

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:

Silva, Allan Leon Casemiro da..
S586m 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.

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:

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

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

Documento assinado digitalmente

Prof. Dr. FERNANDO DE LIMA CANEPELE (Participação Virtual)
Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - FZEA - USP - Pirassununga/SP

 FERNANDO DE LIMA CANEPELE
Data: 28/07/2023 10:11:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente

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

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

Documento assinado digitalmente

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

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

Documento assinado digitalmente

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

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

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 intrincada 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	14
--------------------------------	----

REFERÊNCIAS	18
-------------------	----

CAPÍTULO I - RESULTADOS DO USO DA ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE (ATM) NA IRRIGAÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	Erro! Indicador não definido.
--	-------------------------------

1 INTRODUÇÃO	Erro! Indicador não definido.
---------------------------	-------------------------------

2 METODOLOGIA.....	Erro! Indicador não definido.
---------------------------	-------------------------------

2.1 ENTRADA.....	Erro! Indicador não definido.
-------------------------	-------------------------------

2.2 PROCESSAMENTO - SELEÇÃO, CATALOGAÇÃO E ANÁLISE DOS ARTIGOS SELECIONADOS	Erro! Indicador não definido.
--	-------------------------------

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	Erro! Indicador não definido.
--	-------------------------------

3.1 ARTIGO NA ÁREA DE IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE	Erro! Indicador não definido.
--	-------------------------------

3.2 SAÍDA - RELATÓRIO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA (RBS)	Erro! Indicador não definido.
---	-------------------------------

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	Erro! Indicador não definido.
-------------------------------------	-------------------------------

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	Erro! Indicador não definido.
---------------------------------------	-------------------------------

CAPÍTULO II - 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	Erro! Indicador não definido.
---	-------------------------------

1 INTRODUÇÃO	Erro! Indicador não definido.
---------------------------	-------------------------------

2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	Erro! Indicador não definido.
-----------------------------------	-------------------------------

2.1 DO EXPERIMENTO REALIZADO	Erro! Indicador não definido.
---	-------------------------------

2.2 MODELAGEM NEURO-FUZZY	Erro! Indicador não definido.
--	-------------------------------

2.4 MODELAGEM ESTATÍSTICA PARA COMPARAÇÃO DOS MODELOS	Erro! Indicador não definido.
--	-------------------------------

3.2 CONJUNTOS NEUROFUZZY DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA..	Erro! Indicador não definido.
--	-------------------------------

3.3 TREINAMENTO DOS MODELO NEURO-FUZZY ANFIS.....	Erro! Indicador não definido.
3.4 SAÍDA DA MODELAGEM NEURO-FUZZY	Erro! Indicador não definido.
3.4 COMPARATIVO ESTATÍSTICO MODELAGEM NEURO-FUZZY E DA REGRESSÃO POLIINOMIAL	Erro! Indicador não definido.
4 CONCLUSÕES	21
CAPÍTULO III – VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE TOMATES EM ESTUFAS IRRIGADOS COM ÁGUA NÃO TRATADA (ANT) E ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE (ATM)	26
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
2.1 DO EXPERIMENTO REALIZADO	29
2.2 MODELAGEM NEURO-FUZZY	29
2.4 MODELAGEM ESTATÍSTICA PARA COMPARAÇÃO DOS MODELOS	30
3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	33
3.1 MODELAGEM <i>NEURO-FUZZY</i> DA PRODUTIVIDADE DO TOMATEIRO	33
3.1.1 Conjuntos neuro-fuzzy das variáveis de entrada.....	34
3.1.2 Treinamento dos modelos <i>neuro-fuzzy</i> ANFIS.....	35
3.1.3 Saída da modelagem <i>neuro-fuzzy</i>	37
3.2 COMPARATIVO ESTATÍSTICO MODELAGEM <i>NEURO-FUZZY</i> E DA REGRESSÃO POLIINOMIAL	39
4 CONCLUSÕES	45
CONCLUSÃO GERAL DA TESE.....	49
ANEXO 01 - PLANTIO PROTEGIDO - TOMATE ÁGUA NÃO TRATADA - ANT ..	51
ANEXO 02 - PLANTIO PROTEGIDO - TOMATE EM ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE – ATM.....	53

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 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 al. (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 secundários de especialistas;	FONTE DE DADOS Dados primários da pesquisa; Dados secundários 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 estresse 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 viabilidade 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.

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 28/02/2025.

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-mansão. **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 ar**. 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 and 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-mansão 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 10^a 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.

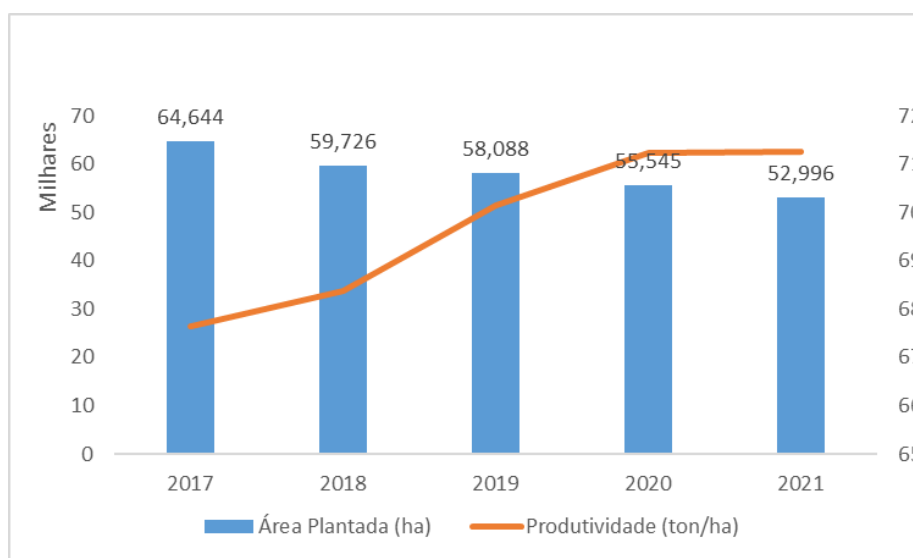


Figura 11 - Demonstração da área plantada e produtividade brasileira de tomates no período de 2017 a 2021. Fonte: Elaborado pelo autor, com dados do Agrianual (2022).

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 tratada 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 al., 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 demonstrado 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 $O_j^2 = w_j = \prod_{i=1}^2 \mu_i^j = \mu_i^j x \mu_i^j = \min(\mu_1^j; \mu_2^j), j = 1,2$
Camada 3 $O_j^3 = \bar{w}_j = \frac{w_j}{\sum_{i=1}^2 w_i} = \frac{w_j}{w_1 + w_2}; j = 1,2$	Camada 4 $O_j^4 = f_j = \bar{w}_j = (p_j x_1 + q_j x_2 = r_j$
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 \hat{y}_i - y_i $
$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2$	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2}{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}$

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 tratada 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

$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n}$	$ROI = \frac{(\text{ganho obtido} - \text{valor investido})}{\text{valor investido}} \times 100$
$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_t}{(1+i)^n}$	$\text{Payback} = \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+TIR)^i} - \text{investimento inicial}$

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).

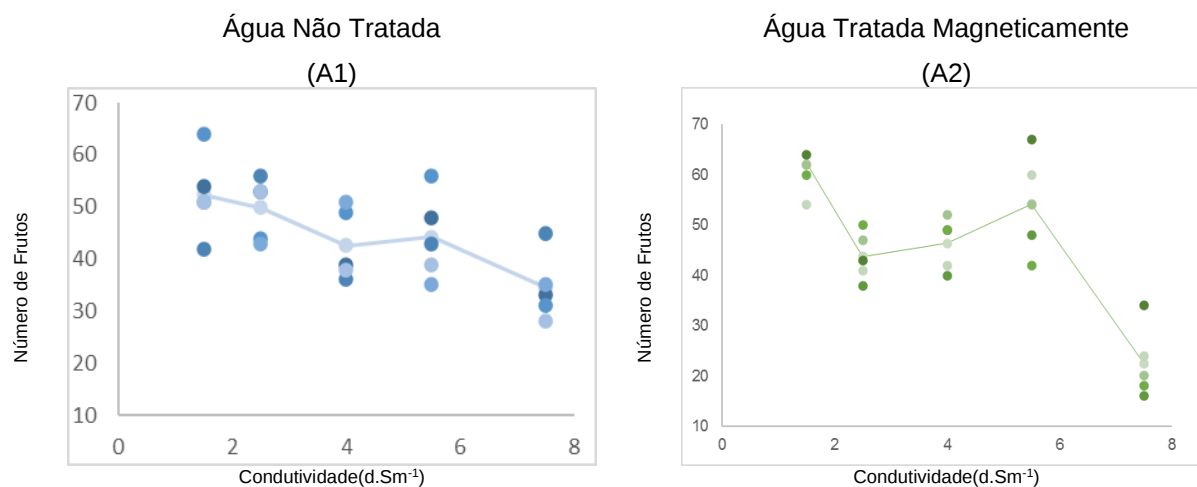
A análise de produtividade do tomateiro foi realizada através do experimento descrito na metodologia do Capítulo II desta Tese.

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.



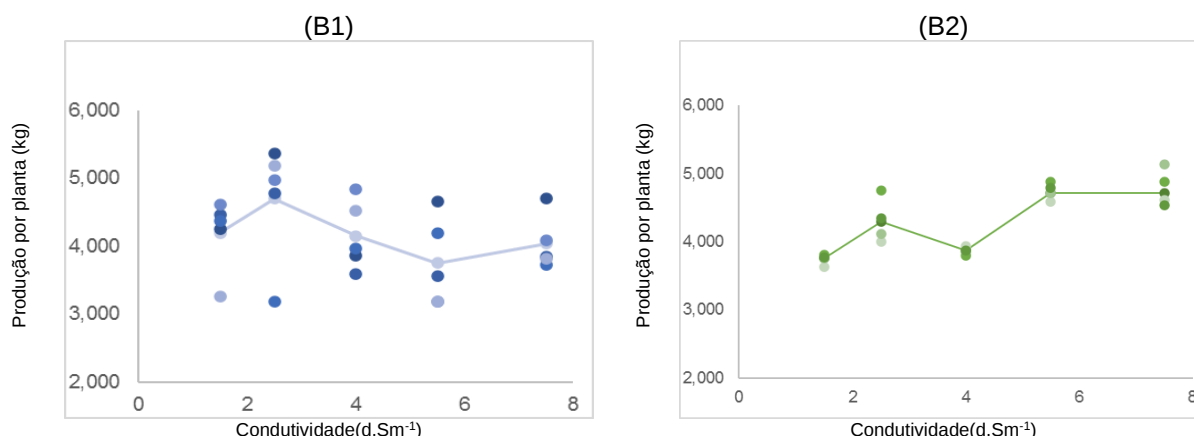


Figura 12 - Dados de entrada para elaboração dos modelos matemáticos, dos fatores biométricos do sob diferentes níveis de salinidade.

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 cada 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).

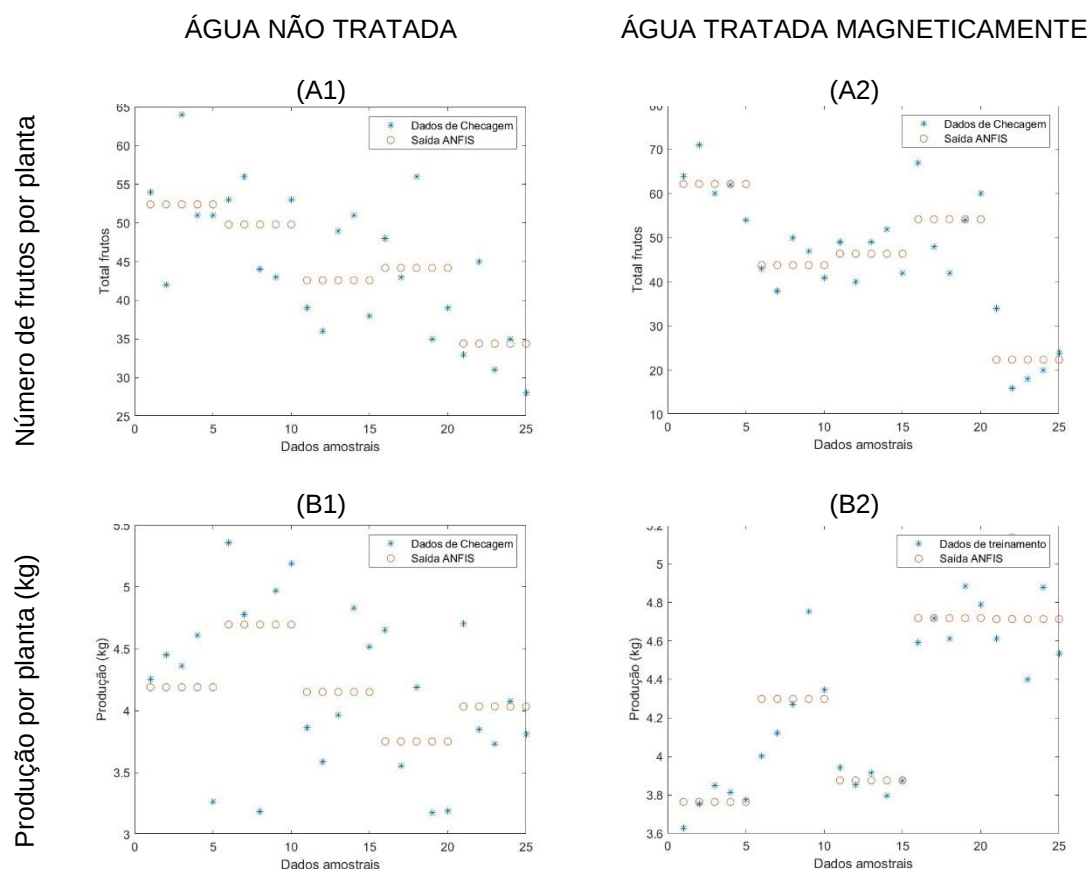


Figura 13 – Demonstração dos dados de treinamento da modelagem *neuro-fuzzy*.

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.

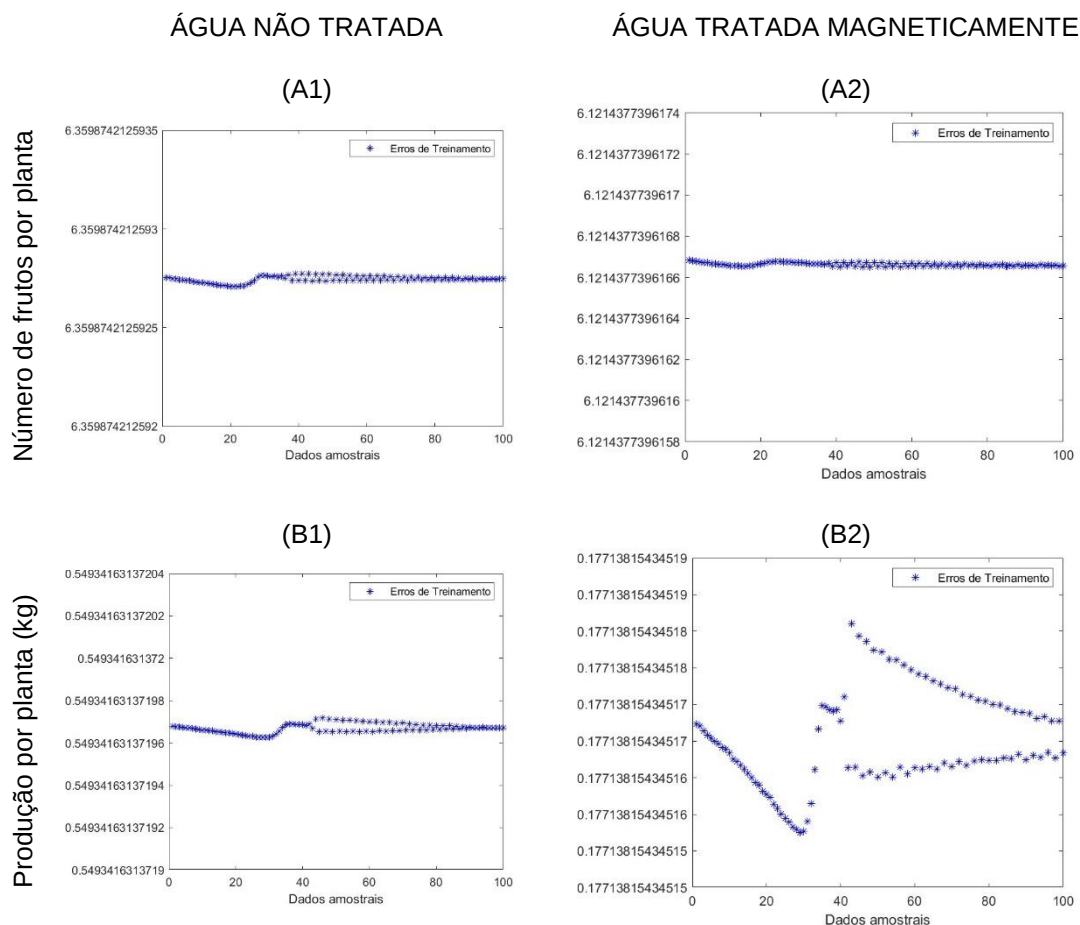


Figura 14– Demonstração das saídas de erro de treinamento plotadas para análise comparativa dos gráficos.

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 tratada 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.

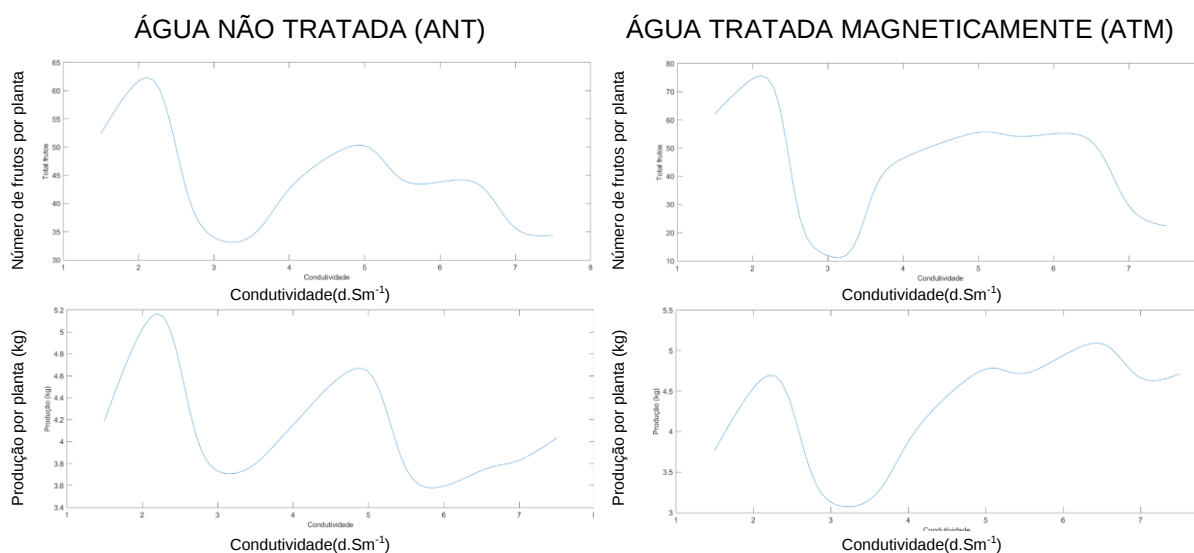


Figura 15 - Resultado de saída do modelo *neuro-fuzzy* para os dados produtivos do tomateiro sob estresse salino

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 hegemonia dos dados levantados no experimento.

Os dois modelos foram capazes de prever 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 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- $p \leq 0,05$). 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	<i>Neuro-fuzzy</i>	Regressão Polinomial	<i>Neuro-fuzzy</i>	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 ($\leq 0,05$) 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.

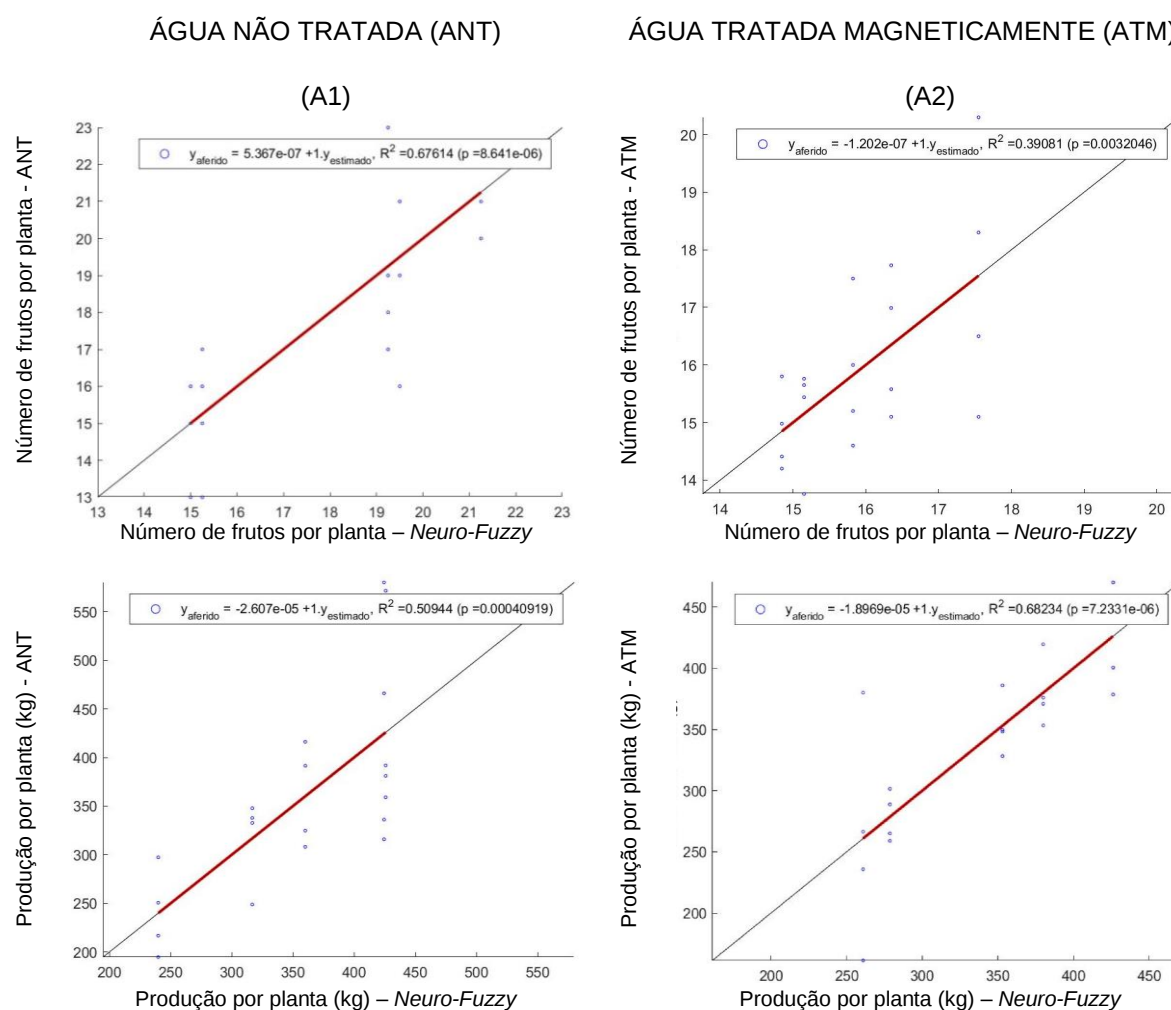


Figura 16 - Comparativo dos índices estatísticos dos modelos ANFIS e da regressão polinomial dos dados biométricos do tomateiro sob estresse salino

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 foram baseados na metodologia do Agrianual (2022), para produção de tomate em estufa. Foi considerado uma estufa 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**. Brasília, 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](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	Quantidade	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 diâmetro	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					
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 Fertilização (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 Agriannual 2022			
Mês/Ano: Agosto/2021					
Produtividade Média:					
DISCRIMINAÇÃO	Valor unitário	Quantidade	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 diâmetro	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					
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