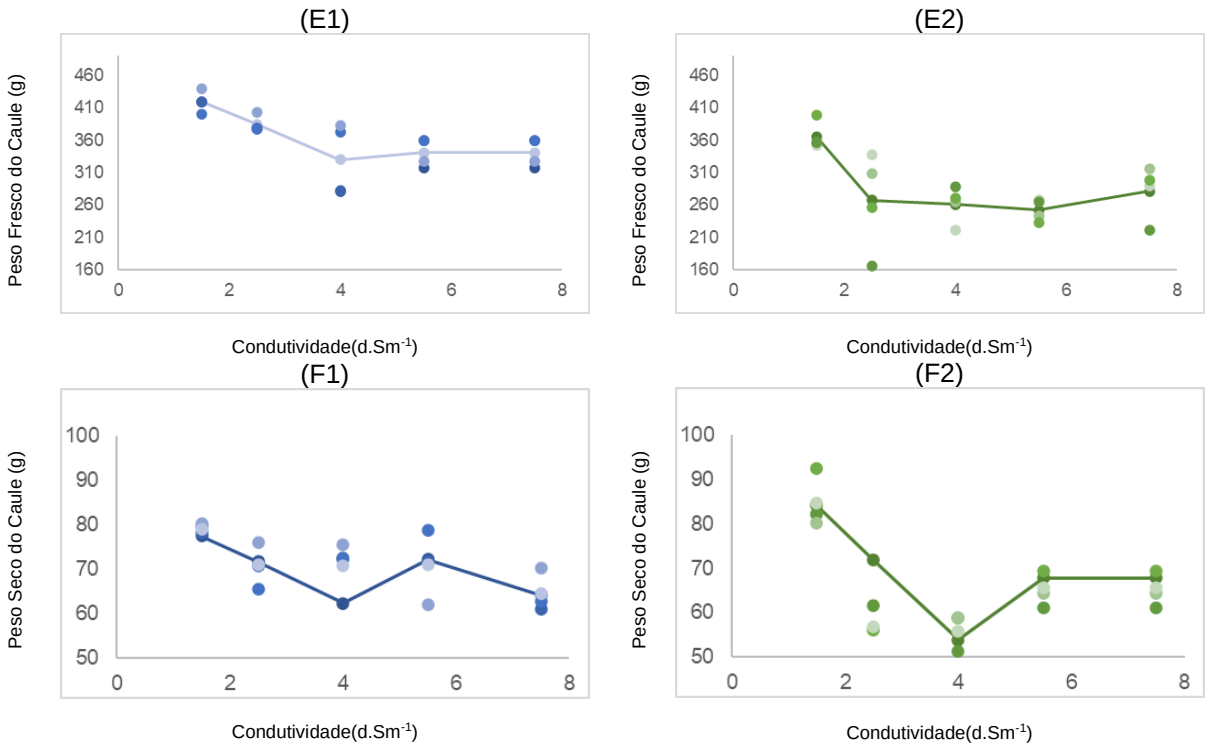


Figura 6 - Dados de entrada para elaboração dos modelos matemáticos, dos fatores biométricos do sob diferentes níveis de salinidade.

Sob as condições de salinidade e tratamento especificadas, observa-se que, geralmente, o Número de folhas (Figura 6A1 e 6A2) e apresentou tendência de aumento com o tratamento de água tratada magneticamente (ATM) em comparação com a água não tratada (ANT). Na condição de salinidade de 1.5 d.Sm^-1, o número médio de folhas é 15,25 para ANT e 18 para ATM, indicando um possível efeito benéfico do tratamento magnético na produção foliar.

O número de folhas do tomateiro (Figura 6A2) para o conjunto irrigado com ATM, foi maior nos 5 níveis de salinidade do estudo, corroborando com os dados levantados em outros estudos (PUTTI et al., 2019; OSPINA-SALAZAR, 2018). A variável Peso Fresco da Folha (Figura 6B2) e Peso fresco do caule (Figura 6E2) com uso de ATM, foi a que teve a maior variação entre os níveis de salinidade do experimento.

Quanto aos Peso fresco da Folha (Figura 6B1 e 6B2), a massa fresca das folhas não apresenta uma tendência clara associada aos tratamentos. A salinidade indica variações entre os tratamentos em diferentes níveis de salinidade. No nível de 1.5 d.Sm^-1, observa-se uma diminuição no peso fresco das folhas com o tratamento ATM (380 g) em comparação com ANT (425.9 g).

Em relação ao Peso seco da Folha (Figura 6C1 e 6C2), não demonstrou uma

tendência uniforme ao longo dos gradientes de salinidade e tratamento. Em alguns casos, como na salinidade de 1.5 d.Sm^-1, o peso seco é ligeiramente menor para o tratamento ATM (134.9 g) do que para ANT (141.5 g).

O número de folhas e a área foliar são indicativos do potencial fotossintético das plantas e a salinidade pode afetar esses parâmetros ao induzir um ambiente estressante para as plantas, levando à redução da expansão foliar como mecanismo de conservação de água (GOMES et al., 2011). No entanto, algumas plantas podem exibir uma capacidade de adaptar a fotossíntese mesmo sob condições de estresse salino, possivelmente devido a um sombreamento reduzido, que pode melhorar a eficiência do uso da luz (GOMES et al., 2011). Por outro lado, em algumas condições, a salinidade parece ter promovido a expansão foliar, sugerindo uma possível tolerância das plantas a certo nível de estresse salino (ANDRÉO-SOUZA et al., 2010).

O Diâmetro das plantas (Figura 6D1 e 6D2), mostra variações entre os tratamentos, onde, em certos níveis de salinidade, o tratamento com água tratada magneticamente promove um maior diâmetro; por exemplo, em 1.5 d.Sm^-1, o diâmetro é de 14.7 mm para ANT e 15.1 mm para ATM. Este dado pode indicar uma resposta morfológica das plantas ao tratamento magnético.

No uso da irrigação com água não tratada (ANT) as variáveis Peso fresco da folha (Figura 6B) Peso seco da folha, (Figura 6C1) Peso fresco do caule (Figura 6E1), e Peso seco do caule (Figura 6F1), apresentaram diminuição em relação ao aumento da salinidade. A diminuição da fitomassa segue o descrito por Cuartero et al. (1998) e por Rivero et al. (2014), que apontam que a redução da área foliar pode reduzir proporcionalmente sem, no entanto, diminuir a número de folhas (Figura 6A1), por apontar a redução do tamanho das folhas.

A biomassa das plantas, medida pelo peso fresco e seco, é influenciada pela salinidade, que pode interferir na absorção de nutrientes e água, levando a uma redução no crescimento vegetativo e na produção de matéria seca (ANDRÉO-SOUZA et al., 2010). Contudo, o uso de nutrientes como nitrogênio (N) pode atenuar os danos induzidos pela salinidade, por meio do acúmulo de compostos orgânicos como a prolina, que contribuem para o ajustamento osmótico celular e aumentam a tolerância das plantas a estresses hídricos e salinos (BRAZ et al., 2019).

No entanto a variável diâmetro do caule (Figura 6D1) apresentou um aumento proporcional ao índice de salinidade, que é um parâmetro importante para a sustentação da planta e sua arquitetura geral. Alterações no diâmetro do caule sob condições de salinidade podem refletir uma resposta adaptativa da planta para minimizar os efeitos negativos do estresse salino. Andréo-Souza et al., (2010) indicam que diferentes espécies e até cultivares da mesma espécie podem reagir de maneira diversa à salinidade, alguns mostrando maior desenvolvimento do diâmetro do caule em resposta a um aumento moderado na salinidade. (GOMES et al., 2011).

A salinidade pode reduzir a produção de matéria fresca e seca, assim como os teores de clorofila e a área foliar, afetando negativamente o desenvolvimento e o crescimento da planta. Por outro lado, há indicações de que algumas plantas podem apresentar uma tolerância ao estresse salino, mantendo o crescimento e desenvolvimento proporcional de suas partes, como caule, folhas e raízes (ANDRÉO-SOUZA et al.; 2010; SA et al., 2018).

As variáveis biométricas do tomateiro, com o uso de água tratada magneticamente (ATM), foram menores que o controle utilizando irrigação com água não tratada (ANT). Esses dados são contrários ao levantado em estudos anteriores (AHMMAD et al., 2020; LIU et al.,2020; ZHOU et al., 2021).

3.2 CONJUNTOS NEUROFUZZY DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA

Para construção da modelagem *neuro-fuzzy* dos parâmetros biométricos do tomateiro, foi utilizado como variável de entrada o nível de salinidade da fertirrigação, medido por níveis de condutividade da lâmina de água.

As funções de pertinência foram construídas de maneira que os níveis de salinidade adotados no experimento (1,5; 2,5; 4,0; 5,5; e 7,5 $dS.m^{-1}$) correspondessem ao grau de pertinência igual a 1 aos conjuntos fuzzy Muito Baixo (MB), Baixo (B), Médio (M), Alto (A) e Muito Alto (MA), respectivamente.

Tendo em vista a característica dinâmicas da variável de entrada, optou-se pela utilização das funções de pertinência do tipo *gbellmf* (forma de sino generalizada), por permitirem uma suavização dos dados, mais indicados para sistemas neuro-fuzzy adaptativos.

$$f(x; a.b.c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}}$$

Conforme demonstrado acima a define a largura da função de pertinência, onde um valor maior cria uma função de pertinência mais ampla, b define a forma da curva em cada lado do platô central, onde um valor maior cria uma transição mais acentuada, e c define o centro da função de pertinência MATHWORKS (2022).

Depois de inserido os dados da variável, foram delimitadas as funções de pertinência para as variáveis de entrada e saída conforme demonstrado na tabela 8 abaixo.

Tabela 8 - Delimitadores das funções de pertinência do tipo *gbellmf* (forma de sino generalizada) para as variáveis de entrada e linear (y=ax+b) para as variáveis de saída.

VARIÁVEL	FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA	ENTRADA	SAÍDA
Número de folhas	1	[1,198 1,89 1,804]	[7,393x 4,243]
	2	[0,458 2,042 3,216]	[-0,364x 0,008]
	3	[0,178 2,066 4,707]	[-0,025x -0,007]
	4	[0,774 2,005 6,003]	[3,345x 0,589]
	5	[0,728 2,01 7,506]	[2,732x 0,366]
Peso fresco da folha (g)	1	[0,892 1,988 1,618]	[206,669x 123,777]
	2	[0,645 2,01 3,137]	[75,752x 27,855]
	3	[0,737 2,006 4,527]	[84,719x 21,137]
	4	[0,736 2,004 6,007]	[28,142x 5,213]
	5	[0,748 2,001 7,5]	[41,936x 5,675]
Peso seco da folha(g)	1	[0,84 1,99 1,57]	[67,708x 43,095]
	2	[0,634 2,018 3,078]	[16,603x 6,302]
	3	[0,744 2,004 4,506]	[28,864x 6,886]
	4	[0,75 2 6,003]	[25,338x 4,624]
	5	[0,747 2,002 7,501]	[17,215x 2,338]
Diâmetro(mm)	1	[0,92 1,986 1,644]	[7,16x 4,128]
	2	[0,581 2,012 3,155]	[2,4x 0,853]
	3	[0,782 2,002 4,547]	[4,661x 1,124]
	4	[0,726 2,003 6,024]	[2,461x 0,449]
	5	[0,745 2,003 7,502]	[2,399x 0,325]
Peso fresco do caule (g)	1	[0,913 1,987 1,638]	[100,68x 59,361]
	2	[0,624 2,009 3,161]	[33,02x 12,094]
	3	[0,723 2,008 4,523]	[41,547x 10,041]
	4	[0,747 2,002 6,005]	[31,335x 5,733]
	5	[0,746 2,002 7,501]	[24,034x 3,262]
Peso seco do caule (g)	1	[0,879 1,988 1,605]	[201,823x 124,676]
	2	[0,631 2,013 3,118]	[57,286x 21,399]
	3	[0,739 2,005 4,517]	[79,921x 19,399]
	4	[0,745 2,002 6,005]	[53,825x 9,871]
	5	[0,747 2,002 7,501]	[39,339x 5,35]

Fonte: Dados da pesquisa

Para o treino do modelo foi escolhi o método híbrido com aprendizagem de redes neurais, que foi combinado com os métodos *back-propagation* (para as regras

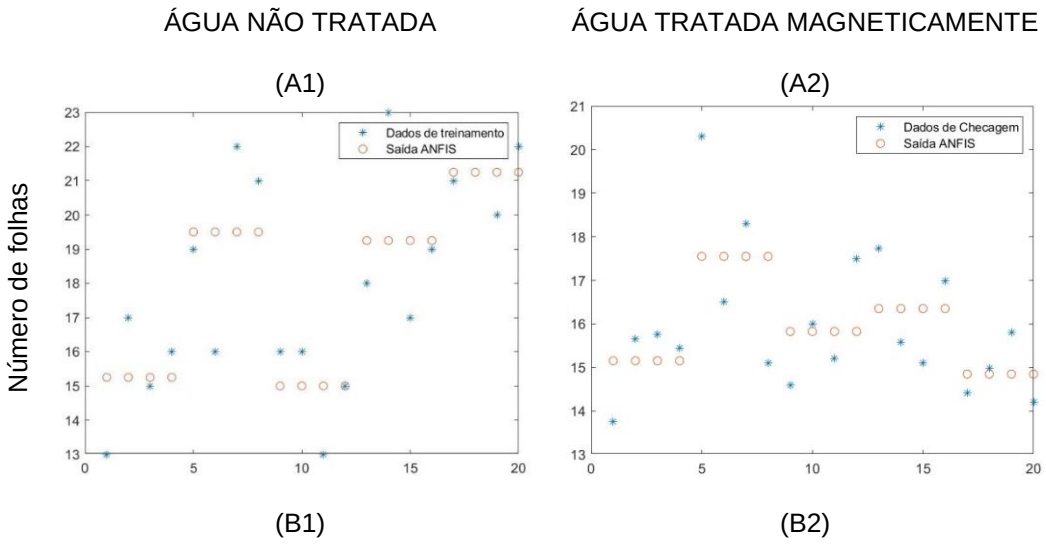
fuzzy de entrada) e o dos mínimos quadrados (para valores estimados de saída através das regras *fuzzy*), selecionou-se os critérios de parada do modelo, e por fim iniciado o treinamento das variáveis do modelo, seguido proposto por Mazieiro et al. (2021) e Ferrari (2018).

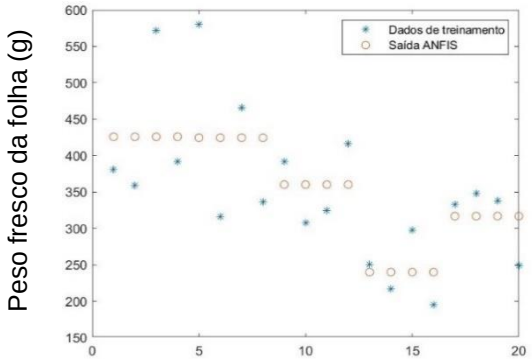
3.3 TREINAMENTO DOS MODELO NEURO-FUZZY ANFIS

Considera-se como erro de treinamento resultado da diferença entre o desempenho do sistema nos dados de treinamento e o desempenho ideal. Quanto menor o valor de erro de treinamento, menor é a incerteza no modelo obtido. A metodologia para avaliação do modelo neuro-fuzzy, orienta que os dados devem ser divididos em dois grupos: aproximadamente 80% dos dados são para o treinamento dos modelos e 20% para validação do modelo (NAUCK, 1997; BABUŠKA e VERBRUGGEN, 2003; e LENG, MCGINNITY E PRASAD, 2005).

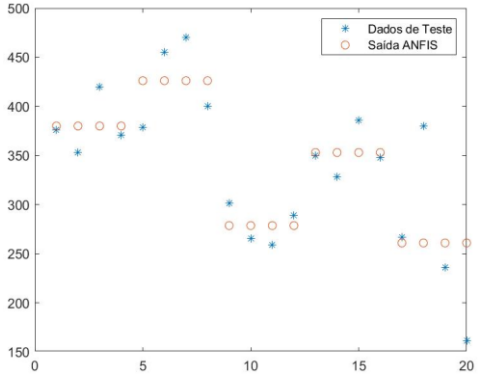
Tendo em vista a quantidade de dados do experimento, realizou-se treinamento e a checagem com 100% dos dados tendo em vista que casa nível da salinidade contava apenas com quatro repetições.

Os erros de treinamento foram considerados dentro os limites máximos aceitáveis, o erro de treinamento ao longo do processo de treinamento foi considerado para garantir que os modelos finais atendam os padrões estatísticos. Foi considerado o grau de acerto, com tolerância de erro mais próximo de zero. A Figura 7 mostra o comparativo entre os dados de treinamento e a saída dos modelos neuro-fuzzy (ANFIS).

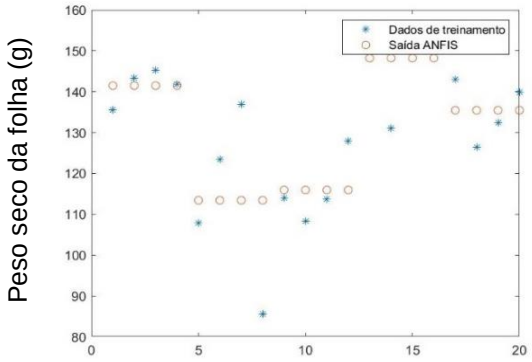




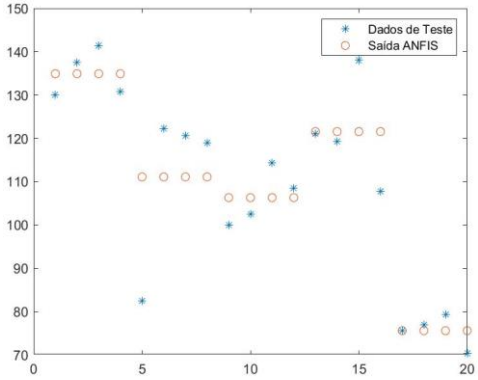
(C1)



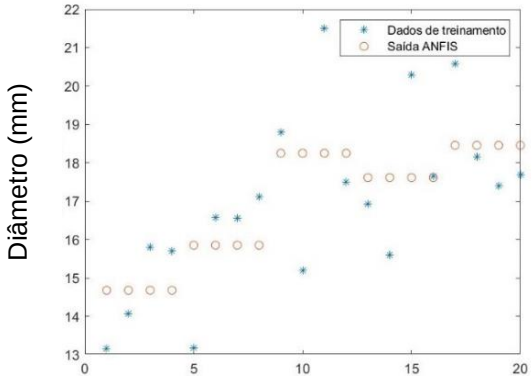
(C2)



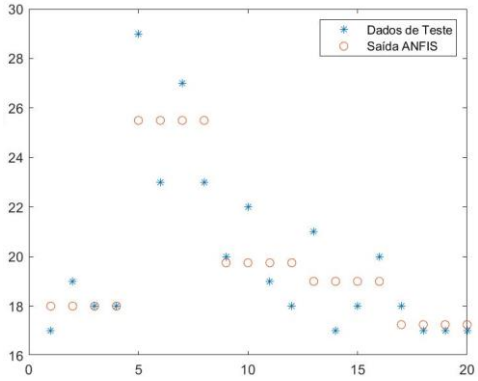
(D1)



(D2)



(E1)



(E2)

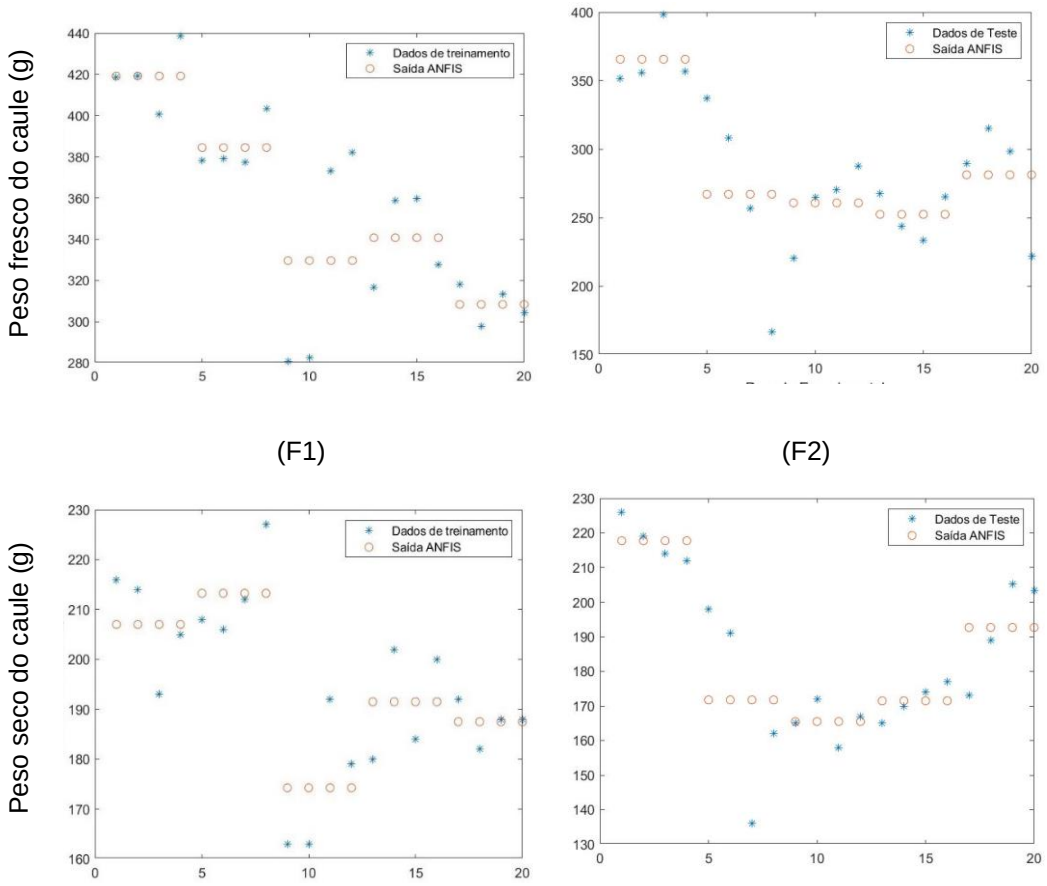


Figura 7 – Demonstração dos dados de treinamento da modelagem *neuro-fuzzy*.

Em todas as variáveis apresentadas acima a modelagem ANFIS manteve-se com estimativas precisas e com erros satisfatórios, sendo que os ponto de saídas ANFIS corresponderam à média dos dados em casa um dos tratamentos.

A figura 08 e as saídas de erro de treinamento foram plotadas para análise comparativa dos gráficos.

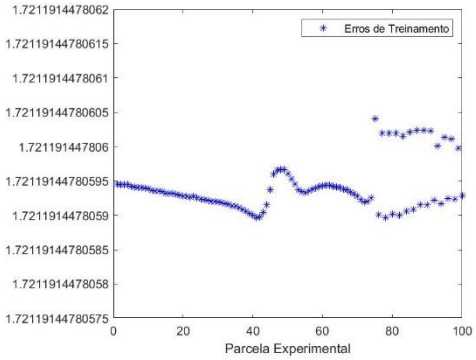
ÁGUA NÃO TRATADA

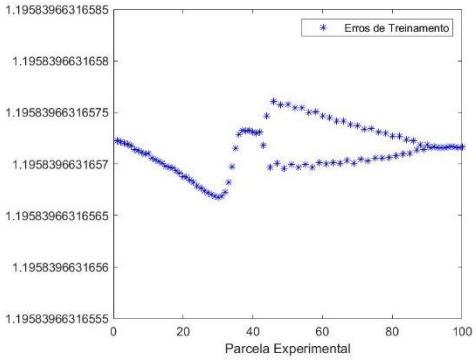
ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE

(A1)

(A2)

Número de folhas

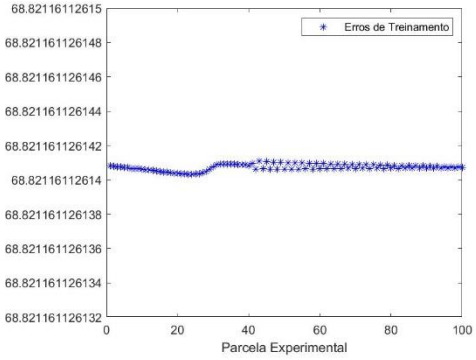


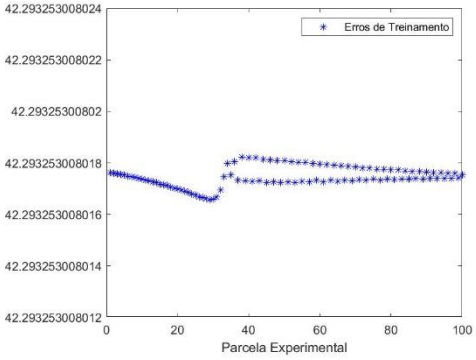


(B1)

(B2)

Peso Fresco da Folha (g)

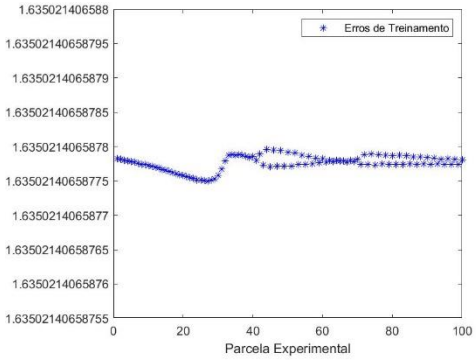


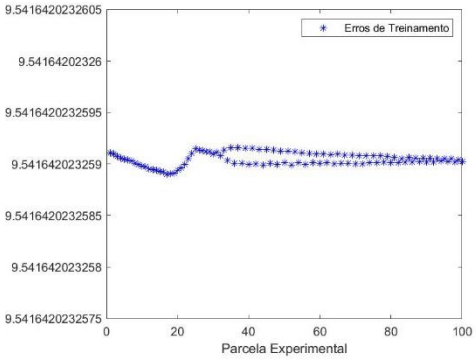


(C1)

(C2)

Peso Seco da Folha (g)





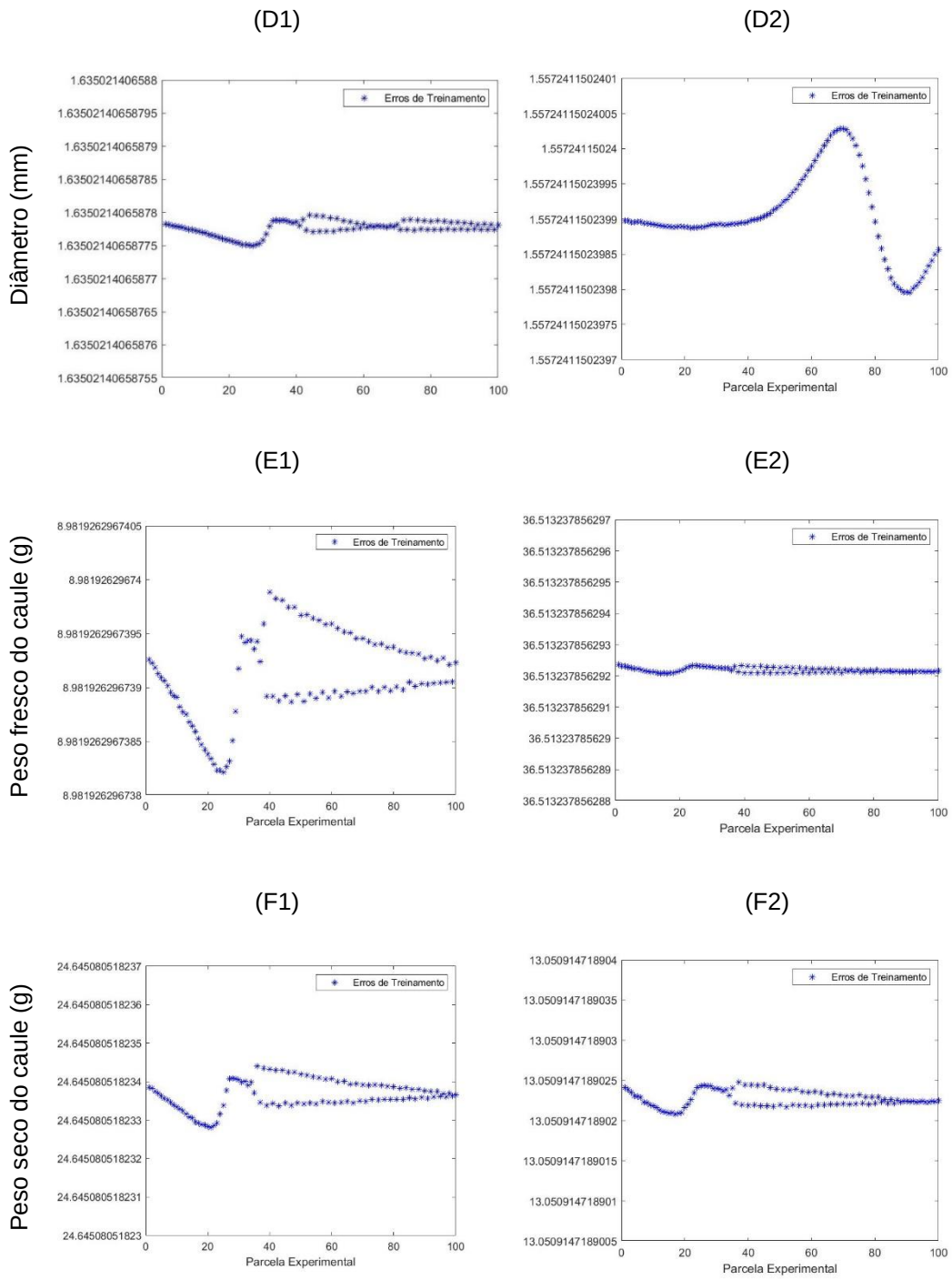


Figura 8 – Demonstração das saídas de erro de treinamento plotadas para análise comparativa dos gráficos.

Para o uso de água não tratada (ANT), os erros dos modelos ANFIS para as variáveis Peso Fresco da folha (Figura 7B1), Peso seco da Folha (Figura 7C1), Diâmetro (Figura 7D1), obtiveram índice de erro de estimativa expressivamente menores, proporcionais ao erro suportado do modelo. As variáveis Número de folhas (Figura 7A1), Peso fresco do caule (Figura 7E1), e peso seco do caule (Figura 7F1), apresentaram um range maior de erro no treinamento, no entanto os modelos

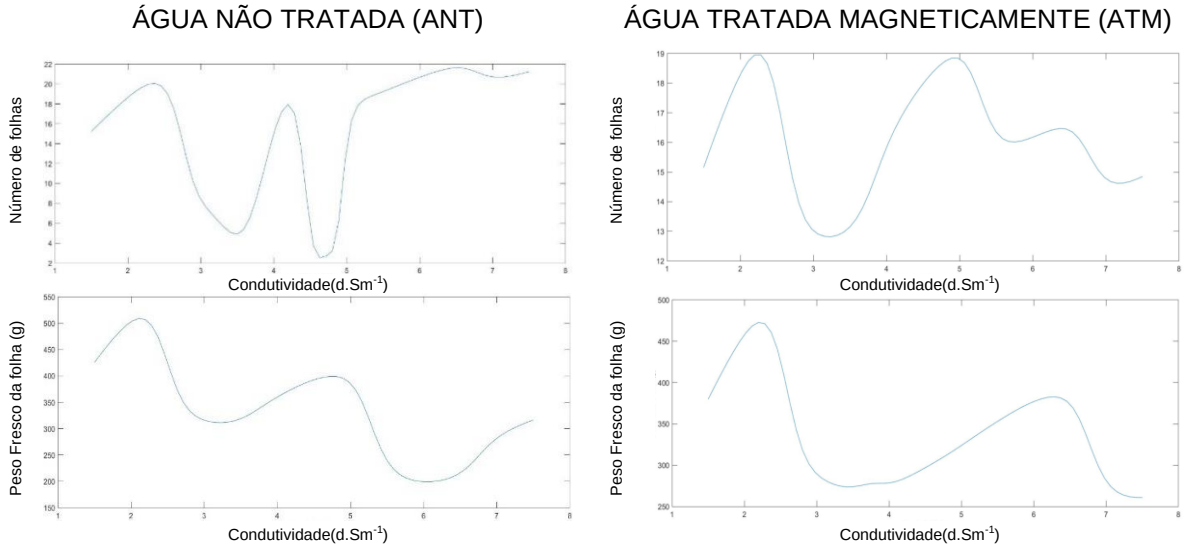
demonstraram alto índice de previsibilidade, levando a curva de erro para o ajuste próximo a 100%.

Quanto ao uso de água tratada magneticamente (ATM) as variáveis Número de folhas (Figura 7A2), Peso Fresco da folha (Figura 7B2), Peso seco da Folha (Figura 7C2), Peso fresco do caule (Figura 7E1), e peso seco do caule (Figura 7F1), apresentaram índice de erro tendendo a zero, próximo a 100% dos dados. A variável Diâmetro (Figura 7D2) apresentou maior variação no range dos erros dos dados, mas manteve o ajuste próximo a 100% do treinamento.

3.4 SAÍDA DA MODELAGEM NEURO-FUZZY

Os modelos *neuro-fuzzy*, analisaram os dados de forma integral possibilitando apresentar valores de saída igual ou próximo as médias dos dados experimentais, demonstrando a sua eficiência na análise das variáveis biométricas do tomateiro.

Assim se mostrou apropriada para estimar os parâmetros biométricos do tomateiro sob estresse salino, nos cinco níveis de condutividade, conforme demonstrado na Figura 9.



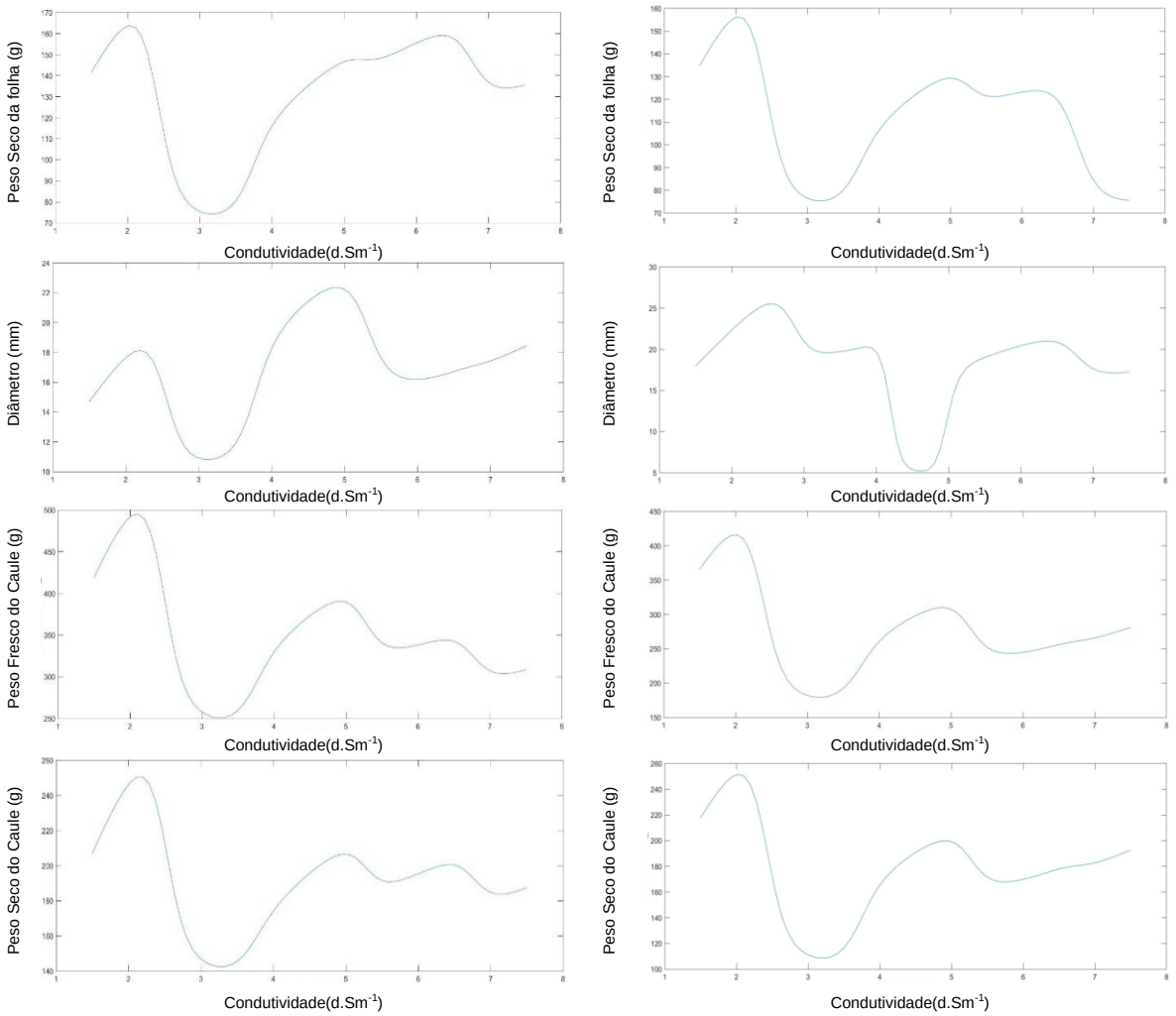


Figura 9- Resultado de saída do modelo *neuro-fuzzy* para os dados biométricos do tomateiro sob estresse salino

As duas curvas obtiveram comportamentos semelhantes em ambos tratamentos (ANT e ATM). A regressão foi mais sutil e a ANFIS teve um comportamento um pouco variável, explicado pelo fato deste sistema considerar os desvios dos dados ao redor da média.

O número de folhas (Figura 8a) apresentou um desempenho superior com as doses de salinidade 3,0 e 6,0 dS.m-1, com uma distribuição de dados próximo da média por níveis de salinidade. Entretanto o peso fresco da folha (Figura 8b) e o peso fresco do caule (Figura 8f) apresentaram redução em função do aumento dos níveis de salinidade. O que indica que mesmo com um leve aumento na quantidade de folhas essas são de tamanho menores.

Esse comportamento da planta corrobora com o apontado por Oliveira et al. (2013) e Willadino e Camara (2010), e Medeiros et al. (2007) que apontam que a diminuição da fitomassa é uma forma de adaptação da planta ao estresse salino

para reduzir as perdas de água por transpiração e aparecimento de injúrias por salinidade.

O diâmetro de caule (Figura 8d) apresentou um leve aumento de acordo com o aumento dos níveis de salinidade no tomateiro. Esse resultado corrobora Lima et al. (2015) e Veras et al. (2011) pois este é utilizado pela planta para armazenar sólidos solúveis que posteriormente poderão ser biodisponíveis (BRITO et al. 2014).

De uma maneira geral, a partir dos resultados, observa-se, a diminuição nos índices biométricos da cultura do tomateiro, conforme o aumento de salinidade, podendo ser considerada como sensível a salinidade do solo causada por sais fertilizantes, conforme o experimento. Isso corrobora que os níveis de salinidade geram alterações nos processos morfológicos, bioquímicos e fisiológicos de diferentes culturas, afetando a produção de biomassa, nesse contexto, conforme alteração nos níveis de salinidade. (VERAS et al., 2011; LIMA et al. 2015 NUNES et al. 2012),

A análise das respostas do tomateiro ao estresse salino demonstrou o impacto desta condição no desenvolvimento e produção deste cultivo, diante dos modelos de previsão de resposta do tomateiro ao estresse salino, a partir de dados biométricos dos indivíduos independente o tipo de tratamento de água utilizado.

3.4 COMPARATIVO ESTATÍSTICO MODELAGEM NEURO-FUZZY E DA REGRESSÃO POLIINOMIAL

Os índices estatísticos dos modelos ANFIS e da Regressão Polinomial foram avaliados para prever os efeitos da salinidade nas características biométrica do tomateiro.

Após processo de treinamento e validação dos dados da modelagem *neuro-fuzzy*, foram realizadas a comparação da eficiência do modelo, utilizando cálculo dos índices estatísticos: (X^2), Coeficiente de determinação (R^2), Erro do Quadrado Médio (RMSE) e Erro Absoluto Médio (MAE), em relação à regressão polinomial, conforme demonstrado da Tabela 9.

Tabela 9- Comparativo dos índices estatísticos dos modelos ANFIS e da regressão polinomial dos dados biométricos do tomateiro sob estresse salino

		ÁGUA NÃO TRATADA (ANT)		ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE (ATM)	
Variável	**Índices**	***Neuro-fuzzy***	**Regressão Polinomial**	***Neuro-fuzzy***	**Regressão Polinomial**
Número de Folhas	MSE	2,9625	6,0810	1,4300	1,9343
	MAE	1,3749	1,8971	0,9847	1,0462
	RMSE	1,7211	2,4659	1,1958	1,3908
	R^2	0,6761 (p=0,0008)	0,3352 (p=0,0074)	0,3908 (p=0,003)	0,1759 (p=0,065)
Peso Fresco Folha (g)	MSE	4736,3522	5959,1687	1788,719	3557,215
	MAE	56,6237	65,5386	30,347498	49,677671
	RMSE	68,8211	77,1956	42,2932	59,6423
	R^2	0,5094 (p=0,0004)	0,3827 (p=0,0036)	0,6823 (p=0,000)	0,3682 (p=0,004)
Peso seco Folha (g)	MSE	113,7343	272,7716	91,0429	223,7430
	MAE	8,0302	13,1914	6,9560	10,840
	RMSE	10,6646	16,5157	9,5416	14,9580
	R^2	0,6283 (p=0,0003)	0,1086 (p=0,155)	0,8108 (p=0,0000)	0,5352 (p=0,0001)
Diâmetro (cm)	MSE	2,6732	2,8882	2,4250	8,1216
	MAE	1,3450	1,3708	1,2250	2,1572
	RMSE	1,6350	1,6994	1,5572	2,8498
	R^2	0,4456 (p=0,0012)	0,4011 (p=0,0027)	0,7793 (p=0,000)	0,2609 (p=0,021)
Peso fresco caule (g)	MSE	80,6750	172,1293	1333,2170	1620,5420
	MAE	7,6749	9,8832	27,1662	27,8229
	RMSE	8,9819	13,1198	36,5132	40,2559
	R^2	0,7074 (p=0,0003)	0,3759 (p=0,004)	0,5602 (p=0,0001)	0,4654 (p=0,0009)
Peso seco do caule (g)	MSE	607,3799	733,2327	170,3264	229,9054
	MAE	18,5987	19,2164	9,4350	10,7625
	RMSE	24,6450	27,0782	13,0509	15,1626
	R^2	0,7249 (p=0,0002)	0,6679 (p=0,0001)	0,6825 (p=0,0000)	0,5765 (p=0,0001)

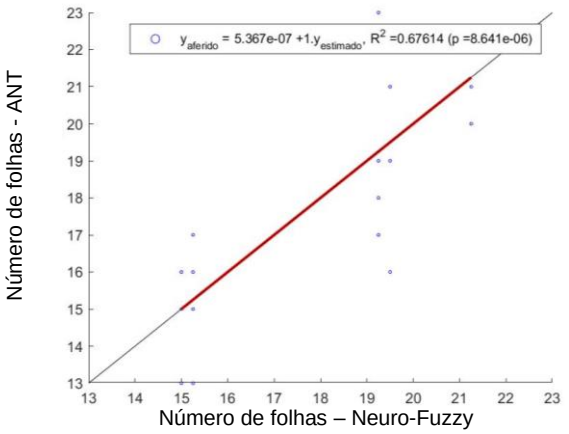
A tabela 9 demonstrou o de forma geral, o modelo ANFIS se apresentou com coeficientes (MSE, MAE, RMSE) menores que a regressão quadrática polinomial, o R^2 é maior para os modelos ANFIS em todas as variáveis. Isso demonstra a eficiência do *neuro-fuzzy* na predição dos dados biométricos da cultura do tomateiro. Os resultados de *p-valor* do modelo são estatisticamente relevantes em comparação à regressão polinomial, que é comumente utilizado para validação de dados experimentais.

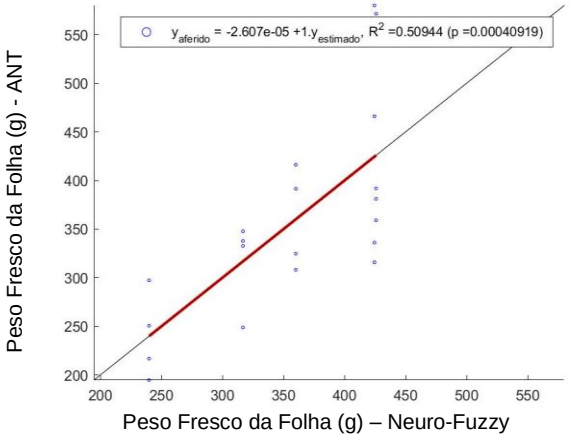
Para uma análise mais relevantes, foram construídos gráficos de correlação para comparação das variáveis dos dados de brutos com os dados de saída do modelo *neuro-fuzzy*, conforme demonstrado na Figura 10.

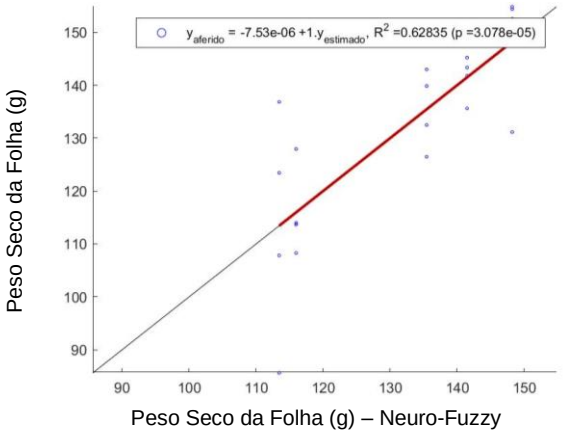
ÁGUA NÃO TRATADA (ANT)

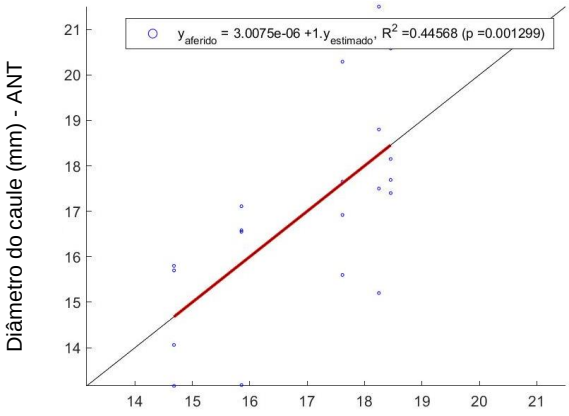
ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE (ATM)

(a)

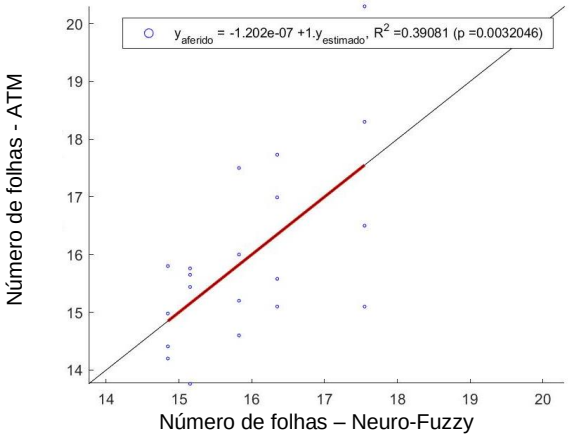


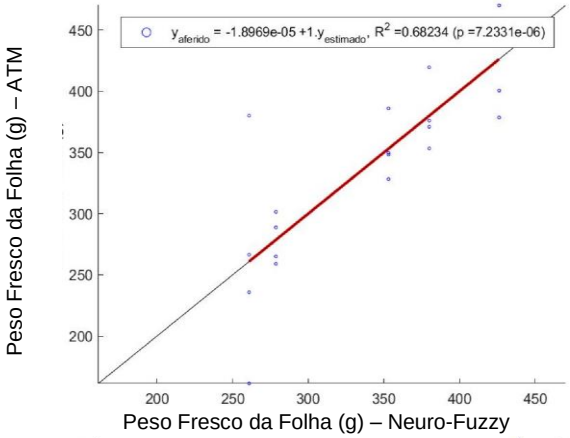


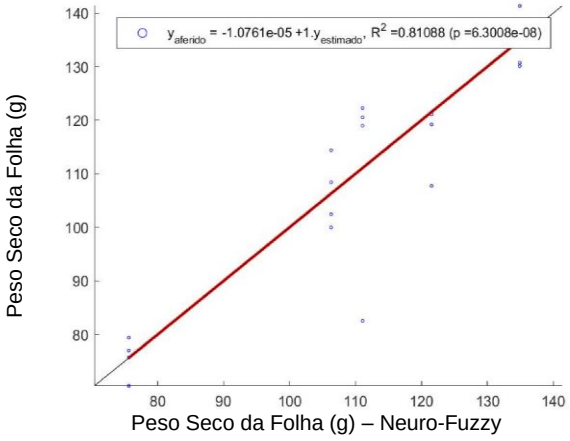


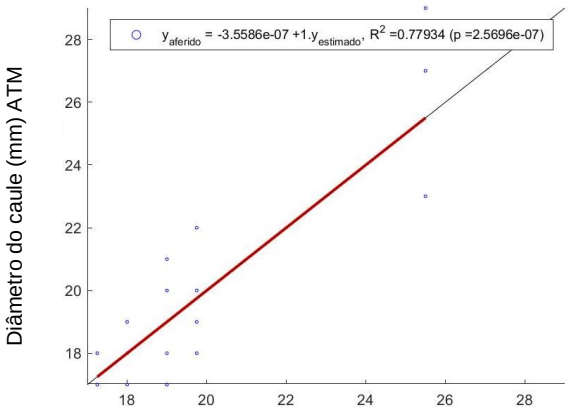


(b)









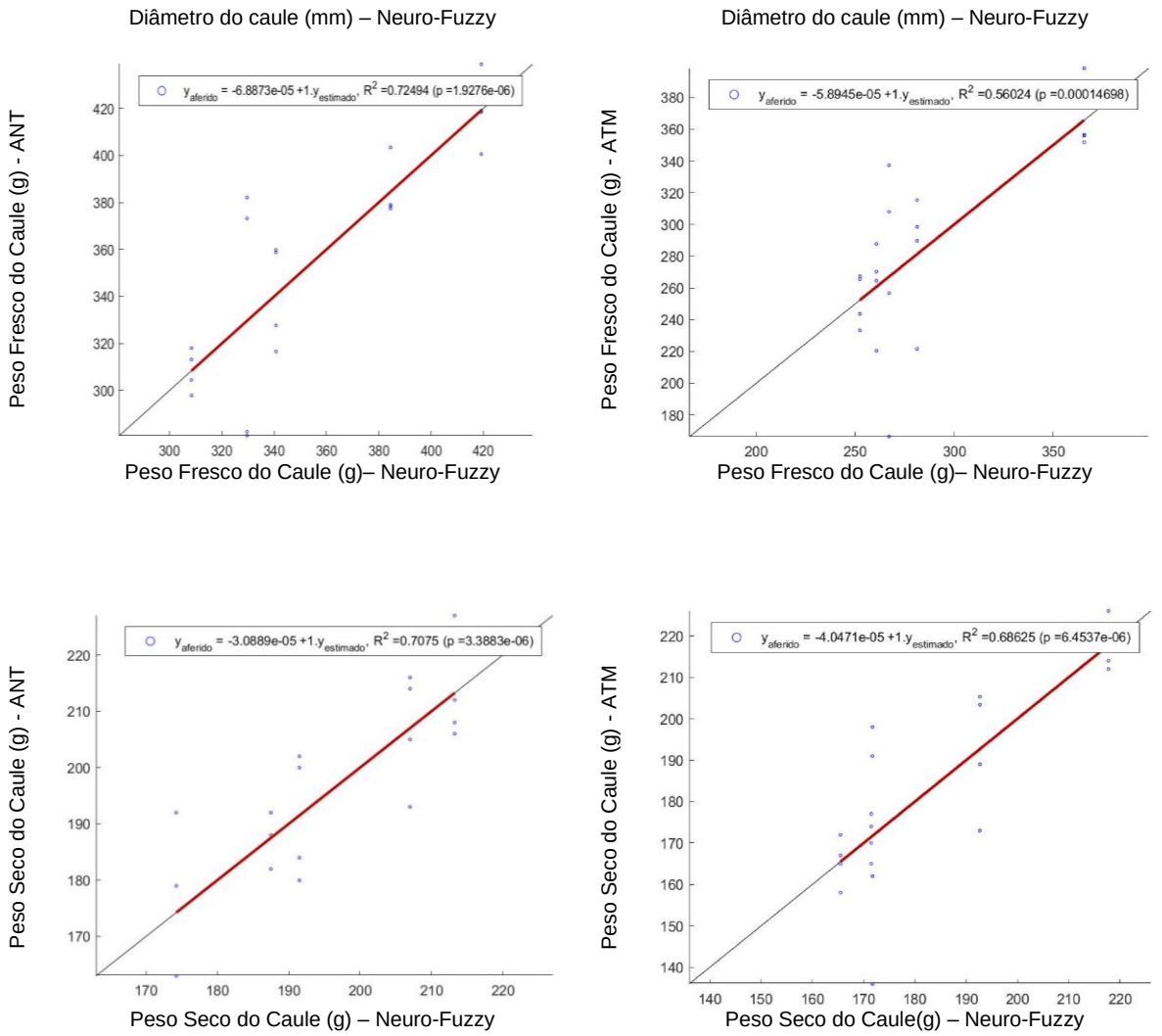


Figura 10 - Comparativo dos índices estatísticos dos modelos ANFIS e da regressão polinomial dos dados biométricos do tomateiro sob estresse salino

Ao comparar o desempenho dos modelos de regressão quadrática com o *neuro-fuzzy*, verificou-se que o *neuro-fuzzy* apresentou um coeficiente de determinação (R^2) superior propondo ajustes nas retas. Isto indica que o modelo *neuro-fuzzy* explica de forma mais efetiva a variabilidade dos dados de resposta ao redor de sua média das variáveis biométricas do tomateiro, tanto na água não tratada (ANT) quanto com a utilização de água tratada magneticamente (ATM).

A utilização da *neuro-fuzzy* permitiu ajustar modelos não-lineares aos dados, diante da complexidade dos dados biométricos apresentados. Além disso, o modelo matemático proposto em *neuro-fuzzy*, demonstrou a capacidade de se autoajustar com base nos dados de entrada, o que aumenta a precisão dos modelos.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a construção de um sistema de inferência *neuro-fuzzy* (ANFIS) para a cultura do tomateiro. As variáveis Peso fresco da folha, Peso seco da folha, Peso fresco do caule, e Peso seco do caule, apresentaram diminuição em relação ao aumento da salinidade. A variável diâmetro do caule apresentou uma correlação de aumento de acordo com a salinidade.

Os resultados do treinamento dos sistemas *neuro-fuzzy* mostraram que a capacidade de generalização dados mais significativas em relação a regressão. Os dados de R^2 foram maiores com e *p-valor,* significativo em todas as variáveis em relação à regressão polinomial. Os erros RMSE foram menores que os erros encontrados na estimativa de produção com ANFIS e regressão polinomial

A validação dos dados estatísticos apontou, em todas a variáveis, que a modelagem *neuro-fuzzy* podem ser uma metodologia mais indicada para estimar as variáveis biométricas do tomateiro e possivelmente outras aplicações no agronegócio.

A modelagem apresentada se demonstrou como ferramenta valiosa para os pesquisadores que desejam explorar a relação entre as variáveis biométricas e a resposta do tomateiro, a fim de obter uma produção mais eficiente e eficaz.

REFERÊNCIAS

AGHAMIR, F.; BAHRAMI H. A.; MALAKOUTI M. J.; ESHGHI S. Magnetized Water Effects on Seed Germination and Seedling Growth of Corn (Zea mays) Under Saline Conditions. **American Journal of Life Science Researches**. v. 3, 2015.

AHMMAD, C. A.; ABDULLATIF, S.. A effect of organic matter, bio-fertilizers and magnetic water on the vegetative growth and flower quality of gladiolus (*gladiolus hybrida l.*) var. cartago. Applied Ecology and Environmental Research, v. 18, n. 2, p. 2637-2655, 2020.

Andréo-Souza, Y.; Pereira, A. L., Silva; F. F. S. ., Riebeiro-Reis, R. C.; Evangelista, M. R. V.; Castro, R. D. de .; Dantas, B. F.. Efeito da salinidade na germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-manso. **Revista Brasileira De Sementes**, 32(2), 83–92, 2010.

AMORIM, J. R. D. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C. D.. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37(2), p.167-176. 2002.

BABUŠKA, R.; VERBRUGGEN, H. Neuro-fuzzy methods for nonlinear system identification. **Annual reviews in control**, v. 27, n. 1, p. 73-85, 2003.

BAI, Y.; KISSOUDIS, C.; YAN, Z.; VISSER, R. G.; VAN DER LINDEN, G.. Plant behaviour under combined stress: tomato responses to combined salinity and pathogen stress. **The Plant Journal**, v.93(4), p.781-793, 2018.

BARBOSA, M. L.; BARROS, R. P.; & PINHEIRO, R. A.. Aspectos biológicos e produtivos do tomateiro (Solanum lycopersicum) sob adubação húmica: Biological and productive aspects of tomato (Solanum lycopersicum) under humic fertilization. **Revista Ambientale**, 13(1), 71-78, 2020.

BRAZ, R. D. S.; LACERDA, C. F. D.; ASSIS, R. N. D.; FERREIRA, J. F. D. S.; OLIVEIRA, A. C. D.; RIBEIRO, A. D. A.. Growth and physiology of maize under water salinity and nitrogen fertilization in two soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 23, p. 907-913, 2019.

BRITO, C. F. B.; FONSECA, V. A.; BEBE, F. V.; SANTOS, L. G.. Desenvolvimento inicial do milho submetido a doses de esterco bovino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.9(4), p.244-250, 2014.

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

CHAVES, L. E. **Modelos computacionais fuzzy e neuro-fuzzy para avaliarem os efeitos da poluição do a**r. 2013. 113 f. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP.

CHAI, T. DRAXLER, R.R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. **Geosci. Model Dev**., v.7, p.1247–1250, 2014.

CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CATANEO, A. Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores fuzzy para avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 21-39, 2010.

CUARTERO, J.; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, R.. Tomato and salinity. **Scientia horticulturae,** v.78(1-4), p.83-125, 1998.

LIMA, L. D.; BARBOSA, J. M. P.; MEDEIROS, M. D. B. C. L.; OLIVEIRA, M.; CARVALHO, J. S. B.; MOREIRA, K. A.. Avaliação bioquímica e fisiológica em tomateiro (Solanum lycopersicum L.) submetida ao indutor de resistência acibenzolar-s-metil. **Diversitas Journal**, 5(4), 2374-2393, 2020.

DI GIOIA, F.; SIGNORE, A.; SERIO, F.; SANTAMARIA, P.. Grafting improves tomato salinity tolerance through sodium partitioning within the shoot. **HortScience**, v.48(7), p.855-862, 2013.

FAO. **Food and agriculture**: Key to achieving the 2030 agenda for sustainable development. Rome: Food and Agriculture Organization, 2016.

FERRARI, J. M. S. **Análise da produtividade e das variáveis biométricas do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação com água tratada magneticamente utilizando modelagem neuro-fuzzy.** Botucatu: UNESP, 2018. 105 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2018.

GIL, J.D.B., REIDSMA, P., GILLER, K. et al. Sustainable development goal 2: Improved targets and indicators for agriculture and food security. **Ambio,** v. 48, 2019.

HOZAYN, M.; AZZA, S.M.; Abd EL-MONEM, A.A.A.; EL-MAHDY, A.A.. Salinity stress mitigation of some canola cultivars grown under South Sinai conditions using magnetic water technology. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, v. 21, n. 1, p. 17234-17253, 2021.

ISAYENKOV S. V., MAATHUIS F. J. M. Plant Salinity Stress: Many Unanswered Questions Remain. **Frontiers in Plant Science**, v.10, 2019.

JANG, J-R.R. Adaptive-network based fuzzy inference systems. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v.23, n.3:665-685, 1993.

JANG, J.-S. R.; SUN, C.-T.; MIZUNAMI, E.; **Neuro-fuzzy ans Soft Computing**, 1997 Prentice Hall.

LENG, G.; MCGINNITY, T. M.; PRASAD, G.. An approach for on-line extraction of fuzzy rules using a self-organising fuzzy neural network. **Fuzzy sets and systems**, v. 150, n. 2, p. 211-243, 2005.

LIMA, L. A.; OLIVEIRA, F. D. A.; ALVES, R.C.; LINHARES, P. S. F.; MEDEIROS, A. M. A.; BEZERRA, F. M. S.. Tolerância da berinjela à salinidade da água de irrigação. **Revista agro@ mbiente on-line**, v.9(1), 27-34, 2015.

LIU X.; WANG L.; WEI Y.; ZHANG Z.; ZHU H.; KONG L.; MENG S.; MA, F. Irrigation with magnetically treated saline water influences the growth and photosynthetic capability of Vitis vinifera L. seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 262, p. 109056, 2020.

MACEDO, M., SOUZA, M., ROSADAS, L., ALMEIDA, K.. Análise da estratégia de preço: uma proposta metodológica a partir da análise envoltória de dados (DEA). **Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ**, v. 16, 2011.

MAZIERO, L. P.; FREDERICK, S. L.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.. Modelagem neuro-fuzzy da evapotranspiração de referência baseada no método de camargo: Neuro-fuzzy modeling of evapotranspiration. **IRRIGA**, v. 1, n. 3, p. 489-505, 2021.

MEDEIROS, J. F. D.; SILVA, M. C. D. C.; SARMENTO, D. H.; BARROS, A. D. D.. Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade, com e sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 11, 248-255, 2007.

MEDEIROS, P. R.; DUARTE, S. N.; UYEDA, C. A.; SILVA, Ê. F.; MEDEIROS, J. F. D.. Tolerância da cultura do tomate à salinidade do solo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.51-55, 2012.

NAUCK, D.. Neuro-fuzzy systems: review and prospects. In: **In Proceedings of Fifth European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (EUFIT'97)**. p. 1044-1053, 1997.

NUNES, J. C.; CAVALCANTE, L. F.; LIMA NETO, A. J. D.; REBEQUI, A. M.; DINIZ, B. L.; GHEYI, H. R.. Comportamento de mudas de nim à salinidade da água em solo não salino com biofertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.1152-1158, 2012.

PARIHAR, P., SINGH, S., SINGH, R. et al. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environ Sci Pollut,** v. 22, 4056–4075,2015.

PUTTI, F. F.. **Produção da cultura de alface irrigada com água tratada magneticamente** . Botucatu: UNESP, 2014. 123 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2014.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; SILVA JUNIOR, J. F..Magnetically treated water for irrigation: effects on production and efficiency of water use in carrot (Daucus carota L.) crop. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 12, n. 2, p. 447-455, 2018.

PUTTI, F. F.. **Tratamento magnético e eletromagnético da água para irrigação da cultura do tomate em solo salino**. Projeto FAPESP 16/20365-1. 2019. Disponível em: https://bv.fapesp.br/pt/auxilios/96140/tratamento-magnetico-e-eletromagnetico-da-agua-para-irrigacao-da-cultura-do-tomate-em-solo-salino/.Acesso em: 10 de jun. 2021.

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

RIVERO, R. M.; MESTRE, T. C.; MITTLER, R. O. N.; RUBIO, F.; GARCIA-SANCHEZ, F.; Martinez, V..The combined effect of salinity and heat reveals a specific physiological, biochemical and molecular response in tomato plants. **Plant, cell & environment**, v.37(5), p.1059-1073, 2014.

SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; PAIVA, E. P.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, L. A. Water salinity, nitrogen and phosphorus on photochemical efficiency and growth of west indian cherry. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, 22(3), 158–163, 2018.

SANDRI, S.; CORREA, C. **Lógica Nebulosa**. V Escola de Redes, Promoção: Conselho Nacional de Redes Neurais . São José dos Campos: ITA.1999.

SANTOS ESTEVES, B.; SUZUKI, M. S.. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia brasiliensis**, v. 12, n. 4, p. 6, 2008.

SANTOS JÚNIOR, J. A.; GHEYI, H. R.; GUEDES FILHO, D. H.; DIAS, N. D. S.; Soares, F. A. L.. Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de

salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.42(4), p.842-849, 2011.

SILVEIRA, J. A.G. et al. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados, v. 1, p. 161-18, 2010.

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

SRINIVASA RAO D.; SEETHA M.; KRISHNA PRASAD M.H.M. Comparison of Fuzzy and Neuro Fuzzy Image Fusion Techniques and its Applications. **International Journal of Computer Applications.** v. 43, 2012.

TORMAN, V.B.L; COSTER, R. RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**. Porto Alegre. Vol. 32 , no. 2, 2012.

VERAS, R. P.; LAIME, E. M.; FERNANDES, P. D.; SOARES, F. A.; FREIRE, E. D. A.. Altura de planta, diâmetro caulinar e produção do pinhão-manso irrigado sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.582-587, 2011.

VIAIS NETO, D.S; PRADELA, V.A; GABRIEL FILHO. L.R.A; CREMASCO, C.P; MARIA, A.C.G; OLIVEIRA, G.S. Modelagem fuzzy para avaliação da produção de mudas de tomate cereja utilizando diferentes doses de polímeros e níveis de irrigação. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n.3, Jul-Set. 2018.

YUSUF, K. O.; OGUNLELA, A. O.. Impact of magnetic treatment of irrigation water on the growth and yield of tomato. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 7, n. 3, p. 345-348, 2015.

ZHANG, P.; SENGE, M.; DAI, Y.. Effects of salinity stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of tomato under hydroponics system. **Reviews in Agricultural Science**, v.4, p.46-55, 2016.

ZHAO, G.; MU, Y.; WANG, Y.. Response of winter-wheat grain yield and water-use efficiency to irrigation with activated water on Guanzhong Plain in China. **Irrigation Science**. v.39, p. 1-14, 2021. DOI:10.1007/s00271-020-00706-y.

ZHOU B.; YANG L.; CHEN X.; YE S.; PENG Y.; LIANG C.. Effect of magnetic water irrigation on the improvement of salinized soil and cotton growth in Xinjiang. **Agric Water Manag**. v. 248. 2021. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.106784.

CAPÍTULO III – VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE TOMATES EM ESTUFAS IRRIGADOS COM ÁGUA NÃO TRATADA (ANT) E ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE (ATM)

1 INTRODUÇÃO

Diante de um contexto de evolução da agricultura, a busca de soluções alternativas para produção de alimentos é fundamental para qualquer economia e norteiam as decisões dos países para combater a insegurança alimentar, na busca para alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável ODS propostos pela ONU às nações (FAO, 2016; GIL et. al, 2019).

O Brasil é o 10ª maior de produtor de tomates do mundo com 52.996 hectares de área cultivada em 2021 e uma produtividade média de 71,07 toneladas por hectare (AGRIANUAL, 2022). Sendo umas das hortaliças mais presentes na mesa dos consumidores brasileiros. Mesmo que o a área de produção anual vem diminuindo nos últimos anos, a produtividade vem aumentando conforme demonstra a figura 11 abaixo.

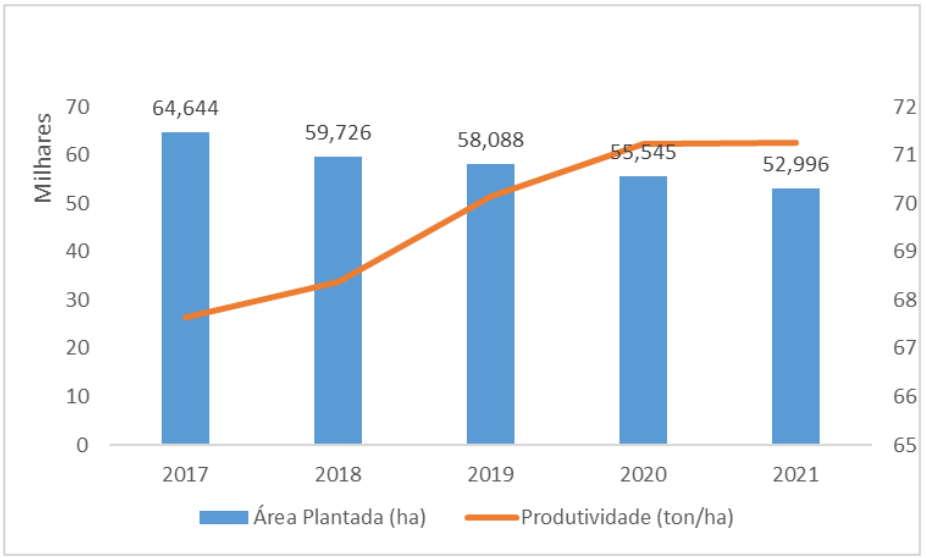


Figura 11 - Demonstração da área plantada e produtividade brasileira de tomates no período de 2017 a 2021. Fonte: Elaborado pelo autor, com dados do Agrianual (2022).

Essa relação entre a diminuição da área plantada versus o aumento de produtividade pode ser explicada pelo aumento da utilização da produção de tomates em estufas, ou cultivo protegido.

Essa técnica que permite o maior controle de variáveis climáticas, como temperatura, umidade do ar, radiação solar e vento, reduz o efeito da sazonalidade, permitindo uma oferta mais equilibrada e regular ao longo do ano, pois o calor acumulado dentro das estufas possibilita o cultivo de algumas culturas em épocas em que elas normalmente não seriam produzidas, encurtando assim o ciclo da produção, representando um ganho na eficiência da produção e maior preço recebido pelo produtor (SILVA; SILVA; PAGIUCA, 2014).

Salinização do solo é um problema recorrente para a agricultura, principalmente nos sistemas de cultivo protegido. Os sintomas da salinização são reconhecíveis como: redução no crescimento radicular e na parte aérea da planta, deformações e queimaduras nas bordas e no ápice das folhas e reduções e alterações na coloração dos frutos (LOPES, 2018). A utilização inadequada de fertilizantes, uso de água salina, ausência de drenagem adequada, sistemas de irrigação com baixo volume de água e falta de chuva levam ao aumento na salinidade e acarretam reduções expressivas da produção (DIAS et al. 2016).

Para combater os efeitos da salinidade nas plantas buscou-se uma técnica que pudesse ao mesmo tempo diminuir os níveis de salinidade e aumentar os índices de disponibilidade de minerais e de sobrevivência nas plantas. Assim o uso da água tradada magneticamente (ATM) se apresentou como uma técnica que conciliasse as diversas necessidades (ELHINDI et al., 2020).

Para o processo de magnetização da água utiliza-se a exposição da água a um campo magnético externo por um determinado tempo, usando um ímã ou um dispositivo magnético específico que é colocado em contato com a água. Esse o campo magnético externo reorganiza as moléculas de água, alterando suas propriedades físicas, como a tensão superficial e a solubilidade, sem, no entanto, alterar sua composição química (ALIVERDI; PARSA; HAMMAMI, 2015).

O uso de água tratada magneticamente na produção agrícola, vem demonstrando resultados positivos no aumento da produtividade. Esta técnica pode levar ao maior crescimento vegetativo das plantas (ELHINDI et al., 2020), o aumento da biomassa de frutos (OSPINA-SALAZAR, et a., 2018) (ZHAO; UM; WANG, 2021) e o rendimento do tomate em até 27% (YUSUF et al., 2019).

A produção de tomates em estufa com água tratada magneticamente permite associar o controle eficaz da temperatura no solo, regulação da umidade e luminosidade, além de ser muito prática para o plantio de tomates em grande volume e em curtos espaços (PUTTI, 2019).

Para inferir as interações do uso de água não tratada (ATN) e água tratada magneticamente (ATM) na irrigação do tomateiro em estresse salino utilizou-se da combinação de *neuro-fuzzy* para fazer a modelagem dos dados matemáticos.

A modelagem *neuro-fuzzy* combina as características da rede neural e da lógica fuzzy para representar e solucionar problemas de incerteza e complexidade. A saída da modelagem *neuro-fuzzy* das variáveis biométricas do tomateiro é uma representação da relação entre as características do tomateiro, como a produtividade e o número total de frutos.

Diante das análises de produção, e na comparação com a produtividade dos dois tipos de tratamento de água utilizados para irrigação é importante considerar a viabilidade econômica da adoção de cada sistema, a fim de verificar se os resultados alcançados compensam os investimentos financeiros realizados.

A análise da viabilidade econômica deve levar em consideração inúmeros fatores que incluem: custos de produção, qualidade da produção, disponibilidade de recursos locais, infraestrutura necessária para o processo produtivo, intensidade na mão-de-obra, mercado consumidor (SABBAG; NICODEMO, 2011). Os custos de produção são um dos elementos centrais da análise, pois permitem estabelecer quanto será investido e quanto terá que ser arrecadado tirando o preço de revenda das contas para o processo ser considerado viável (SPICKA, 2019).

Esta auxilia os produtores na tomada de decisão sobre a gestão, a avaliação do processo produtivo e a comercialização de seus produtos. Esse estudo também pode contribuir para o direcionamento de práticas agrícolas sustentáveis (FERNANDES et al., 2022).

O objetivo geral deste trabalho foi a construção de uma modelagem matemática *neuro-fuzzy* ANFIS, como instrumento para verificar os efeitos da fertirrigação em diversos níveis de salinidade, nos parâmetros biométricos na cultura do tomateiro.

Para isso tem-se como objetivos específicos:

- Desenvolver e validar um modelo matemático com sistema *neuro-fuzzy* ANFIS para obter um sistema de produtividade do tomateiro, tendo em vista a utilização de lâminas de água com cinco níveis de salinidade;
- Comparar a eficiência do modelo, utilizando cálculo dos índices estatísticos: Coeficiente de determinação (R^2), Erro do Quadrado Médio (RMSE) e Erro Absoluto Médio (MAE), em

relação à regressão.

- Comparar a viabilidade econômica do uso de irrigação com água não tratada (ANT) e água tratada magneticamente (ATM)tratamento magnético na irrigação do tomateiro cultivado em ambiente protegido.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com vista a alcançar os objetivos do presente capítulo utilizou-se de uma abordagem sistemática e de análise conforme detalhado abaixo, permitindo uma apreciação mais ampla do contexto e problemáticas apresentadas na introdução conforme segue.

2.1 DO EXPERIMENTO REALIZADO

Os dados experimentais utilizados para a modelagem *neuro-fuzzy* do presente estudo foram analisados estatisticamente por Putti (2019). A etapa experimental desta pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências e Engenharia, Campus de Tupã, São Paulo, com localização geográfica definida pelas coordenadas 22° 51' Latitude Sul (S) e 48° 26' Longitude Oeste (W) e altitude média de 786 metros acima do nível do mar.

Os procedimentos de produção, irrigação, e tratamento magnético da água seguiram a mesma metodologia descrita no Capítulo II da presente tese.

2.2 MODELAGEM NEURO-FUZZY

Esta modelagem é utilizada para previsões e aproximações de funções, atuando como sistema de interferência do modelo *fuzzy* Takagi-Sugeno (JANG & SUN, 1997) de ordem constante (zero) ou ordem linear (um) conforme Ferrari (2018).

Esta abordagem consiste na combinação de redes neurais artificiais (RNAs) e técnicas fuzzy. Essa combinação permite a obtenção de melhores resultados do que usando algoritmos individuais e isso torna a Rede *Neuro-Fuzzy* (NFN) uma técnica de aprendizagem mais robusta e eficaz.

A modelagem matemática *fuzzy* para entrada no sistema ANFIS, para explicar a os parâmetros fisiológicos e nutricionais do tomateiro submetidos a cinco níveis de salinidade via fertirrigação de (1,5; 2,5; 4,0; 5,5 e 7,5 dS. m-1), cultivados em ambiente protegido.

Para elaboração da sistemática das camadas foi utilizado a sistematização elaborada por Ferrari (2018), tendo em vista que utilizou o método em sistema semelhante de irrigação. Conforme demostrado na tabela 10 abaixo.

Tabela 10 - Demonstração do conjunto de fórmulas para construção das camadas ANFIS

Camada 1 $O_i^j = \mu_i^j(x_i)$	Camada 2 $O_j^2 = w_j = \prod_{i=1}^{2} \mu_i^j = \mu_i^j x \mu_i^j = \min(\mu_1^i; \mu_2^i), j = 1,2$
Camada 3 $O_j^3 = \overline{w_j} = \frac{w_j}{\sum_{i=1}^{2} wi} = \frac{w_j}{w_1 + w_2}; j = 1,2$	Camada 4 $O_j^4 = f_j = \overline{w_j} = (p_j x_1 + q_j x_2 = r_j$
Camada 5 $O_j^5 = f = \sum_{j=1}^{2} f_j$	

Fonte: Adaptado de Chaves (2018) e Ferrari (2018)

Para a Camada 1, o grau de pertinência das lâminas de salinidade foi calculado para cada entrada (x). Na Camada 2, um conjunto não ajustável de nós calcula o grau consequente da regra, utilizando o produto T-norma, através da multiplicação de todos os sinais de entrada. Na Camada 3, nós não adaptativos consideram a razão entre o valor de disparo da regra e soma dos valores de todas as regras. A saída desta camada é preparo para a defuzzyficação. Na Camada 4, os nós são ajustáveis, com a saída calculada com base nos valores normalizados e o valor consequente da regra. Por fim, a Camada 5 consiste em dois nós não ajustáveis, correspondendo à saída do sistema. (FERARRI, 2018).

Para elaboração foi utilizado o software MATLAB® R2022a com a ferramenta de Adaptive *Neuro-Fuzzy* Inference System, do Fuzzy Logic Toolbox, Licenciado para a Universidade Estadual Paulista (UNESP).

2.4 MODELAGEM ESTATÍSTICA PARA COMPARAÇÃO DOS MODELOS

Para medir a precisão e a confiabilidade dos sistemas, foram utilizados três índices estatísticos padrão: Erro do quadrado médio (RMSE), Erro absoluto médio (MAE) e Coeficiente de determinação (R2). As fórmulas para cada um desses

índices estão demonstradas na tabela 11.

Tabela 2 - Demonstração do conjunto de fórmulas para análises comparativas dos modelos

$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$	$MAE = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^{N} \lvert \hat{y}_i - y_i \rvert$
$\mathrm{MSE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2$	$R^2 = 1\,\frac{\sum_{k=1}^{n}(y_k - \hat{y}_k)^2}{\sum_{k=1}^{n}(y_k - \bar{y})^2}$

Fonte: Elaborado pelo autor

O Erro do Quadrado Médio (RMSE), o Erro Absoluto Médio (MAE) e o Coeficiente de Determinação (R2) são medidas importantes usadas para validar e avaliar modelos de previsão preditiva. Essas estatísticas numéricas são fundamentais para o aprimoramento de quaisquer modelos de matemáticos, reduzindo divergências e minimizando erros. Como resultado, os dados obtidos nos testes se tornam mais confiáveis e consistentes (YAZDANI-CHAMZINI et al. 2014).

Também permitem a identificação de áreas problemáticas que precisam ser trabalhadas, sendo possível melhorar significativamente o desempenho da modelagem. Seu uso tem ajudado a obter dados mais precisos e confiáveis. (MOHAMMADI, 2020).

2.5 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Para avaliar viabilidade econômica do uso de água tradada magneticamente (ATM) na irrigação do tomateiro sob estresse salino utilizou-se três métodos para avaliar os resultados quantitativos a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Retorno Sobre o Investimento (ROI) e o Valor Presente Líquido (VPL), além do método de *payback* que considera o período de tempo necessário para recuperar o capital investido.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é o método de avaliação mais comum para o cálculo da viabilidade, usando a taxa de desconto a qual o valor presente dos fluxos de benefícios líquidos é igual ao valor do investimento original. Em outras palavras, é a taxa de juros com a qual os benefícios decorrentes do investimento são equivalentes aos custos do investimento.

O Retorno Sobre o Investimento (ROI) avalia o retorno financeiro de um investimento. É calculado dividindo os benefícios líquidos, menos os custos, pela quantia originalmente investida.

O Valor Presente Líquido (VPL) é o terceiro método usado para avaliar a rentabilidade de um investimento. É calculado como a soma presente dos fluxos de benefícios líquidos, menos os custos de investimento.

O método de *payback* considera o tempo necessário para recuperar o capital investido. É calculado como a soma dos fluxos de caixa esperados divididos pelo montante investido.

Com isso, os três métodos mais comuns para avaliar a rentabilidade de um investimento, TIR, ROI e VPL, devem ser considerados na tomada de decisões para adoção da tecnologia de irrigação do tomateiro em ambiente protegido. Esses índices permitem avaliar os custos e benefícios do investimento de uma forma quantitativa, de modo que o projeto seja economicamente viável. As fórmulas utilizadas foram demonstradas na tabela 12.

Tabela 12 - Demonstração do conjunto de fórmulas para análises de viabilidade econômica

$\text{TIR} = \sum_{T=0}^{n} \frac{Fn}{(1+i)^n}$	$\text{ROI} = \frac{(ganho\ obtido - valor\ investido)}{valor\ investido} \times 100$
$\text{VPL} = \sum_{\text{n=1}}^{n=N} \frac{Fc_t}{(1+i)^n}$	$\text{Payback} = \sum_{i=1}^{n} \frac{FCi}{(1+TIR)^i} - investimento\ inicial$

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise da viabilidade econômica permite ao produtor rural obter informações para compreensão da do viés econômico de seu projeto. Podendo usar tal avaliação para encontrar melhores fluxos de caixa e escolher a melhor tecnologia a ser utilizada de acordo com a disponibilidade de investimento. Assim o produtor rural será capaz de otimizar a eficiência do projeto, percebendo assim o melhor custo-benefício e auxiliando na tomada de decisão.

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 MODELAGEM *NEURO-FUZZY* DA PRODUTIVIDADE DO TOMATEIRO

Para analisar a produtividade do tomateiro ambiente protegido, utilizou-se a modelagem *neuro-fuzzy* como ferramenta para prever os padrões de produtividade e número de frutos por planta. O principal objetivo do ANFIS foi associar modelos lógicos complexos nos conjuntos de variáveis de entrada (salinidade) e variáveis de saída (produção e número de frutos.

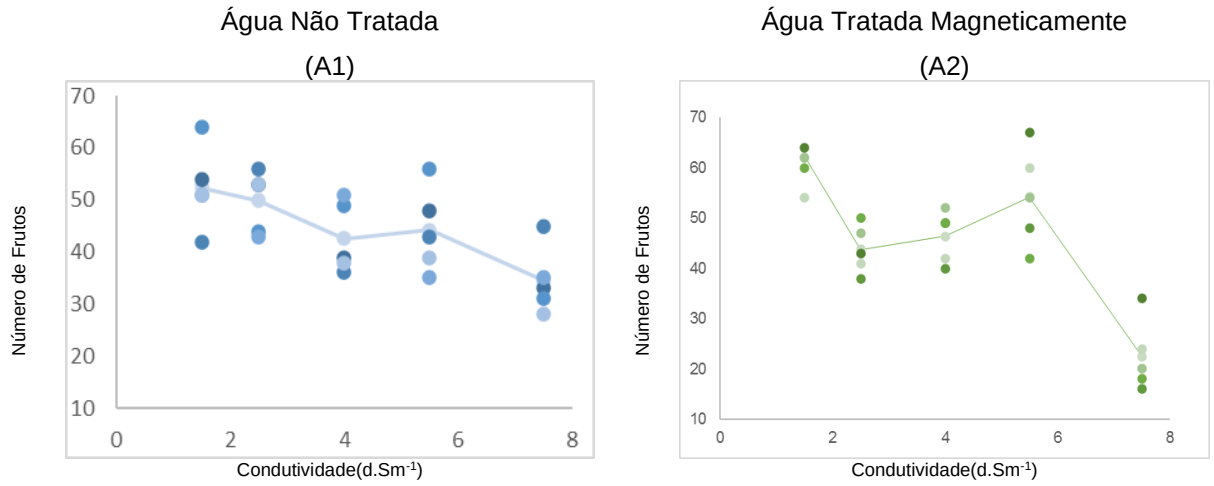
A análise de produtividade do tomateiro foi realizada através do experimento descrito na metodologia do Capítulo II desta Tese.

Tabela 13 - Dados médios da produtividade do tomateiro sob diferentes níveis de salinidade.

Cond.(d.Sm-1)	**1,5**			**2,5**			**4,0**			**5,5**			**7,5**		
Tipo de tratamento	ANT	ATM	DIF.	ANT	ATM	*DIF.*	ANT	ATM	*DIF.*	ANT	ATM	*DIF.*	ANT	ATM	*DIF.*
NÚMERO DE FRUTOS	52,4	62,2	*9,8*	48,9	43,8	*-5,1*	42,6	46,4	*3,8*	44,2	54,2	*10,0*	34,4	22,4	*-12,0*
PRODUTIVIDADE (kg)	4,19	3,76	*-0,43*	4,70	4,30	*-0,40*	4,15	3,88	*-0,28*	3,75	4,72	*0,97*	4,04	4,71	*0,68*

Fonte: Dados da Pesquisa

Os dados médios de número médio de frutos e produtividade média por planta, foi plotado de acordo com o tratamento da água conforme demonstrado na figura 12.



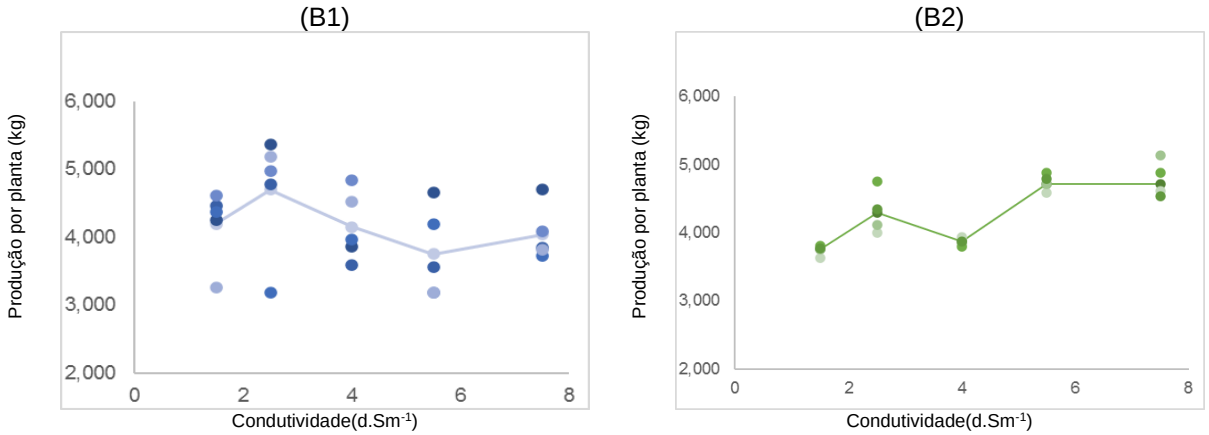


Figura 12 - Dados de entrada para elaboração dos modelos matemáticos, dos fatores biométricos do sob diferentes níveis de salinidade.

Na parcela irrigada com água não tratada (ANT) o ápice de número médio de frutos (52,4 unidades) foi apurado na salinidade de 1,5 (d.Sm-¹), e o declínio médio do número de frutos de acordo com o aumento da salinidade (figura 12A1). Quanto a produtividade por planta o ápice de produção média por planta (4,700 kg) foi em 2,5 (d.Sm-¹), sendo que após isso houve uma diminuição da produção média proporcional ao aumento da salinidade das lâminas (figura 12A2).

Quanto a parcela irrigada com água tratada magneticamente (ATM) o maior valor médio do número de frutos (62,2 unidades) foi apurado na salinidade de 1,5 (d.Sm-¹) no entanto nessa concentração foi segundo menor índice de produtividade médio (3,760 kg) (figura 6b1). O maior índice de produtividade médio por planta foi obtido com os maiores índices de salinidade (4,720 kg para 5,5 d.Sm-¹ e 4,710 kg para 7,5 d.Sm-¹). Esses dados corroboram com o apresentado por Elhindi et al. (2020), que apontou que a água tratada magneticamente deixa as plantas mais resistentes à salinidade.

3.1.1 Conjuntos neuro-fuzzy das variáveis de entrada

Foi utilizado o nível de salinidade da fertirrigação, medido por níveis de condutividade da lâmina de água, como variável de entrada na modelagem *neuro-fuzzy* dos parâmetros biométricos do tomateiro. As funções de pertinência foram construídas de forma que os níveis de salinidade testados correspondessem a graus de pertinência igual a 1 nos conjuntos fuzzy Muito Baixo (MB), Baixo (B), Médio (M), Alto (A) e Muito Alto (MA), respectivamente, com os valores de salinidade (1,5; 2,5; 4,0; 5,5; e 7,5 dS.m-1) sendo associados a cada um desses conjuntos. Optou-se

pela utilização das funções de pertinência do tipo *gbellmf* (forma de sino generalizada), por permitirem uma suavização dos dados, mais indicados para sistemas *neuro-fuzzy* adaptativos.

$$f(x; a.b.c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}}$$

A fórmula acima refere-se aos parâmetros de ajuste de funções de pertinência em *fuzzy*, que são comumente utilizados para modelar incerteza e imprecisão em sistemas complexos. Conforme mencionado, a largura da função de pertinência é definida pelo parâmetro b e determina a amplitude da curva, enquanto o parâmetro c define o centro da função de pertinência. O parâmetro b também é responsável por definir a forma da curva em cada lado do platô central, onde um valor maior cria uma transição mais acentuada MATHWORKS (2022).

No treinamento do modelo, foi escolhido o método híbrido com aprendizagem de redes neurais, que foi combinado com os métodos *back-propagation* (para as regras fuzzy de entrada) e o dos mínimos quadrados (para valores estimados de saída através das regras fuzzy). Foram selecionados critérios de parada do modelo, conforme proposto por e iniciado o treinamento das variáveis do modelo. Esse processo pode ser utilizado para criar um modelo *neuro-fuzzy*, que combina as vantagens das redes neurais e da lógica fuzzy para resolver problemas complexos (FERRARI, 2018; MAZIEIRO et al., 2021).

3.1.2 Treinamento dos modelos *neuro-fuzzy* ANFIS

Considerou-se como erro de treinamento o resultado da diferença entre o desempenho do sistema nos dados de treinamento e o desempenho ideal. Quanto menor o valor de erro de treinamento, menor é a incerteza no modelo obtido. A metodologia para avaliação do modelo *neuro-fuzzy*, orienta que os dados devem ser divididos em dois grupos: aproximadamente 80% dos dados são para o treinamento dos modelos e 20% para validação do modelo (NAUCK, 1997; BABUŠKA e VERBRUGGEN, 2003; e LENG, MCGINNITY E PRASAD, 2005).

Tendo em vista a quantidade de dados do experimento, realizou-se treinamento e a checagem com 100% dos dados tendo em vista que casa nível da salinidade contava apenas com quatro repetições.

A Figura 13 mostra o comparativo entre os dados de treinamento e a saída

dos modelos *neuro-fuzzy* (ANFIS).

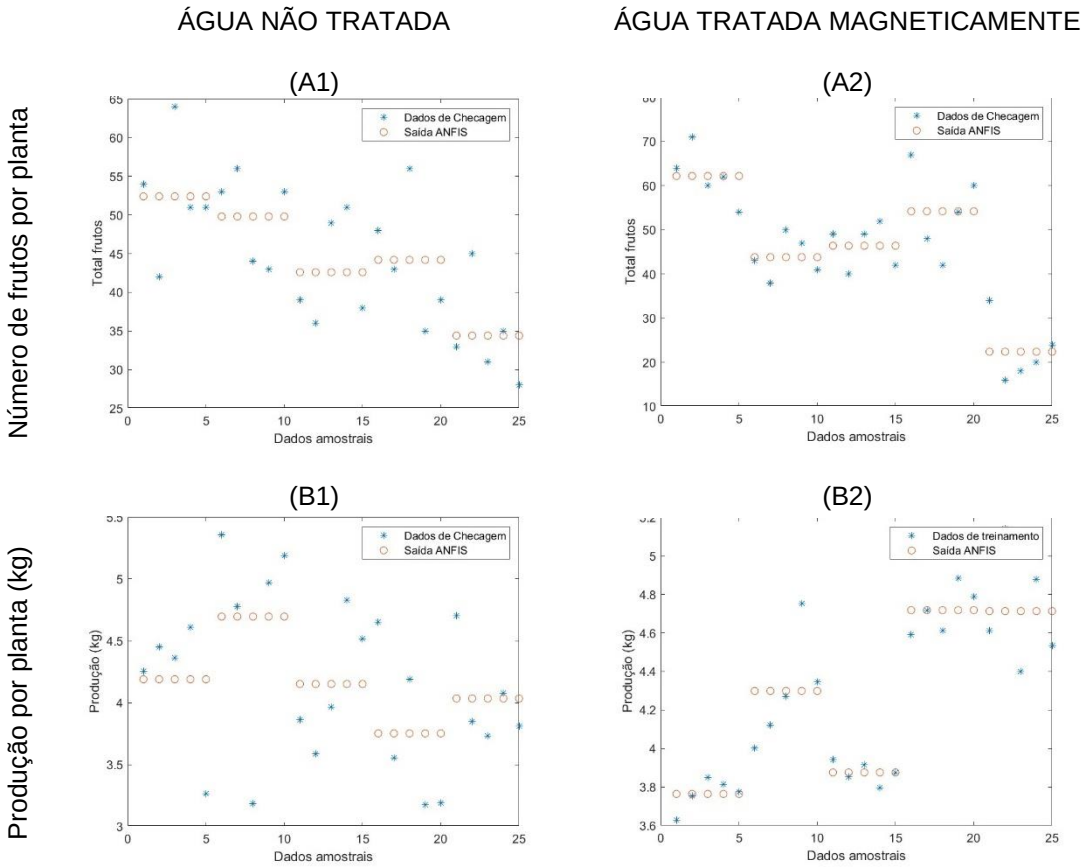


Figura 13 – Demonstração dos dados de treinamento da modelagem *neuro-fuzzy*.

Os erros de treinamento foram considerados dentro os limites máximos aceitáveis, o erro de treinamento ao longo do processo de treinamento foi considerado para garantir que os modelos finais atendam os padrões estatísticos. Foi considerado o grau de acerto, com tolerância de erro mais próximo de zero. Os erros apresentados na Figura 13 foram plotados ponto a ponto, conforme demonstrado na Figura 14.

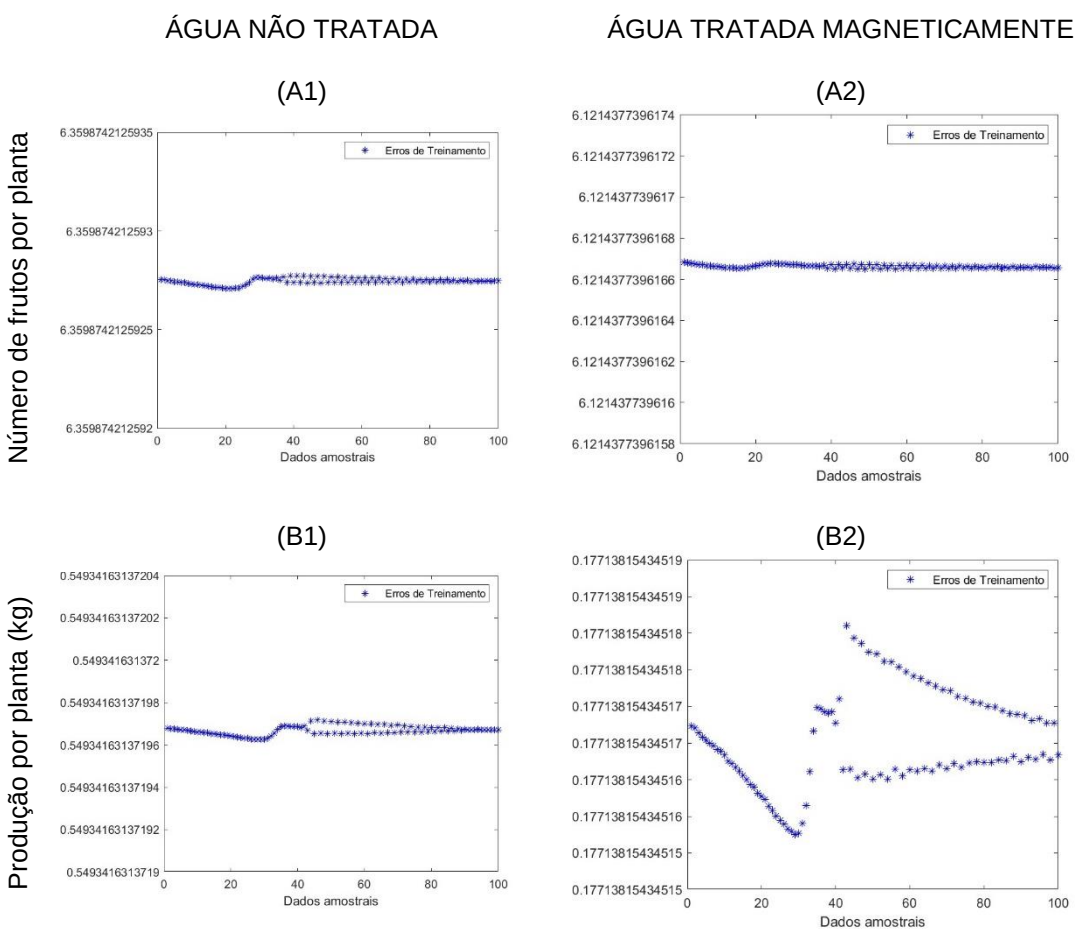


Figura 14– Demonstração das saídas de erro de treinamento plotadas para análise comparativa dos gráficos.

Para parcela irrigada com água não tratada (ANT), as duas variáveis em análise, número de folhas por plantas (Figura 14A1) e produção por planta (Figura 14B1) demonstraram ajuste próximo a 100% após o treinamento da modelagem.

Na irrigada com água tradada magneticamente (ATM) a variável número de folhas por plantas (Figura 14A2) demonstrou ajuste satisfatório. A variável produção por planta (Figura 14B2) apresentou uma dispersão com 40% do treinamento, no entanto os ajustes levaram o modelo de maneira aceitável com 100% dos dados.

3.1.3 Saída da modelagem *neuro-fuzzy*

Os modelos *neuro-fuzzy*, analisaram os dados de forma integral possibilitando apresentar valores de saída igual ou próximo as médias dos dados experimentais, demonstrando a sua eficiência na análise das variáveis biométricas

do tomateiro.

Assim se mostrou apropriada para estimar os parâmetros biométricos do tomateiro sob estresse salino, nos cinco níveis de condutividade, conforme demonstrado na Figura 15.

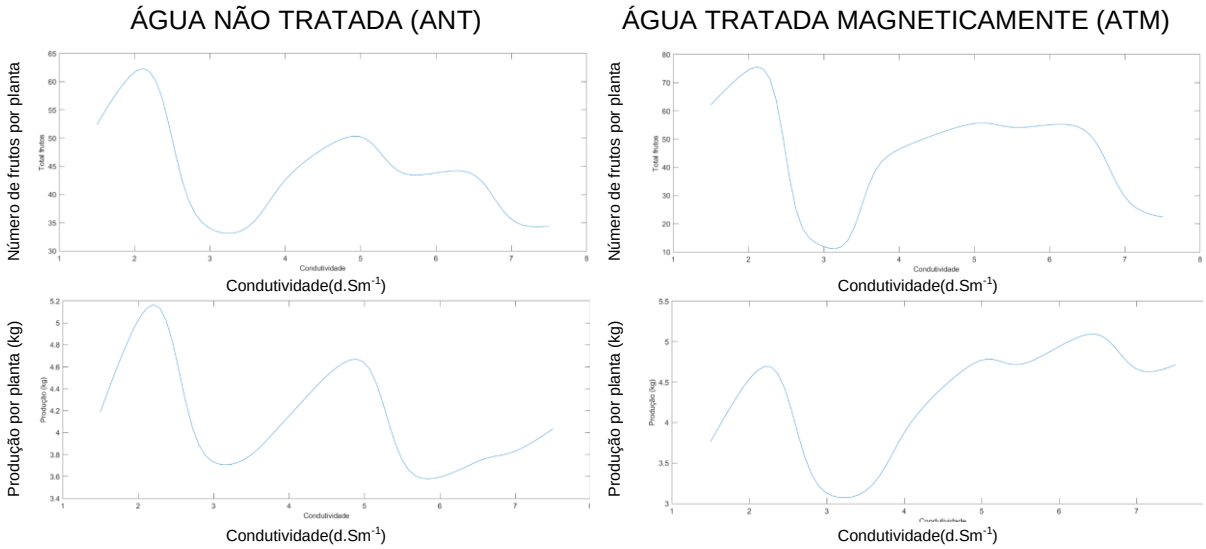


Figura 15 - Resultado de saída do modelo *neuro-fuzzy* para os dados produtivos do tomateiro sob estresse salino

Para a variável número de frutos por plantas as curvas de saída do modelo *neuro-fuzzy* apresentaram comportamento semelhantes para os frutos irrigados tanto para ANT quanto para ATM, tendo em vista a hegemoniza dos dados levantados no experimento.

Os dois modelos foram capazes de predizer a quantidade de frutos por planta e a produtividade por planta dos tomateiros submetidos a estresse salino com uma taxa de precisão superior a 95%.

Além disso, foi possível identificar os as lâminas de salinidade mais relevantes que podem afetar a produtividade do tomateiro, com base na condutividade elétrica do substrato.

3.2 COMPARATIVO ESTATÍSTICO MODELAGEM *NEURO-FUZZY* E DA REGRESSÃO POLIINOMIAL

Os índices estatísticos dos modelos ANFIS e da Regressão Polinomial foram avaliados para prever os efeitos da salinidade nas características biométrica do tomateiro. Para a comparação foram analisados os resultados dos coeficientes (X^2), Coeficiente de determinação (R^2), Erro do Quadrado Médio (RMSE) e Erro Absoluto Médio (MAE) dos dois modelos. Em primeiro lugar, foi verificado que o modelo ANFIS obteve um nível de segurança estatística significativa (valor-p ≤ 0,05). Os resultados dos coeficientes mostraram que o modelo ANFIS apresentou valores mais baixos para o MSE e MAE, uma melhor precisão (RMSE) e pior resultado para o R^2.

Tabela 14- Comparativo dos índices estatísticos dos modelos ANFIS e da regressão polinomial dos dados biométricos do tomateiro sob estresse salino

		ÁGUA NÃO TRATADA (ANT)		**ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE (ATM)**	
Variável	**Índices**	***Neuro-fuzzy***	**Regressão Polinomial**	***Neuro-fuzzy***	**Regressão Polinomial**
Número de Frutos	MSE	40,448	44,0415	37,472	103,5224
	MAE	5,3919	5,5759	5,0079	8,3734
	RMSE	6,3598	6,6363	6,1214	10,1745
	R^2	0,4922 (p=0,0001)	0,4471 (p=0,0003)	0,826325425 (p=0,000)	0,520196225 (p=0,000)
Produção por planta (kg)	MSE	0,3017	0,3017	0,0313	0,0893
	MAE	0,4426	0,4864	0,1268	0,2489
	RMSE	0,5493	0,6013	0,1771	0,2989
	R^2	0,2378 (p=0,0134)	0,0868 (p=0,1527)	0,837745598 (p=0,000)	0,537975455 (p=0,000)

Fonte: Dados da pesquisa

A tabela 14 demonstrou a comparação entre os modelos ANFIS e a regressão quadrática polinomial.

Além disso, o modelo ANFIS apresentou coeficientes (MSE, MAE, RMSE) menores que a regressão quadrática polinomial, o R^2 é maior para os modelos ANFIS em todas as variáveis. Isso demonstra a eficiência do neuro-fuzzy na predição dos dados produtivos da cultura do tomateiro, tanto para água não tratada (ANT) quanto para água tratada magneticamente (ATM). O valor-p significativo (≤ 0,05) mostrou que o modelo de ANFIS foi mais eficaz e confiável para a validação

dos resultados experimentais.

Para a variável produtividade por planta coma utilização de água não tratada (ANT), regressão polinomial teve um p-valor=0,1527 (acima de 0.05), indicando que a regressão não pode ser usada para a predição dos dados.

Os resultados obtidos mostraram uma forte correlação entre a predição do modelo e a quantidade de frutos por planta e a produtividade por planta, proporcionando a precisão prevista e confirmando a eficácia do modelo *neuro-fuzzy* em relação à regressão polinomial, conforme demonstrado na Figura 16.

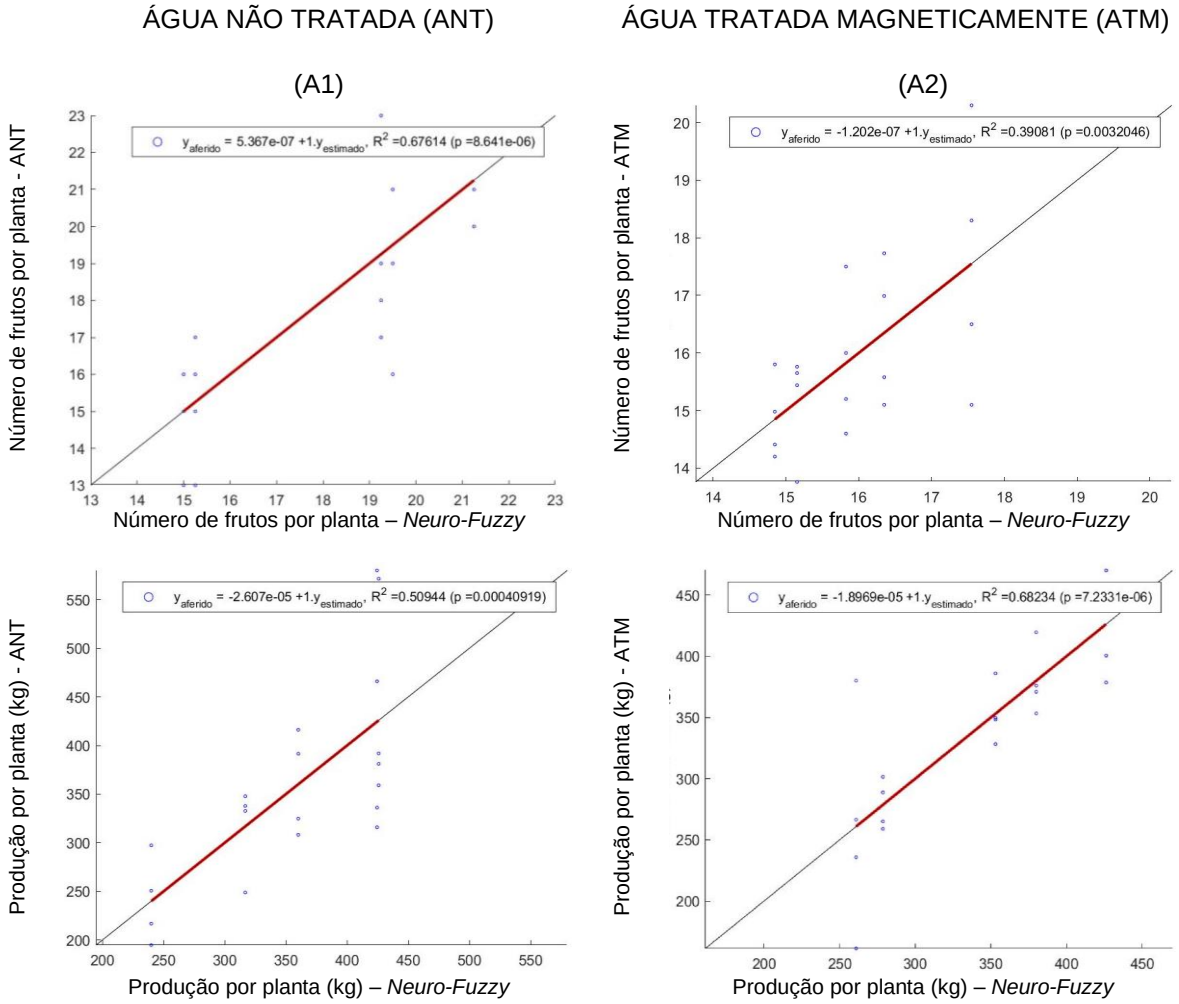


Figura 16 - Comparativo dos índices estatísticos dos modelos ANFIS e da regressão polinomial dos dados biométricos do tomateiro sob estresse salino

O desempenho dos modelos de regressão quadrática e a neuro-fuzzy, obteve um coeficiente de determinação (R^2) maior utilizando a *neuro-fuzzy*. Isto significa que a explicação da variabilidade dos dados de resposta, da medição das variáveis produtivas dos tomateiros, foi mais efetiva tanto com a água não tratada (ANT) e quanto na utilização de água tratada magneticamente (ATM).

O modelo *neuro-fuzzy* apresenta capacidade de ajustes não-lineares para variáveis produtivas mais complexas. Além disso, sua vantagem é que esses modelos são capazes de se autoajustar com base nos dados de entrada, de forma a tornar os resultados mais precisos.

Portanto, os modelos matemáticos gerados pela *Neuro-Fuzzy* são capazes de explicar ainda melhor os dados e fornecer respostas mais precisas, ao mesmo tempo que possibilitam manter um nível de complexidade nos ajustes realizados.

3.3 COMPARATIVO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUTIVIDADE DO TOMATE IRRIGADO COM ÁGUA NÃO TRATADA (ANT) E ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE (ATM) EM AMBIENTE PROTEGIDO

O cultivo em ambientes protegidos permite um melhor controle do ambiente de cultivo, proporcionando um aumento da eficiência no uso dos recursos hídricos, energéticos e aproveitamento de nutrientes. Isso se deve à possibilidade de utilização de sistemas de irrigação por gotejamento, manejo de adubação com maior precisão, além da proteção contra as intempéries climáticas e outros fatores adversos que podem impactar a produção de tomates (VIOL, 2017; GRUDA et al., 2019)

Para realização da viabilidade econômica do cultivo do tomate em ambiente protegido, determinou-se os custos de produção, que incluem a aquisição de sementes, fertilizantes, mão de obra, energia, água e outros insumos necessários. Além disso, levou-se em consideração os custos de instalação, como a construção e manutenção das estruturas de proteção, e os custos variáveis, como a quantidade de tomates produzidos conforme demonstrados na tabela 10 (SANTOS, 2017; MACHADO NETO et al., 2017)

Os dados dos custos toram baseados na metodologia do Agrianual (2022), para produção de tomate em estufa. Foi considerado uma estuda tipo londrina de 100mX22m, com capacidade para 3600 pés de tomate tutorados.

Os custos dos insumos de fertirrigação foram aumentados, considerando a condutividade de 2,5 $dS.m^{-1}$ para água não tratada e 5,5 $dS.m^{-1}$ para tratada magneticamente.

Os custos detalhados encontram-se no anexo da presente tese, sendo que os custos foram sintetizados para um período de 5 anos, conforme conta contábil no demonstrativo abaixo (tabela 15)

Tabela 15- Comparativo dos índices estatísticos dos modelos ANFIS e da regressão polinomial dos dados biométricos do tomateiro sob estresse salino

PERÍODO	ANO 0		ANO 1		ANO2		ANO3		ANO4		ANO5	
	ANT	ATM	ANT	ATM	ANT	ATM	ANT	ATM	ANT	ATM	ANT	ATM
INVESTIMENTO	-R$ 65.904	-R$ 70.904					-R$ 5.588	-R$ 5.588				
CUSTO(-)			**-R$ 61.988**	**-R$ 63.484**	**-R$ 61.988**	**-R$ 63.484**	**-R$ 61.988**	**-R$ 63.484**	**-R$ 61.988**	**-R$ 63.484**	**-R$ 61.988**	**-R$ 63.484**
Preparo do Solo			-R$ 28.943	-R$ 28.943	-R$ 28.943	-R$ 28.943	-R$ 28.943	-R$ 28.943	-R$ 28.943	-R$ 28.943	-R$ 28.943	-R$ 28.943
Insumos e mat.			-R$ 22.645	-R$ 24.136	-R$ 22.645	-R$ 24.136	-R$ 22.645	-R$ 24.136	-R$ 22.645	-R$ 24.136	-R$ 22.645	-R$ 24.136
Despesas adminis.			-R$ 10.399	-R$ 10.405	-R$ 10.399	-R$ 10.405	-R$ 10.399	-R$ 10.405	-R$ 10.399	-R$ 10.405	-R$ 10.399	-R$ 10.405
RECEITAS (+)			**R$ 75.379**	**R$ 75.699**	**R$ 75.379**	**R$ 75.699**	**R$ 75.379**	**R$ 75.699**	**R$ 75.379**	**R$ 75.699**	**R$ 75.379**	**R$ 75.699**
Receita de vendas			R$ 75.379	R$ 75.699	R$ 75.379	R$ 75.699	R$ 75.379	R$ 75.699	R$ 75.379	R$ 75.699	R$ 75.379	R$ 75.699
RESULTADO			**R$ 13.391**	**R$ 12.215**	**R$ 13.391**	**R$ 12.215**	**R$ 13.391**	**R$ 12.215**	**R$ 13.391**	**R$ 12.215**	**R$ 13.391**	**R$ 12.215**
RESULTADO ACUMULADO	**-R$ 65.904**	**-R$ 70.904**	**-R$ 52.512**	**-R$ 58.689**	**-R$ 39.121**	**-R$ 46.474**	**-R$ 31.318**	**-R$ 39.846**	**-R$ 17.927**	**-R$ 27.631**	**-R$ 4.536**	**-R$ 15.416**

Fonte: Dados da Pesquisa

* Os investimentos na estrutura do ambiente protegido foram depreciados em 15 ciclos produtivos;
** Os investimentos em irrigação foram depreciados em 3 ciclos produtivos;

Para o cálculo da receita estimada foi utilizada a produção ótima para os dois tipos de tratamento: para água não tratada (ANT) produção de 4,700 Kg por planta com salinidade de 2,5 dS.m-1; para água tratada magneticamente (ATM) produção de 4,720 Kg por planta com salinidade de 5,5 dS.m-1.

O preço recebido pelo produtor dos tomates depende da oferta e demanda do mercado, bem como da qualidade dos produtos. É importante levar em conta os canais de distribuição. Foi considerado o preço médio de R$ 2,97, pago ao produtor no CEAGESP-São Paulo ref. 2021 (AGRIANUAL, 2022).

A partir dos custos e receitas, foi possível calcular a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Retorno Sobre o Investimento (ROI) e o Valor Presente Líquido (VPL), além do método de *payback* que considera o tempo necessário para recuperar o capital investido para determinar se a produção de tomates em ambientes protegidos é viável economicamente, conforme apresentado na tabela 16.

Tabela 16- Comparativo dos índices de viabilidade econômica para a

	Água não tratada ANT	**Água tratada magneticamente ATM**
Taxa de atratividade	6%	6%
VPL	-R$ 8.958,22	-R$ 18.348,60
TIR	1%	-5%
ROI	-1,60%	-13,86%
Payback	4,92	5,29

Para análise da viabilidade econômica

Após analisar os cenários com uso de água não tratada (ANT) e água tratada magneticamente (ATM) os resultados indicam uma lucratividade anual positiva nos dois cenários apresentados de R$ 13.391 para ANT e R$ 12.215 para ATM. No entanto considerando o prazo do projeto de 5 anos ambos apresentaram um ROI negativo sendo -1,60% para ANT e -13,86% para ATM. Ainda a receita de equilíbrio é menor para o cenário ANT, demonstrando que menos dinheiro é necessário para pagar os custos de produção.

O uso da irrigação com o uso de água tratada magneticamente ATM teve resultado financeiro inferior ao grupo de controle devido a duas hipóteses: 1) Mesmo que superior, a produtividade do grupo com uso de ATM, se deu com uma irrigação com maior quantidade de fertilizantes dissolvidos (5,5 dS.m-1), o que aumenta os

custos de produção; 2) O aumento da produtividade de grupo com uso de ATM não foi elevado para cobrir os custos de utilização do magnetizador.

Ressalte-se que a viabilidade econômica da produção de tomates em ambientes protegidos depende de vários fatores, como o tamanho da produção, a qualidade dos produtos, os preços de venda, que são sazonais, e os custos de produção. Portanto, os dados apresentados no presente trabalho refletem o momento que foram realizados. A viabilidade pode alterar dependendo da escala de produção, tecnologia empregada e variação dos preços.

4 CONCLUSÕES

O modelo *neuro-fuzzy* foi capaz de lidar com dados complexos, especialmente aqueles que envolvem incertezas e imprecisões. Quando aplicado às variáveis produtivas do tomateiro irrigado, o modelo *neuro-fuzzy* pode ajudar a prever o número de frutos e a produção total do tomateiro, considerando diversos fatores que afetam o crescimento e desenvolvimento da planta sob estresse salino.

Os modelos *neuro-fuzzy* para as variáveis número de frutos e produtividade do tomateiro obtiveram resultados superiores aos modelos apresentados pela regressão linear, apresentaram uma boa correlação com as variáveis apresentadas tanto para água não tratada, quanto para água tratada magneticamente.

Os resultados mostraram que o modelo *neuro-fuzzy* foi capaz de prever com precisão o número de frutos produzidos pelo tomateiro, com um erro médio absoluto bastante baixo sendo fundamental na tomada decisões na agricultura, permitindo aos produtores estimar com antecedência a produção de tomate e planejar a comercialização dos frutos.

Além disso, o modelo *neuro-fuzzy* deve ser aprimorado continuamente, incluindo novas variáveis de entrada e aprimorando as técnicas de treinamento da rede neural, garantindo ainda mais precisão nas previsões futuras.

O uso da irrigação com água tratada magneticamente (ATM) apresentou resultados benéficos e uma produtividade um pouco superior ao controle utilizando irrigação com água não tratada (ANT). No entanto os resultados mostram que o uso do magnetizador na produção de tomates em ambiente protegido não é viável econômica e financeiramente, pois elevou o *payback* de 4,92 anos (ANT) para 5,29

(ATM).

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL - ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA – **Agrianual 2022**: anuário da agricultura brasileira. 27 ed. São Paulo: Informa Economics FNF. 2022.

ALIVERDI, A.; PARSA, M.; HAMMAMI, H.. Increased soyabean-rhizobium symbiosis by magnetically treated water. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 31, n. 3, p. 167-176, 2015.

CONAB de Abastecimento, C. N.. Compêndio de Estudos Conab: Tomate. **CONAB**. Brasilia, 2019.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; NETO, O. N. S.; QUEIROZ, Í. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade (Salinity effects on plants and tolerance of crops to salinity, *in* GHEYI, H. R. et al., **Manejo da salinidade na agricultura**: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, p. 151-162, 2016.

ELHINDI, K.M; AL-MANA, F.A.; ALGAHTANI, M.A; ALOTAIBI M.A, Effect of irrigation with saline magnetized water and different soil amendments on growth and flower production of Calendula officinalis L. plants. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 11, p. 3072-3078, 2020.

FAO. 2019. Data FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Available at: http://www.fao.org/ faostat/en/#data/QC. Consulted: 9/feb/ 2022.

FERRARI, J. M. S. **Análise da produtividade e das variáveis biométricas do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação com água tratada magneticamente utilizando modelagem neuro-fuzzy.** Botucatu: UNESP, 2018. 105 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2018.

FERNANDES, R. T.; SOUZA, Á. H. C.; MATA MONDONGA, Y. C.; ZOLIN LORENZONI, M.; & MENDONGA MAia, S. C. Aplicación de agua tratada magnéticamente a plantallas de tomate y estudio de viabilidad económica de la producción. **Idesia (Arica)**, 40(2), 85-94, 2022.

GIL, J.D.B., REIDSMA, P., GILLER, K. et al. Sustainable development goal 2: Improved targets and indicators for agriculture and food security. **Ambio,** v. 48, 2019.

GRUDA, N.; BISBIS, M; TANNY, J. Influence of climate change on protected cultivation: Impacts and sustainable adaptation strategies-A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 225, p. 481-495, 2019.

LOPES, L. S. Papel do oxigênio dissolvido em torno das raízes na tolerância de arroz à salinidade. 2018. 115 f. **Tese** (Doutorado em Bioquímica)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MACHADO NETO, A. D. S.; PONCIANO, N. J.; SOUZA, P. M. D.; GRAVINA, G. D. A.; DAHER, R. F.. Costs, viability and risks of organic tomato production in a protected environment. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, p. 584-591, 2018.

MAZIERO, L. P.; FREDERICK, S. L.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.. Modelagem neuro-fuzzy da evapotranspiração de referência baseada no método de camargo: Neuro-fuzzy modeling of evapotranspiration. **IRRIGA**, v. 1, n. 3, p. 489-505, 2021.

MOHAMMADI, Babak et al. Adaptive neuro-fuzzy inference system coupled with shuffled frog leaping algorithm for predicting river streamflow time series. **Hydrological Sciences Journal**, v. 65, n. 10, p. 1738-1751, 2020.

OSPINA-SALAZAR, D. I.; BENAVIDES-BOLAÑOS, J. A.; ZÚÑIGA-ESCOBAR, O.; MUÑOZ-PEREA, C. G.. Photosynthesis and biomass yield in Tabasco pepper, radish and maize subjected to magnetically treated water. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria,** v. 19, n. 2, p. 291-305, 2018.

PATIL, K. R.; ADIVAPPAR, N.; CHINNAPPA, B.; MANJUNATHA, G. R. Economic analysis of commercial tomato nurseries. **Journal of crop and weed**, v. 13, n. 1, p. 137-141, 2017.

SABBAG, Omar Jorge; NICODEMO, Daniel. Viabilidade econômica para produção de mel em propriedade familiar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 94-101, 2011.

SANTOS, J. D.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; SENA, J. O. A. D.; TELLES, T. S.. Economic viability of tomato cultivation in organic farming system. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 60, 2017.

SILVA, B. A.; SILVA, A. D.; PAGIUCA, L. G. Cultivo protegido: em busca de mais eficiência produtiva. **Hortifruti Brasil**, 1, 10-18, 2014.

SPICKA, J. et al. Approaches to estimation the farm-level economic viability and sustainability in agriculture: A literature review. **Agricultural Economics**, v. 65, n. 6, p. 289-297, 2019.

VIOL, M. A.; CARVALHO, J. A.; LIMA, E. M. C. Déficit hídrico e produção do tomate cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 11, n. 1, 2017.

YAZDANI-CHAMZINI, Abdolreza et al. Forecasting gold price changes by using adaptive network fuzzy inference system. **Journal of Business Economics and Management**, v. 13, n. 5, p. 994-1010, 2012.

YUSUF, K. O.; SAKARIYAH, S. A.; BAIYERI, M. R.. Influence of magnetized water and seed on yield and uptake of heavy metals of tomato. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 11, n. 1, p. 122-129, 2019.

ZHAO, G.; MU, Y.; WANG, Y.. Response of winter-wheat grain yield and water-use efficiency to irrigation with activated water on Guanzhong Plain in China. **Irrigation Science**. v.39, p. 1-14, 2021. DOI:10.1007/s00271-020-00706-y.

CONCLUSÃO GERAL DA TESE

A tese intitulada "Modelo neuro-fuzzy dos parâmetros fisiológicos e nutricionais da cultura do tomateiro sob estresse salino irrigado com água tratada magneticamente" investigou o emprego da água tratada magneticamente (ATM) na cultura do tomateiro em condições de estresse salino, com ênfase na aplicação da modelagem neuro-fuzzy ANFIS para analisar os efeitos na produtividade e nos parâmetros fisiológicos da planta.

O capítulo I - Revisão Sistemática sobre ATM em Irrigação apresentou uma revisão sistemática das literaturas que discutem o uso da ATM na irrigação. Conclui que a ATM tem um impacto positivo no aumento da germinação, crescimento e rendimento das plantas. Esta parte da pesquisa sublinhou a relevância da ATM como uma tecnologia promissora para melhorar a eficiência da irrigação em contextos agrícolas.

O Capítulo II - Análise dos Parâmetros Biométricos do Tomateiro realizou uma análise comparativa entre a modelagem neuro-fuzzy e a regressão linear para avaliar os parâmetros biométricos do tomateiro irrigado com ATM e ANT sob estresse salino. Seus resultados demonstraram a superioridade da abordagem neuro-fuzzy em modelar as complexas interações entre a salinidade, o tratamento da água e os parâmetros biométricos da planta, oferecendo uma ferramenta robusta para a previsão e otimização das práticas de irrigação.

No Capítulo III - Avaliação Econômica da Produção de Tomateiro foi avaliada a viabilidade econômica do uso da ATM na irrigação do tomateiro, constatando que, embora a ATM melhore os parâmetros produtivos e biométricos, os custos associados à sua aplicação podem superar os benefícios econômicos. Este destacou a importância de considerar os aspectos econômicos na implementação de novas tecnologias agrícolas.

A pesquisa evidenciou que a modelagem neuro-fuzzy ANFIS como uma metodologia eficiente para avaliar o impacto da ATM na cultura do tomateiro sob estresse salino, oferecendo um meio preciso de modelagem dos complexos fenômenos biológicos e ambientais. O estudo comprovou que a ATM pode potencializar os parâmetros fisiológicos e produtivos do tomateiro, sugerindo um meio promissor de mitigar os efeitos adversos da salinidade na agricultura. Entretanto, a análise econômica indica que os custos inerentes ao tratamento

magnético da água podem ser uma barreira para sua adoção em larga escala.

A aplicabilidade deste estudo estende-se ao aprimoramento das práticas de irrigação em culturas sensíveis à salinidade, fornecendo um fundamento para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis e eficientes em recursos hídricos. Pesquisas futuras devem focar no refinamento da modelagem neuro-fuzzy para integrar um espectro mais amplo de variáveis e condições ambientais, além de explorar tecnologias de tratamento magnético mais custo-efetivas. Uma limitação primordial deste estudo reside na análise de custo-benefício, que aponta para a necessidade de métodos de tratamento magnético que sejam economicamente viáveis para os agricultores, garantindo assim a sustentabilidade econômica e ambiental das práticas de irrigação.

ANEXO 01 - PLANTIO PROTEGIDO - TOMATE ÁGUA NÃO TRATADA - ANT

CUSTOS DE PRODUÇÃO

PLANTIO PROTEGIDO - TOMATE AGUA NÃO TRATADA - ANT

1ª SAFRA - 2021/22

Ciclo de Cultura: 1,5 ciclo por ano **Tipo do Relatório: Estimado com base no Agrianual 2022**

Mês/Ano: Agosto/2021

Produtividade Média:

DISCRIMINAÇÃO	Valor unitário	Quandidade	Valor Total Ciclo	
I - DESPESAS DE INVESTIMENTO				
A- ESTUFA E MONTAGEM DA ESTRUTURA				
1.1 Montagem da Estrutura do tipo londrina 100X22	R$ 85,00	88,0	R$ 7.480,00	
1.2 Mourão de 12 a 14 cm de diâmentro	R$ 15,00	104,0	R$ 1.560,00	
1.3 Mourão de 25 a 30 cm de diâmetro	R$ 30,00	26,0	R$ 780,00	
1.4 Bobina Plastica de 8x105x010	R$ 500,00	3,0	R$ 1.500,00	
1.5 Arame de Aço liso fio 14	R$ 25,00	492,0	R$ 12.300,00	
1.6 Arame de Aço liso fio 18	R$ 28,50	328,0	R$ 9.348,00	
1.7 Esticador Catraca	R$ 80,00	126,0	R$ 10.080,00	
1.8 Escora de eucalipto para sustentação	R$ 1,50	572,0	R$ 858,00	
1.9 Ecora 3,5 para fixação do plastico	R$ 6,50	650,0	R$ 4.225,00	
1.10 Pregos 18x36	R$ 19,00	8,0	R$ 152,00	
1.11 Grampo para cerca (pct)	R$ 21,00	3,0	R$ 63,00	
1.12 Plastico para cobertura 100 micras	R$ 1.995,00	6,0	R$ 11.970,00	
SUBTOTAL A			R$ 60.316,00	
B-SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	R$ 1,10	2.300,0	R$ 2.530,00	
2.1 Tubo Gotejador (30cm/gotejo)	R$ 10,00	100,0	R$ 1.000,00	
2.2 Mangueira de poletileno 2 polegadas	R$ 1,50	1,0	R$ 1,50	
2.3 Conexões	R$ 90,00	1,0	R$ 90,00	
2.4 Filtro 1" de disco 120	R$ 115,00	1,0	R$ 115,00	
2.5 Válvula Reguladora de Presão 3/4	R$ 5,50	12,0	R$ 66,00	
2.6 Conector Inicial	R$ 155,00	1,0	R$ 155,00	
2.7 Injetor de Fertilizantes	R$ 155,00	1,0	R$ 155,00	
2.8 Motobomba 2,5 cv	R$ 1.475,00	1,0	R$ 1.475,00	
2.9 Magnetizador Sylocimol		1,0	R$ -	
SUBTOTAL B			R$ 5.587,50	
TOTAL DAS DESPESAS DE INVESTIMENTOS (A+B)			**R$ 65.903,50**	

II - DESPESAS DE PRODUÇÃO							
C-PREPARO DO SOLOS/PLANTIO/TRATOS CULTURAIS							
3.1 Preparo do solo / canteiro / abubação (homem/dia)	R$	74,50	36,0	R$	2.682,00	R$	4.023,00
3.2 Tranplante de Mudas (homem/dia)	R$	74,50	4,0	R$	298,00	R$	447,00
3.3 Tutoramento/desbrota (homem/dia)	R$	74,50	75,0	R$	5.587,50	R$	8.381,25
3.4 Fertirrigação (homem/dia)	R$	74,50	12,0	R$	894,00	R$	1.341,00
3.5 Pulverização (homem/dia)	R$	74,50	22,0	R$	1.639,00	R$	2.458,50
3.6 Colheita (homem/dia)	R$	74,50	55,0	R$	4.097,50	R$	6.146,25
3.7 Limpeza Seleção e embalagem (homem/dia)	R$	74,50	55,0	R$	4.097,50	R$	6.146,25
SUBTOTAL C				R$	19.295,50	R$	28.943,25
D-INSUMOS E MATERIAIS							
4.1 Mudas enxertadas	R$	3,00	3.600,0	R$	10.800,00	R$	16.200,00
4.2 Calcário dolomítico	R$	180,00	0,3	R$	54,00	R$	81,00
4.3 MAP	R$	4,80	40,0	R$	192,00	R$	288,00
4.4 Adubo Orgânico	R$	220,00	1,1	R$	242,00	R$	363,00
4.5 Nitrato de Potássio (2,5 dsm-1)	R$	6,20	50,0	R$	310,00	R$	465,00
4.6 Nitrato de Cálcio (2,5 dsm-1)	R$	3,90	40,0	R$	156,00	R$	234,00
4.7 Superfosfato simples (2,5 dsm-1)	R$	2,40	220,0	R$	528,00	R$	792,00
4.8 Defensivos				R$	1.408,90	R$	2.113,35
4.9 Acaricida	R$	32,40	0,5	R$	16,20	R$	24,30
4.10 Fungicida	R$	153,70	3,6	R$	553,32	R$	829,98
4.11 Inseticidas	R$	209,10	4,0	R$	836,40	R$	1.254,60
SUBTOTAL D				R$	15.096,82	R$	22.645,23
TOTAL DAS DESPESAS DE PRODUÇÃO (C+D)				**R$**	**34.392,32**	**R$**	**51.588,48**
III - DESPESAS ADMINISTRATIVAS							
E-ADMINISTRAÇÃO							
5.1 Contabilidade/água/luz	R$	2.519,80	2,0	R$	5.039,60	R$	7.559,40
5.2 Assistência Técnica	R$	494,30	2,0	R$	988,60	R$	1.482,90
5.3 Impostos		1,8%	1,0	R$	904,54	R$	1.356,81
TOTAL DAS DESPESAS ADMINISTRATIVAS (E)				**R$**	**6.932,74**	**R$**	**10.399,11**

	Produção por planta (kg)	**Plantas por estufa**	**Valor por ciclo**		**Valor por ano**	
IV - RECEITAS PRODUTIVAS						
6.1 Quantidade Produzida (kg)	4,7000	3.600	R$	50.252,40	R$	75.378,60

ANEXO 02 - PLANTIO PROTEGIDO - TOMATE EM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE – ATM

CUSTOS DE PRODUÇÃO

PLANTIO PROTEGIDO - TOMATE AGUA TRATADA MAGNETICAMENTE - ATM

1ª SAFRA - 2021/22

Ciclo de Cultura: 1,5 ciclo por ano **Tipo do Relatório: Estimado com base no Agrianual 2022**

Mês/Ano: Agosto/2021

Produtividade Média:

DISCRIMINAÇÃO	Valor unitário	Quandidade	Valor Total Ciclo	
I - DESPESAS DE INVESTIMENTO				
A- ESTUFA E MONTAGEM DA ESTRUTURA				
1.1 Montagem da Estrutura do tipo londrina 100X22	R$ 85,00	88,0	R$ 7.480,00	
1.2 Mourão de 12 a 14 cm de diâmentro	R$ 15,00	104,0	R$ 1.560,00	
1.3 Mourão de 25 a 30 cm de diâmetro	R$ 30,00	26,0	R$ 780,00	
1.4 Bobina Plastica de 8x105x010	R$ 500,00	3,0	R$ 1.500,00	
1.5 Arame de Aço liso fio 14	R$ 25,00	492,0	R$ 12.300,00	
1.6 Arame de Aço liso fio 18	R$ 28,50	328,0	R$ 9.348,00	
1.7 Esticador Catraca	R$ 80,00	126,0	R$ 10.080,00	
1.8 Escora de eucalipto para sustentação	R$ 1,50	572,0	R$ 858,00	
1.9 Ecora 3,5 para fixação do plastico	R$ 6,50	650,0	R$ 4.225,00	
1.10 Pregos 18x36	R$ 19,00	8,0	R$ 152,00	
1.11 Grampo para cerca (pct)	R$ 21,00	3,0	R$ 63,00	
1.12 Plastico para cobertura 100 micras	R$ 1.995,00	6,0	R$ 11.970,00	
SUBTOTAL A			R$ 60.316,00	
B-SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	R$ 1,10	2.300,0	R$ 2.530,00	
2.1 Tubo Gotejador (30cm/gotejo)	R$ 10,00	100,0	R$ 1.000,00	
2.2 Mangueira de poletileno 2 polegadas	R$ 1,50	1,0	R$ 1,50	
2.3 Conexões	R$ 90,00	1,0	R$ 90,00	
2.4 Filtro 1" de disco 120	R$ 115,00	1,0	R$ 115,00	
2.5 Válvula Reguladora de Presão 3/4	R$ 5,50	12,0	R$ 66,00	
2.6 Conector Inicial	R$ 155,00	1,0	R$ 155,00	
2.7 Injetor de Fertilizantes	R$ 155,00	1,0	R$ 155,00	
2.8 Motobomba 2,5 cv	R$ 1.475,00	1,0	R$ 1.475,00	
2.9 Magnetizador Sylocimol	R$ 5.000,00	1,0	R$ 5.000,00	
SUBTOTAL B			R$ 10.587,50	
TOTAL DAS DESPESAS DE INVESTIMENTOS (A+B)			**R$ 70.903,50**	

II - DESPESAS DE PRODUÇÃO						
C-PREPARO DO SOLOS/PLANTIO/TRATOS CULTURAIS						
3.1 Preparo do solo / canteiro / abubação (homem/dia)	R$ 74,50	36,0	R$ 2.682,00	R$	4.023,00	
3.2 Tranplante de Mudas (homem/dia)	R$ 74,50	4,0	R$ 298,00	R$	447,00	
3.3 Tutoramento/desbrota (homem/dia)	R$ 74,50	75,0	R$ 5.587,50	R$	8.381,25	
3.4 Fertirrigação (homem/dia)	R$ 74,50	12,0	R$ 894,00	R$	1.341,00	
3.5 Pulverização (homem/dia)	R$ 74,50	22,0	R$ 1.639,00	R$	2.458,50	

3.6 Colheita (homem/dia)	R$	74,50	55,0	R$	4.097,50	R$	6.146,25
3.7 Limpeza Seleção e embalagem (homem/dia)	R$	74,50	55,0	R$	4.097,50	R$	6.146,25
SUBTOTAL C				R$	19.295,50	R$	28.943,25
D-INSUMOS E MATERIAIS							
4.1 Mudas enxertadas	R$	3,00	3.600,0	R$	10.800,00	R$	16.200,00
4.2 Calcário dolomítico	R$	180,00	0,3	R$	54,00	R$	81,00
4.3 MAP	R$	4,80	40,0	R$	192,00	R$	288,00
4.4 Adubo Orgânico	R$	220,00	1,1	R$	242,00	R$	363,00
4.5 Nitrato de Potássio (5,5 dsm-1)	R$	6,20	100,0	R$	620,00	R$	930,00
4.6 Nitrato de Cálcio (5,5 dsm-1)	R$	3,90	80,0	R$	312,00	R$	468,00
4.7 Superfosfato simples (5,5 dsm-1)	R$	2,40	440,0	R$	1.056,00	R$	1.584,00
4.8 Defensivos				R$	1.408,90	R$	2.113,35
4.9 Acaricida	R$	32,40	0,5	R$	16,20	R$	24,30
4.10 Fungicida	R$	153,70	3,6	R$	553,32	R$	829,98
4.11 Inseticidas	R$	209,10	4,0	R$	836,40	R$	1.254,60
SUBTOTAL D				R$	16.090,82	R$	24.136,23
TOTAL DAS DESPESAS DE PRODUÇÃO (C+D)				**R$**	**35.386,32**	**R$**	**53.079,48**
III - DESPESAS ADMINISTRATIVAS							
E-ADMINISTRAÇÃO							
5.1 Contabilidade/água/luz	R$	2.519,80	2,0	R$	5.039,60	R$	7.559,40
5.2 Assistência Técnica	R$	494,30	2,0	R$	988,60	R$	1.482,90
5.3 Impostos		1,8%	1,0	R$	908,39	R$	1.362,59
TOTAL DAS DESPESAS ADMINISTRATIVAS (E)				**R$**	**6.936,59**	**R$**	**10.404,89**

	Produção por planta (kg)	**Plantas por estufa**	**Valor por ciclo**		**Valor por ano**
IV - RECEITAS PRODUTIVAS					
6.1 Quantidade Produzida (kg)	4,7200	3.600	R$	50.466,24	R$ 75.699,36