



LARA BEATRIZ RESENDE

**POTENCIALIDADES DAS NANOPARTÍCULAS DE
QUITOSANA NO DÉFICIT HÍDRICO E DURABILIDADE
PÓS-COLHEITA DE GIRASSOL ORNAMENTAL**

**LAVRAS- MG
2024**

LARA BEATRIZ RESENDE

**POTENCIALIDADES DAS NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANA NO
DÉFICIT HÍDRICO E DURABILIDADE PÓS-COLHEITA DE GIRASSOL
ORNAMENTAL**

Dissertação de mestrado apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia/Fisiologia
Vegetal, área de concentração em
Fisiologia Vegetal para a obtenção do
título de mestre.

Prof (a). Dra. Fernanda Carlota Nery
Orientadora

Prof. Dr. Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori
Dra. Lívia Mendes Carvalho
Dr. Luiz Gustavo de Lima Guimarães
Co-orientadores

**LAVRAS – MG
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Resende, Lara Beatriz.

Potencialidades das nanopartículas de quitosana no déficit
hídrico e durabilidade pós-colheita de girassol ornamental : / Lara
Beatriz Resende. - 2024.

73 p. : il.

Orientador(a): Fernanda Carlota Nery.

Coorientador(a): Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori, Livia
Mendes Carvalho, Luiz Gustavo de Lima Guimarães.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Nanopartículas de quitosana Bioestimulante. 2. Girassol
ornamental. 3. Estresse hídrico. I. Nery, Fernanda Carlota. II.
Marchiori, Paulo Eduardo Ribeiro. III. Carvalho, Livia Mendes. IV.

LARA BEATRIZ RESENDE

**POTENCIALIDADES DAS NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANA NO
DÉFICIT HÍDRICO E DURABILIDADE PÓS-COLHEITA DE GIRASSOL
ORNAMENTAL**

**THE POTENTIAL OF CHITOSAN NANOPARTICLES IN WATER DEFICIT
AND POST-HARVEST DURABILITY OF ORNAMENTAL SUNFLOWER**

Dissertação de mestrado apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia/Fisiologia
Vegetal, área de concentração em
Fisiologia Vegetal para a obtenção do
título de mestre.

APROVADA em 26 de agosto de 2024

Dra. Márkilla Zunete Beckmann Cavalcante - UNIVASF

Dr. Willian Rodrigues Macedo - UFSC

Prof (a). Dra. Fernanda Carlota Nery
Orientadora

Prof. Dr. Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori
Dra. Lívia Mendes Carvalho
Dr. Luiz Gustavo de Lima Guimarães
Co-orientadores

**LAVRAS – MG
2024**

À minha mãe, que sempre deu seu melhor por mim,
garantiu minhas oportunidades, meu suporte e força.
Que realize esse sonho através de mim.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é reconhecer a ajuda recebida, e nesse trabalho foram muitas ajudas. Muitas pessoas especiais que fizeram a diferença, que sem elas não seria possível.

Agradeço minha mãe, Suze, que sempre foi minha maior incentivadora, por acreditar em mim e o mestrado fazer literalmente junto comigo, obrigada por ir pro campo comigo todos os dias, ficar no calor da estufa anotando meus dados, digitalizando e muitas outras coisas que nós passamos. Ninguém faria o que você fez e faz sempre por mim. Obrigada!

Meu pai, Paulo César, que mesmo sem entender o que faço, se orgulha, me exhibe e sempre ajuda levando alguma coisa ou inventando alguma ferramenta que eu precisava.

Meu noivo, Diego, que com todas as mudanças da nossa vida, sempre me fez priorizar o mestrado, me deu forças, tantas vezes ficou sem carro para que eu pudesse ir para Lavras e entende os vários dias de dedicação. Obrigada por ser o melhor companheiro de vida.

Agradeço minha orientadora de longa data, Fernanda, que além de orientar, me conhece, sabe das limitações que a vida impõe, mas sempre confiou em mim, me incentivou a fazer tudo que era preciso, acreditou em mim quando disse que ia estudar e trabalhar, e fez tudo pra garantir minhas oportunidades acadêmicas na correria do dia a dia.

Agradeço minha gestora, Carolina, que compreendeu todos os dias em que precisei dedicar ao mestrado, me incentivou, se interessa pelo que faço e flexibilizou minha escala de trabalho. Com outra chefe isso não seria por possível.

Minha amiga, Millena, companheira acadêmica, ouvinte de todas as horas, a pessoa que torna a vida acadêmica mais leve.

A cada pessoa que fez parte de um pedacinho do mestrado. Rafaela, que tanto me ajudou com análises, escritas, e muitas outras coisas. Graciene, com sua positividade sempre que eu chegava no limite, dizia que tudo ia dar jeito e me mostrava o caminho. Ângela, com toda sua simpatia e conhecimento, Mayana e Larissa, pelas trocas, conversas, cumplicidade nas aulas e acolhimento em Lavras. E a todos que ajudaram direta ou indiretamente, a tornar tudo mais leve e possível. Obrigada!

Agradeço ainda as instituições que permitiram tudo isso acontecer, Universidade Federal de Lavras, Universidade Federal de São João Del Rei e Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

Agradeço também à Fapemig pelo suporte financeiro dado a esta pesquisa. E ao projeto “BIORREG MINAS - REDE DE DESENVOLVIMENTO E PESQUISA EM BIORREGULADORES EBIOESTIMULANTES AGRÍCOLAS” (RED-00143-23), ao qual este trabalho está vinculado.

RESUMO

O avanço da nanotecnologia tem expandido significativamente a aplicação de nanomateriais em várias áreas, a fim de garantir melhorias na eficiência e produtividade como no setor do agronegócio. O setor da floricultura, emerge como uma das áreas mais urgentes para tal exploração. A expansão desse setor no Brasil e o aumento da oferta de produtos no mercado indicam que, para se manter no setor, o produtor necessita especializar-se e buscar estratégias para redução do custo de produção e melhoria da qualidade das flores e plantas ornamentais. O girassol é uma cultura com aplicabilidade em diversos setores, o que explica o grande interesse comercial pela espécie, sendo, a floricultura uma das formas de utilização mais comum devido à sua beleza única e ao tamanho das suas flores. Entender o comportamento da cultura é de grande interesse, uma vez que é parâmetro chave para a sobrevivência quando submetidas a fatores adversos. Destaca-se, dessa forma, a importância da adaptação de mudas às condições ambientais adversas, impulsionando a busca por técnicas que possibilitem uma propagação mais rápida e a obtenção de material de alta qualidade. O uso de nanopartículas permitir um processo mais eficiente pois interagem com as plantas em todas as fases do seu ciclo de vida, conferindo proteção contra diversos estresses. Nesta pesquisa buscou-se estudar a aplicação de nanopartículas de quitosana, em plantas de girassol ornamental em situação de estresse hídrico avaliando seus efeitos sobre o crescimento e na durabilidade pós produção das plantas. Como conclusão tem-se que as nanopartículas de quitosana induz respostas benéficas nas plantas de girassol ornamental, como a ativação do sistema antioxidante, aumento dos parâmetros de crescimento e maior acúmulo de biomassa, no entanto, nas concentrações estudadas não se verificou aumento no período de durabilidade das plantas de girassol ornamental.

Palavras chaves: Nanopartículas de quitosana; Bioestimulante; Girassol ornamental; Estresse hídrico.

ABSTRACT

The advancement of nanotechnology has significantly expanded the application of nanomaterials across various fields, aiming to enhance efficiency and productivity, particularly in the agribusiness sector. The ornamental horticulture sector emerges as one of the most pressing areas for such exploration. The expansion of floriculture in Brazil and the increased market supply indicate that, to remain competitive in the sector, producers need to specialize and seek strategies to reduce production costs and improve the quality of flowers and ornamental plants, offering differentiated products. Sunflower is a crop with applicability in various sectors, which explains the great commercial interest in the species, with floriculture being one of the most common uses due to its unique beauty and the size of its flowers. Understanding the behavior of the crop is of great interest, as it is a key parameter for survival when subjected to adverse conditions. Thus, the importance of adapting seedlings to adverse environmental conditions is highlighted, driving the search for techniques that enable faster propagation and the production of high-quality material. The use of nanoparticles allows for a more efficient process, as they interact with plants at all stages of their life cycle, providing protection against various stresses. This research aimed to study the application of chitosan nanoparticles, at appropriate concentrations, in ornamental sunflower plants under water stress, evaluating their effects on plant growth and post-production durability. In conclusion, chitosan nanoparticles induce beneficial responses in ornamental sunflower plants, such as the activation of the antioxidant system, increased growth parameters, and greater biomass accumulation; however, the studied concentrations did not result in an increased durability period of the ornamental sunflower plants.

Keywords: Chitosan nanoparticles; Biostimulant; Ornamental sunflower; Water stress.

INDICADORES DE IMPACTO

O contato das pessoas com plantas ornamentais tem grande influência na sua qualidade de vida, principalmente quando pensamos em saúde mental. O setor de produção de flores ornamentais está em expansão no mercado brasileiro e buscando cada vez mais novas tecnologias que possam otimizar o manejo e prolongar o tempo de vida útil das partes comerciais após a colheita. Sabendo da grande importância econômica desse setor para a economia brasileira e os impactos sociais benéficos proporcionados para a sociedade, esse trabalho busca contribuir com investigações que melhoram e otimizam a floricultura nacional.

O desenvolvimento desse projeto vislumbra a utilização da tecnologia de nanopartículas de quitosana, buscando aumentar a durabilidade da flor após a colheita. Por fim, podemos dizer que esta dissertação possui impacto social, tecnológico e econômico.

IMPACT INDICATORS

The contact of people with ornamental plants has a significant influence on their quality of life, especially when considering mental health. The ornamental flower production sector is expanding in the Brazilian market and is increasingly seeking new technologies to optimize management practices and extend the shelf life of commercial parts after harvest. Aware of the economic importance of this sector for the Brazilian economy and the beneficial social impacts it provides to society, this work aims to contribute to research that improves and optimizes national floriculture. The development of this project envisions the use of chitosan nanoparticle technology to increase the durability of flowers after harvest. Finally, we can say that this dissertation has social, technological, and economic impact.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1-Histograma.....	33
Figura 2- Potencial zeta	34
Figura 3- Germinação das sementes girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i>	35
Figura 4- Estágios fenológicos de desenvolvimento do girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.....	35
Figura 5- Ocorrência de doenças e pragas durante o cultivo de girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i>	37
Figura 6- Avaliações de crescimento semanais ao longo do período de cultivo do girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	38
Figura 7- Teste de médias da análise de crescimento referente ao último dia de avaliação de crescimento nas plantas de girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	39
Figura 8-Registro fotográfico semanal das plantas de girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	40
Figura 9- Acompanhamento diário de temperatura e umidade durante o cultivo de plantas de girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.....	41
Figura 10- Massa fresca foliar, radicular, caulinar e da inflorescência de plantas de girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	42
Figura 11- Massa Seca foliar, radicular, caulinar e da inflorescência de plantas de girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	43
Figura 12- Conteúdo de água de plantas girassol ornamental <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	44
Figura 13- Análises bioquímicas realizadas em plantas de girassol ornamental <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	46

Figura 14- Análise do componente principal (PCA) dos parâmetros bioquímicos avaliados em plantas de girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	47
Figura 15- Taxa fotossintética	48
Figura 16- Teste de médias da avaliação fotossintética referente ao último dia de imposição do déficit hídrico nas plantas de girassol ornamental <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	49
Figura 17- Teores de clorofila a e b referentes ao último dia de imposição do déficit hídrico nas plantas de girassol ornamental <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	50
Figura 18- Matriz de correlação dos parâmetros avaliados de crescimento e biomassa avaliados em plantas de girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	51
Figura 19- Plantas de girassol ornamental após produção em ambiente de laboratório.....	52
Figura 20- Registro fotográfico da análise de durabilidade pós produção das plantas girassol ornamental <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	53
Figura 21- Acompanhamento diário de temperatura e umidade.	54
Figura 22- Avaliações de durabilidade das plantas	55
Figura 23-Queda de lígulas e momento de descarte de plantas de girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i> , no estágio fenológico R4, submetidas às concentrações de nanopartículas de quitosana (0,0; 0,5; 1,5 e 3,0 mg L ⁻¹) e condições hídricas.	57
Figura 24-Conteúdo Relativo de Água (CRA) das lígulas de plantas de girassol ornamental cultivar <i>Helianthus Smiley</i> , no estágio fenológico R4, submetidas às concentrações de nanopartículas de quitosana (0,0; 0,5; 1,5 e 3,0 mg L ⁻¹) e condições hídricas.....	58
Figura 25-Teste de médias do último dia de avaliações do período de durabilidade pós produção das plantas de girassol ornamental <i>Helianthus Smiley</i> sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.	59

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de variância
APX	Ascorbato peroxidase
CAT	Catalase
CDe	Diâmetro externo
CERN	Campo Experimental Risoleta Neves
ChNP	Nanopartículas de quitosana
cm	Centímetros
CO ₂	Dióxido de carbono
CRA	Conteúdo relativo de água
°C	Graus Celsius
DAS	Dias após a semeadura
DCNAT	Departamento de Ciências Naturais
DH	Déficit hídrico
EPAMIG	Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
ICF	Índice de Clorofila Falker
LFPC	Laboratório de Fisiologia de Plantas Cultivadas
MDA	Malonaldeído
MF	Massa fresca
MS	Massa seca
MT	Massa túrgida
mV	Milivolts
NBT	Azul de p-nitro tetrazólio
NH ₂	Grupo amino
NH ₃ ⁺	Quitosana protonados
OH	Hidroxila
PCA	Análise de componentes principais
PO ₄ ³⁻	Grupos fosfato
PVPP	Polivinilpolipirrolidona
R1, R2, etc	Estágio reprodutivo
ROS	Espécies reativas de oxigênio

SOD	Superóxido dismutase
TPP	Ânions tripolifosfato
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UFSJ	Universidade Federal de São João Del Rei
V1, V2, etc	Estágio vegetativo
VE	Vegetativo emergencial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Características da espécie estudada	19
2.2 Nanomateriais na agricultura.....	21
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 Obtenção das sementes e plantio	23
3.2 Síntese e Caracterização das Nanopartículas de Quitosana (ChNP).....	24
3.3 Aplicação dos Tratamentos: Estresse hídrico x Nanopartícula de quitosana.	25
3.4 Aplicação das nanopartículas de quitosana (ChNP)	26
3.5 Aplicação dos níveis de restrição hídrica.....	26
3.6 Avaliações de crescimento das plantas	27
3.7 Avaliações bioquímicas	27
3.6.1 Peroxidação lipídica.....	28
3.6.2 Peroxidase do Ascorbato	28
3.6.3 Catalase.....	28
3.6.4 Superóxido Dismutase	28
3.8 Medições das trocas gasosas	29
3.10 Conteúdo de Água.....	30
3.11 Avaliações de qualidade e durabilidade pós produção	30
3.12 Análise estatística.....	32
4 RESULTADOS	32
4.1 Caracterização das nanopartículas de quitosana	32
4.2 Semeadura e Plantio das plantas de girassol.....	34
4.3 Avaliações de crescimento das plantas	37
4.4 Avaliações bioquímicas	44
4.5 Medições de trocas gasosas	47

4.6 Quantificação de clorofila <i>a</i> e <i>b</i>	49
4.7 Avaliações de durabilidade das plantas pós produção	51
5 DISCUSSÃO	59
6 CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

As alterações constantes no clima, temperatura e época de chuvas têm preocupado diversos setores que são diretamente afetados pelas mudanças climáticas. Um desses setores é a produção agrícola, que sofre com estresses abióticos oriundos dessa realidade. Nesse sentido, as mudanças climáticas trazem efeitos negativos, aumentando a vulnerabilidade da produção agrícola, especialmente no que diz respeito à produção vegetal. Essa vulnerabilidade está associada às pressões exercidas pelas condições climáticas sobre o desenvolvimento e a produtividade das espécies vegetais (RAMOS et al., 2022).

Nesse contexto, todas as culturas estão sujeitas às adversidades causadas pelas mudanças climáticas e carecem de informação e métodos capazes de mitigar os efeitos deletérios e garantir a produção. O girassol, por exemplo, é uma cultura muito apreciada pelas diversas aplicações, que vão desde óleo essencial até o uso das sementes para alimentação humana e ração animal, biorremediação, produção de biodiesel e utilização ornamental, devido à beleza e ao tamanho das suas flores.

No Brasil, a atividade comercial de floricultura é um setor dinâmico e promissor, e tem sua cadeia produtiva segmentada principalmente em três setores: plantas ornamentais para paisagismo e jardinagem (42%), flores e folhagens de corte (34%), e flores e plantas envasadas (24%) (JUNQUEIRA & PEETZ, 2018). Neste universo, o girassol ornamental é caracterizado com alto potencial e grande aceitação, sendo comercializado tanto como flor de corte quanto em vasos. Para garantir a qualidade em arranjos florais ou como flor de vaso, é essencial obter flores de boa qualidade livres de danos e duradouras (DA SILVA et al., 2021).

O estudo das consequências do estresse hídrico associado com a nanotecnologia no cultivo de girassol ornamental de vaso pode ser uma alternativa para superar os efeitos negativos causados por essa realidade. Nesse sentido, a cultivar *Helianthus Smiley* é um girassol naturalmente compacto para produção em vasos de tamanho reduzido (1,0 L). Essa cultivar requer pouca ou nenhuma aplicação de regulador de crescimento. Suas flores não possuem pólen e tem excelente formação de pétalas, além de alta uniformidade de colheita em um ciclo de 55 a 60 dias. Essa cultivar se torna um objeto de estudo interessante por ser uma variedade de vaso recém-introduzida no mercado e por apresentar pequeno porte.

A influência da restrição hídrica na produção do girassol manifesta-se por meio da diminuição da taxa fotossintética, resultante da limitação estomática (CHEN et al., 2023). Além disso, outras consequências foram observadas, como diminuição da biomassa aérea, redução da taxa respiratória e da condutância estomática (KIANI et al., 2016; CHEN et al.

2023). Outros estudos também evidenciaram variações na absorção e distribuição de nutrientes em diferentes partes das plantas sob condições de restrição hídrica, em comparação com a irrigação normal (SAUDY e EL-METWALL, 2019; EL-METWALLY e SAUDY, 2021).

Em respostas as perturbações causadas pelo déficit hídrico, tem-se estudado a utilização de bioestimulantes como alternativa sustentável para a mitigação dos efeitos deletérios em plantas expostas a restrição hídrica. O uso dessa alternativa tem apresentado resultados de melhora no desempenho de processos fisiológicos, como fotossíntese, eficiência do uso da água, acúmulo de biomassa, produção de frutos, teor de água (HERNÁNDEZ-FIGUEROA, et al., 2022; ANASTACIO-ANGEL, et al., 2024).

Os bioestimulantes são substâncias ou microrganismos que estimulam o crescimento vegetal e podem ser divididos em diferentes categorias: ácidos húmicos e fúlvicos; hidrolisados de proteínas e outros compostos nitrogenados; extratos de algas e botânicos; quitosana e outros biopolímeros; compostos inorgânicos; fungos benéficos e bactérias benéficas. Contudo há uma variação de classificação de acordo com a legislação de cada país. No Brasil, o termo bioestimulante não existe na legislação de forma específica para o emprego da nanotecnologia, contudo algumas substâncias como substâncias húmicas, aminoácidos e extrato de algas são regulamentados pela legislação de fertilizantes, sendo classificados como biofertilizantes (DU JARDIN, 2015).

Posteriormente em 2020, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), lançou o Programa Nacional de Bioinsumos que define os bioestimulantes, de modo geral, como “produto que contém substância natural com diferentes composições, concentrações e proporções, que pode ser aplicado diretamente nas plantas, nas sementes e no solo, com a finalidade de incrementar a produção, melhorar a qualidade de sementes, estimular o desenvolvimento radicular, favorecer o equilíbrio hormonal da planta e a germinação mais rápida e uniforme, interferir no desenvolvimento vegetal, estimular a divisão, a diferenciação e o alongamento celular, incluídos os processos e as tecnologias derivados do bioestimulante”. O setor de bioestimulantes tem crescido bastante, tanto em questões comerciais, com o mercado avaliado em 2,5 bilhões de dólares em 2019, quanto pelo interesse científico na área (FORTUNE BUSINESS INSIGHTS, 2019).

Assim sendo, a quitosana se encaixa no contexto de bioestimulante por ser uma substância natural caracterizada por sua não toxicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade e natureza policatiônica, além de apresentar alta atividade biológica (DIVYA & JISHA, 2018, STASIŃSKA-JAKUBAS., et al. 2022). Associando esse conceito e

utilização da quitosana com o campo da nanotecnologia tem-se a nanopartícula de quitosana (ChNP) como biopolímero com amplo potencial de aplicação na produção vegetal.

A utilização de biofertilizantes em escala nanométrica é um nicho promissor e emergente que combina a nanotecnologia com a biotecnologia para melhorar o crescimento das plantas e a produtividade agrícola. A nanotecnologia incorpora conhecimentos de física, química e outras disciplinas para diminuir o tamanho das partículas e assim o novo material em escala nano apresenta tamanho reduzido entre 1 e 100 nm, o que pode oferecer uma melhor relação superfície-volume e características exclusivas que não podem ser encontradas em seus equivalentes em massa (SHIVASHAKARAPPA et al., 2022). Portanto apresenta características morfológicas únicas devido ao tamanho reduzido e à alta reatividade superficial. As nanopartículas oferecem maior eficácia e menor toxicidade, tornando-se uma alternativa eficiente para a proteção de culturas e produção, em comparação com as técnicas tradicionais (ASHRAF et al., 2022).

O uso das ChNP tem sido relatado como capaz de mitigar os efeitos do estresse hídrico. Em cultivares como *Phaseolus Vulgaris* L. (DASHTMIAN et al., 2023), *Salvia abrotanoides* (ATTARAN DOWOM et al., 2022), Rosa híbrida (SEYED HAJIZADEH et al., 2023) e *Spinacia oleracea* (ZHANG et al. 2019). Observa-se aumento na expressão do sistema antioxidante em comparação com o controle, resultando na diminuição de diversos parâmetros bioquímicos. Em rosa ornamental, o uso de ChNP induziu o metabolismo de defesa antioxidante, reduziu os níveis de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e malonaldeído (MDA), preservando a integridade de membranas. Além disso, houve aumento no conteúdo fenólico total, flavonóides e atividades enzimáticas, sugerindo que ChNP são promissoras no cultivo de plantas ornamentais de vaso (SEYED HAJIZADEH et al., 2023).

Desse modo, a utilização de ChNP oferece expectativas promissoras para combater os efeitos deletérios da restrição hídrica na cultura do girassol ornamental. Essa associação entre as características das nanopartículas e as propriedades da quitosana pode resultar na produção de flores de qualidade, além de conceituar as nanopartículas de quitosana como bioestimulantes com base na ação fisiológica benéfica e não prejudicial no tecido vegetal, embasando novas definições cabíveis para o conceito de bioestimulantes no Brasil.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o crescimento, as trocas gasosas, o teor de pigmentos fotossintéticos, a peroxidação lipídica, a atividade enzimática antioxidante e a qualidade e durabilidade pós produção de plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* sob condições de estresse hídrico, quando submetidas a aplicação de ChNP, a fim de obter flores de alta qualidade e durabilidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Características da espécie estudada

A floricultura no país é uma atividade agrícola que apresenta elevada rentabilidade e massivo uso de mão de obra, sendo em média, 3,8 trabalhadores por hectare, como resultado da produção atual proveniente de 15.600 hectares de flores e plantas ornamentais, o que representa 8% da produção mundial. Todo esse impacto foi refletido como 19,9 bilhões de reais no PIB do Brasil no ano passado, correspondendo à 8% de crescimento de 2022 para 2023 (IBRAFLOR, 2024).

Tendo em vista, a abrangência da floricultura no país e o potencial para exportação, é necessário o desenvolvimento de tecnologia sustentáveis que auxiliem a produção. Nesse sentido, o girassol torna-se uma excelente escolha para a produção de flores de corte e de vaso por sua beleza e atratividade (DA SILVA et al., 2021). Sua adaptabilidade e apelo visual tornam-no uma opção popular entre os produtores e consumidores, agregando charme e encanto a qualquer ambiente (DE MEDEIROS; LUZ, 2021).

De nome científico *Helianthus annuus L.*, o girassol, popularmente conhecido, é uma planta dicotiledónea anual nativa da América do Norte pertencente a ordem Asterales e família Asteraceae. A planta pode atingir até 3,0 metros de altura, sua estrutura pode apresentar uma única haste ou múltiplas hastes, e suas pétalas são geralmente de tonalidades variadas de amarelo, embora exista algumas cultivares que varia tons de vermelho ou até mesmo uma combinação de ambas as cores (LEITE et al., 2005).

Essa espécie possui um sistema radicular pivotante que se desenvolve rapidamente, podendo atingir até quatro metros em solos arenosos. A inflorescência é do tipo capítulo, formada pela diferenciação na gema apical, com diâmetro variando de 6 a 40 cm, dependendo da cultivar e das condições ambientais (GAZZOLA et al., 2012).

Nesse estudo foi utilizado o girassol ornamental de vaso cultivar *Helianthus Smiley*. Essa variedade é uma flor muito apreciada na decoração, devido às suas pétalas de coloração amarela brilhante, com miolo escuro, que proporcionam um excelente contraste. Seu tamanho é naturalmente compacto para produção em vaso, possui altura em torno de 15- 20 cm, é possível cultivá-lo durante o ano todo, pois apresenta ótimo desenvolvimento tanto em dias curtos, quanto em dias longos, caracterizando ser uma planta neutra ao fotoperíodo, além de ser uma variedade precoce com ciclo de cerca de 60 dias. Ele não apresenta a produção de pólen, o que resulta em maior durabilidade no uso ornamental, além disso, apresenta alta uniformidade de colheita. Apresenta susceptibilidade às pragas e doenças como mosca minadora e míldio, (TAKII SEED, 2024).

O girassol *Smiley*, é uma cultivar de grande interesse comercial por possuir características desejadas pelos consumidores, como potencial de cultivo em espaços delimitados, altura menor que 30 centímetros, diâmetro da inflorescência relevante e ciclo curto (Braga et al., 2010). Tais características evitam a necessidade de aplicação de reguladores de crescimento, além de diminuir os custos para a execução de estudos. Além disso, vem se observando, nos últimos, anos uma escolha crescente pelas flores e plantas envasadas, em detrimento de demais produtos como as flores de corte. Essa tendência pode ser explicada pelas várias vantagens que o produto apresenta como a sua durabilidade, a melhor relação custo-benefício e sua praticidade (ALMEIDA et al., 2021).

O girassol demonstra capacidade de aclimação a solos e climas diversos, isso tem relação com o sistema radicular extenso, o que permite alcançar água e nutrientes de porções mais distantes do solo (DE SOUSA FERREIRA et al., 2023). Essa característica confere a essa espécie uma notável adaptabilidade diante de uma variedade de condições edafoclimáticas. Apesar desses atributos, períodos prolongados de deficiência de água têm o potencial de impactar adversamente seu desempenho agrônomo, como mencionado por Castro e Farias (2005). Estudos mostram que o crescimento e o desenvolvimento da cultura do girassol são fortemente influenciados por estresses abióticos (SILVA; NASCIMENTO, 2019).

O estresse hídrico afeta de diferentes formas dependendo do tipo de planta e do período de duração as quais foram submetidas ao estresse, porém os efeitos são vistos no crescimento vegetal, redução das atividades fisiológicas atrapalhando etapas como a inibição da fotossíntese, expansão radicular resultando em plantas menores e mais fracas e outros, em casos extremos a falta de água no solo pode levar a morte da planta, já que a escassez causa os fechamentos dos estômatos em forma de defesa, para que haja redução da transpiração, mudanças anatômicas, alteração fotossintética e murchamento da folha (DE MORAES CAMPOS et al., 2021).

Além disso, esse tipo de estresse provoca o acúmulo de Espécies Reativas de Oxigênio (ROS), as quais desencadeiam o estresse oxidativo. Essas espécies podem interferir no metabolismo celular, causando danos oxidativos nos lipídios, proteínas e ácidos nucleicos. Adicionalmente, podem até levar à deterioração oxidativa das células (DE SOUZA et al., 2023).

Esse panorama de desequilíbrio celular, tende a aumentar, em função das mudanças climáticas que afetam as culturas agrícolas em virtude dos padrões irregulares de chuva (De BRITO et al., 2022), situação que, acompanhada de altas temperaturas, altas taxas de

evaporação e alta competição pelos recursos hídricos (ARAÚJO., 2015), causam situações recorrentes e intensas de estresses hídrico nas plantas. Além do uso exacerbado de fertilizantes e pesticidas com o objetivo de corrigir deficiências na produção que acabam sendo carregados pela drenagem e contribuindo para a salinização do solo (BARRADAS et al., 2015).

A identificação de genótipos produtivos que também exibam maior tolerância à seca combinada com a implementação de práticas adequadas de manejo da cultura nessas circunstâncias, poderia potencialmente expandir significativamente a produção de girassol em regiões caracterizadas por períodos prolongados de escassez hídrica. Isso é particularmente relevante em áreas onde muitas outras culturas enfrentam desafios de desenvolvimento devido à restrição hídrica. Nesse contexto, é necessário buscar alternativas capazes de mitigar os efeitos do estresse hídrico para a produção vegetal (LI et al., 2017; RAMOS et al., 2022; ABOU SEEDA et al., 2022).

2.2 Nanomateriais na agricultura

A busca por ferramentas que auxiliem na produção vegetal tem ganhado destaque no campo dos nanomateriais. Nesse contexto, uma das estratégias atuais para melhorar a tolerância ao estresse biótico ou abiótico das culturas é a aplicação de moléculas naturais bioestimulantes (HERNÁNDEZ-FIGUEROA, et al., 2022; ANASTACIO-ANGEL, et al., 2024). As nanopartículas são resultado da manipulação da matéria para escala nanométrica, onde exibem características físicas, químicas e biológicas, dependentes do tamanho e estrutura devido a efeitos quânticos e à alta reatividade superficial, que são únicas em comparação com suas partículas em maior escala (STRAMBEAN et al., 2014). Elas têm sido empregadas nos campos agrícola e biológico para aprimorar a produtividade das plantas (HASSAN et al., 2014; SONG et al., 2016; TOKATLI E DEMIRDOVEN, 2020). Além de minimizarem o estresse de espécies reativas de oxigênio (ROS) através da ativação do sistema antioxidante enzimático (WAHID et al., 2022).

Dentre as nanopartículas existentes, a utilização da quitosana em escala nano possui efetividade em diversos campos biológicos, incluindo a agricultura, graças aos seus grupos amina e hidroxila (-OH), que conferem comportamento nucleofílico e disponibilidade para várias reações químicas (BALUSAMY et al., 2022).

O termo quitosana denota um grupo de substâncias biopolímeras obtidas no processo de desacetilação parcial, química ou enzimática, da quitina (STASIŃSKA-JAKUBAS., et al. 2022). É considerada o segundo biopolímero encontrado de forma natural mais abundante depois da celulose (HIDANGMAYUM et al., 2019). Apesar de ocorrer naturalmente nas

cutículas de insetos, bem como, nas paredes celulares de alguns fungos, bactérias e algas, a quitosana para uso industrial e laboratorial é obtida a partir da quitina derivada principalmente das conchas de invertebrados marinhos que são resíduos da indústria de processamento de alimentos marinhos (STASIŃSKA-JAKUBAS et al., 2022). O aumento no uso da quitosana é uma solução ecológica para a poluição causada pela indústria de processamento de frutos do mar (DIVYA & JISHA, 2018).

O amplo potencial da quitosana ocorre em função, principalmente, da sua não toxicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade e natureza policatiônica, bem como alta atividade biológica (DIVYA & JISHA, 2018, STASIŃSKA-JAKUBAS et al., 2022). Embora não faça parte da estrutura dos tecidos vegetais, a quitosana aumenta a eficácia das plantas para reduzir o efeito deletério de condições desfavoráveis, bem como no crescimento e na produção das plantas (KATIYAR et al., 2015).

Vários tipos de reações fisiológicas nas plantas são iniciados e regulados pela quitosana, por exemplo, regulação de processos metabólicos e defesa e respostas imunes (HIDANGMAYUM et al., 2019). Ela também exibe fortes propriedades antibacterianas, antifúngicas e antivirais e demonstra ainda ter atividade antioxidante, por meio neutralização de espécies reativas de oxigênio (ROS) como radicais ânion superóxido, radicais hidroxila livres e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (STASIŃSKA-JAKUBAS et al., 2022). Além disso, está envolvida em interações de grupos hidroxila e amina com íons metálicos, resultando em quelatação de metais, adsorção e troca iônica (DIVYA & JISHA, 2018).

A quitosana pode afetar as respostas fisiológicas de imunidade vegetal e mecanismos de defesa que envolvem várias enzimas, como fenilalanina amônio liase, polifenol oxidase, tirosina amônia liase e enzimas antioxidantes, atividades superóxido dismutase, catalase e peróxido contra condições adversas (Katiyar et al., 2015). A pulverização de plantas com uma solução de lactato de quitosana aumentou a atividade de catalase e guaiacol peroxidase em *Ocimum basilicum* e ascorbato peroxidase em *Melissa officinalis* (HAWRYLAK-NOWAK et al., 2021).

Pesquisas indicam que a quitosana pode induzir a síntese de H_2O_2 em células vegetais como uma molécula sinalizadora em reações de defesa ao estresse e aumentar a atividade de superóxido dismutase, peroxidases e catalase, ou seja, enzimas envolvidas na neutralização direta de ROS (KATIYAR et al., 2015).

Plantas de *Trifolium repens* tratados com quitosana exógena apresentaram melhora no crescimento, síntese de clorofila, acúmulo de metabólicos específicos e resistência a seca, além de demonstrarem diminuição nos processos de desidratação, senescência foliar e

desequilíbrio metabólico que são comuns em condições de escassez hídrica (LI et al., 2017).

As dimensões reduzidas da molécula de quitosana e a ampla área superficial das nanopartículas conferem a elas uma eficácia superior quando comparadas à forma maciça da quitosana (DIVYA E JISHA, 2018). Elas possuem propriedades únicas em comparação com suas equivalentes em escala maior justamente pela diminuição da dimensão para o nível atômico. Isso provoca mudança nas propriedades dos materiais quando estão em escala nanométrica (DIVYA E JISHA, 2018).

Quando estão em escala maior, as propriedades dos materiais são relativamente constantes independentemente do tamanho, mas à medida que o tamanho diminui, a porcentagem de átomos de superfície em comparação com o material em massa aumenta. Isso provoca propriedades únicas das nanopartículas em função do aumento da razão entre área e superfície de contato (GUPTA et al., 2007).

As nanopartículas de quitosana possuem as características da quitosana e as propriedades das nanopartículas, como efeito de superfície e interface, tamanho pequeno e efeitos de tamanho quântico (INGLE et al., 2008). Sendo dessa forma uma ferramenta promissora no controle de estresses abióticos em plantas.

Dessa forma, vislumbrou-se estudar a eficiência da bioestimulação com nanopartículas de quitosana no reparo aos efeitos do estresse hídrico e durabilidade pós-colheita de plantas de girassol ornamental, submetidas a condições de estresse hídrico.

3 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Campo Experimental Risoleta Neves (CERN) da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), localizada em São João Del Rei-MG (coordenadas geográficas 21°05'11" S e 44°13'35" W, altitude de 950 m), no Laboratório de Fisiologia e Biotecnologia Vegetal, Departamento de Biotecnologia, Campus Dom Bosco, Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ) e no Laboratório de Fisiologia de Plantas Cultivadas (LFPC), Departamento de Biologia, Instituto de Ciências Naturais, Setor de Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Lavras (UFLA).

A síntese e caracterização das nanopartículas foram realizadas no Laboratório de Biomateriais, Departamento De Ciências Naturais (DCNAT) na Universidade Federal de São João Del Rei.

3.1 Obtenção das sementes e plantio

As sementes de girassol ornamental cultivar *Smiley* foram obtidas comercialmente. A semeadura foi realizada em duas bandejas de isopor com 200 células de medidas 3,1 x 3,1 x

5,5 (cm) utilizando o substrato comercial Carolina Soil® e mantidas em casa de vegetação, com temperatura e umidade controladas, e irrigação diária. Foi feito o acompanhamento do estágio fenológico das plantas do plantio até a pós-colheita, por meio da escala fenológica para a espécie proposta por Castiglioni et al., 1994, onde é padronizado de cada novo par de folhas como novo estágio fenológico vegetativo e o aparecimento do botão floral como início do período reprodutivo. Desse modo foi considerado os seguintes marcos de desenvolvimento: estágio VE, vegetativo emergencial, com a germinação e folhas cotiledonares; V1, vegetativo com um par de folhas verdadeiras, V2, V3...Vn, de acordo com número de folhas verdadeiras; R1, início do estágio reprodutivo com aparecimento do botão floral e R4 como ponto ideal de colheita, quando a inflorescência forma 90° de abertura em relação à haste.

O trabalho foi conduzido entre dezembro a fevereiro, quando as temperaturas se encontravam alta, sendo dentro da estufa por volta de 45 °C. Doze dias após a semeadura foi feito o transplantio para vasos de 1L. As mudas com dois pares de folhas, ou seja, no estágio fenológico V2, foram transplantadas para vasos de 1 L contendo substrato comercial BioPlant® e seguiram mantidas em bancada na casa de vegetação, a qual possuía sombrite ao redor e toldo de policarbonato para o teto. Durante o período de experimentação, foi mantido o acompanhamento diário de irrigação, temperatura “graus/dia” e umidade relativa por meio de um termohigrógrafo, até o ponto de comercialização, em cerca de 40 DAS. Esse estágio de desenvolvimento é definido pelo estágio fenológico R4, onde a abertura floral forma um ângulo de 90° com a haste, como descrito na escala fenológica da Phenoglad (SCHWAB et al., 2015). Em seguida, as plantas foram transportadas para uma sala com temperatura ambiente durante o período de pós colheita.

Para auxiliar no desenvolvimento das plantas foi feita adubação no substrato e aplicada nas plantas aos 19 dias após a semeadura (DAS). Foi utilizada a adubação proposta por Malavolta (1980) adaptada, utilizando-se das seguintes doses: micronutrientes (1,5 g L⁻¹), krista sol (1,44 g L⁻¹), Mg-EDTA (0,34 g L⁻¹), MAP (2,47 g L⁻¹) e ureia (2,75 g L⁻¹).

Aos 21 dias após a semeadura e devido à ocorrência de pragas e doenças houve a necessidade de aplicação de fungicida e herbicida, obtidos comercialmente, sendo aplicado via foliar o fungicida Piori Top® na dose de 1,5 mL L⁻¹. 24 dias após a semeadura, foram observadas a presença intensa de mosca minadora e tripses nas plantas, fazendo-se necessária a aplicação via foliar de óleo de Neem Bioneen® a 1,0 mL L⁻¹.

3.2 Síntese e Caracterização das Nanopartículas de Quitosana (ChNP)

Para síntese das nanopartículas de quitosana seguiu-se a metodologia descrita por Divya et al. (2018). O nanomaterial (ChNP) foi preparado usando geleificação iônica de

quitosana de baixa massa molar (grau de desacetilação de 75-85% e massa molar de 50.000-190.000, marca Sigma Aldrich®) com ânions tripolifosfato (TPP) (ANITHA et al., 2009).

A primeira etapa envolveu a preparação do biopolímero de quitosana. Inicialmente pesou-se 3,0 g de quitosana e dissolveu em 300 mL de solução de ácido acético 1% (v/v) sob agitação magnética de 1000 rpm e em temperatura ambiente (agitador marca IKA® C-MAG, modelo HS-7) por 24 horas. Em seguida, a solução foi colocada em diálise (membrana de 14000 MWCO) utilizando água Milli-Q® por 3 dias consecutivos. Após, a solução da quitosana foi congelada e liofilizada em liofilizador marca Liotop, modelo L101.

Em seguida para a etapa de formação das nanopartículas (ChNP), foi adicionando 0,1g de quitosana protonada em 100 mL de água destilada e deixada sobre agitação por 24h. Após esse período, a solução mantida sob agitação foi adicionada lentamente 10 mL de uma solução de 0,1% de TPP. Em seguida o material resultante foi congelado e secado no liofilizador e posteriormente armazenado em temperatura ambiente até a dissolução novamente em água e aplicação nas plantas. Foram preparadas as soluções nas concentrações de 0,0; 0,5; 1,5 e 3,0 mg L⁻¹, que consistiram em 4 tratamentos e tendo como controle a água pura (0,0 mg L⁻¹).

A caracterização das nanopartículas foi feita realizando as medidas de distribuição de tamanho das partículas em um analisador de partículas modelo DelsaNano C, da Beckman Coulter. Para a análise, 30 mg do material foi disperso em 3 mL de uma solução de ácido acético 1% (v/v). As medidas de distribuição de tamanho foram realizadas na temperatura de 25 °C.

3.3 Aplicação dos Tratamentos: Estresse hídrico x Nanopartícula de quitosana

Foi empregado o delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP): 0,0 (controle com água); 0,5; 1,5 e 3,0 mg mL⁻¹ e dois níveis de estresse hídrico [sem déficit hídrico (SEM) e com déficit hídrico (DH)]. Cada um dos 8 tratamentos constituiu de 19 repetições, totalizando 152 vasos, distribuídos em 19 blocos. Foi padronizado uma planta por vaso, uma inflorescência por haste, e desbaste dos brotos laterais.

Dessa maneira, os tratamentos foram descritos da seguinte maneira: T1; T2; T3; T4: ampla disponibilidade hídrica e aplicação via foliar de ChNP nas concentrações de 0,0; 0,5; 1,5 e 3,0 mg mL⁻¹ respectivamente. E, o restante dos tratamentos foram, T6; T7; T8, T9: déficit hídrico (DH) e aplicação ChNP nas concentrações de 0,0; 0,5; 1,5; 3,0 mg mL⁻¹ respectivamente.

Das 19 repetições de cada tratamento, dez foram destinadas as avaliações ao final do experimento de durabilidade pós produção, cinco plantas foram destinadas para avaliações de crescimento semanais, pelo decaimento de CO₂ medido durante a restrição hídrica, medição do teor de clorofila e, por último, foram utilizadas na mensuração da matéria seca no ponto de comercialização (R4). As quatro plantas restantes foram utilizadas para análises enzimáticas, quando atingiram o ponto de comercialização (R4).

3.4 Aplicação das nanopartículas de quitosana (ChNP)

A aplicação das nanopartículas para cada concentração foi realizada em duas aplicações: a primeira aplicação foi realizada com as plantas com 3 pares de folhas, que correspondeu a 17 dias após a semeadura (DAS), sendo aplicado nesse momento 4 mL de cada tratamento nas folhas em ambas as faces adaxial e abaxial, de modo a obter o molhamento completo da parte aérea, que nesse estágio de desenvolvimento apresentava folhas com cerca de 4 cm de comprimento. Na segunda aplicação foram aplicados 15 mL por planta pois ela já se apresentavam com tamanho maior que na primeira aplicação. Novamente, foi aplicado em ambas as faces das folhas e as plantas se encontravam em estágio fenológico R1 (marcado pelo aparecimento do botão floral do girassol), aos 30 DAS, com folhas de comprimento aproximado de 6 centímetros de comprimento. Foram testadas as concentrações propostas acima de 0,0, 0,5, 1,5 e 3,0 mg L⁻¹ ChNP.

O volume utilizado de solução foi padronizado por meio de um pré-teste para calcular a quantidade de ChNP necessária para aplicação nas faces abaxial e adaxial de todas as folhas por meio de um borrifador. Para tanto, foi utilizada uma planta de tamanho semelhante ao das plantas de girassol nos dois momentos de aplicação o que gerou os valores de 4mL e 15mL respectivamente nas aplicações.

3.5 Aplicação dos níveis de restrição hídrica

A restrição hídrica foi estabelecida com o regime de 60% de disponibilidade ideal de água nas plantas com DH e cerca de 90% nas plantas sem DH (MOSTAFA et al., 2021; MOSTAFA & AFIFY, 2022; HATEM et al., 2022). Para o cálculo da quantidade de água correspondente a esses valores, foi calculada a capacidade retenção de água do vaso para a manutenção de irrigação adequada. O cálculo foi feito da seguinte maneira, inicialmente pesou-se um vaso cheio, irrigado com 100 mL, para obter a saturação hídrica. Após 24h foi pesado novamente, e feita a diferença entre o peso anterior e novo, verificando assim qual era a quantidade de água da capacidade de retenção do substrato utilizado, ou seja, a quantidade de água necessária para manter o vaso irrigado de um dia para o outro, sendo esse valor

considerado como cerca da 90% da disponibilidade ideal de irrigação. Em seguida, por meio de uma equação para conversão a partir dos 90% foi calculado também os 60% de disponibilidade hídrica para os tratamentos com DH. A partir do transplantio foi mantida a irrigação diária com o volume definido de capacidade retenção de água (90%) pela manhã em todos os tratamentos até o período de restrição hídrica, quando os tratamentos T5; T6; T7 e T8 (todos com DH) passaram a receber 60% da irrigação por um período de 4 dias e em seguida foram reidratados.

A imposição do déficit hídrico (DH) aconteceu logo após a segunda aplicação de ChNP, iniciando aos 31 DAS, por um período de 4 dias, no início do período reprodutivo (R1). Logo ao final do primeiro dia de DH, algumas plantas se apresentaram levemente murchas e assim seguiu-se até o final do período de 4 dias. Posteriormente foi feita a reidratação, a partir do quinto dia até o final do experimento.

3.6 Avaliações de crescimento das plantas

As avaliações de crescimento foram realizadas a cada 7 dias após o transplantio, ocorrendo dessa forma aos 14, 21, 28, 35 e 42 DAS. Foi avaliado o número de folhas, área foliar (cm²), medindo a largura do ponto médio do limbo e comprimento da base ao fim do limbo, com auxílio de uma régua, em seguida foi feita a multiplicação dos valores. Também foi medida a altura da planta (cm) com uma régua e o diâmetro do caule (cm).

Quando as plantas atingiram o ponto de comercialização, ou seja, o estágio fenológico R4, definido quando a inflorescência atinge a abertura floral em um ângulo de 90° com a haste, 50 plantas foram submetidas às avaliações de determinação de massa seca (MS). Para isso, as plantas (cinco plantas por tratamento) coletadas foram fracionadas em folhas, caule, raiz e inflorescência. Cada parte foi pesada, colocadas em sacos de papel kraft e mantidas em estufa de secagem com circulação forçada de ar à 65 °C durante 7 dias até a obtenção do peso constante.

3.7 Avaliações bioquímicas

Para as análises bioquímicas foram utilizadas 40 plantas no total, sendo 4 plantas por tratamento. Sendo analisados os seguintes marcadores enzimáticos: peróxido de hidrogênio (H₂O₂), peroxidação lipídica (MDA) e atividade das enzimas ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD), seguindo os seguintes procedimentos:

3.6.1 Peroxidação lipídica

Para a quantificação da peroxidação lipídica foi utilizado o método do ácido tiobarbitúrico, de acordo com o que foi descrito por Heath e Packer (1968) e modificado com Peixoto e colaboradores (1999). Para tanto, 200 mg de massa fresca de cada uma das amostras vegetais foram maceradas na presença de nitrogênio líquido e PVPP. Em seguida, o resultante foi homogeneizado em 1 mL de TCA 1% (v/v) e centrifugado a 12000 g por 15 min a 4 °C. Logo após, foi retirada a alíquota de 500 µL do sobrenadante e o mesmo será pipetado em 2 mL de meio de reação composto por ácido tiobarbitúrico 0,5% e TCA 20%. Após esta mistura, ambos foram mantidos em banho maria a 95 °C durante 30 min e, rapidamente, colocados em banho com gelo após este tempo, visando a paralisação da reação. Em seguida, as amostras foram lidas em espectrofotômetro a 535 e 600 nm. Através de cálculos específicos a peroxidação lipídica pode ser estimada.

3.6.2 Peroxidase do Ascorbato

A atividade da Peroxidase do Ascorbato (APX) foi determinada de acordo com a metodologia proposta no trabalho de Nakano e Asada (1981), com modificações. O meio de reação foi composto por uma solução de tampão fosfato de potássio (100 mM, pH 7) acrescida de ácido ascórbico 0,5 mM e peróxido de hidrogênio 0,1 mM, e, a este, adicionados 100 µL do extrato enzimático bruto, totalizando um volume final de 1 mL. Com base na taxa de oxidação do ascorbato a cada 15s, durante 3 min, a atividade da enzima foi determinada. A leitura ocorreu no comprimento de onda de 290 nm em espectrofotômetro.

3.6.3 Catalase

A enzima catalase (CAT) teve sua atividade determinada conforme o trabalho de Havir e McHale (1987), com o coeficiente de extinção molar de $36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, sugerido por Anderson; Prasad e Stewart (1995). Para tanto, houve a adição de 100 µL do extrato enzimático bruto a 2,9 mL de meio de reação constituído de H_2O_2 12,5 mM em tampão de fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0, a 30 °C (HAVIR; MCHALE, 1987). A atividade enzimática foi determinada pela estimativa do consumo de H_2O_2 , considerando o decréscimo na absorbância a 240 nm.

3.6.4 Superóxido Dismutase

A atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD) foi determinada conforme Del Longo e colaboradores (1993), sendo uma unidade de SOD corresponde à quantidade de enzima que promove 50% de inibição na fotorredução do azul de p-nitro tetrazólio (NBT) (Beauchamp; Fridovich, 1971). À mistura de reação constituída de metionina 13 mM, NBT

75 µM, EDTA 100 mM e riboflavina 2 µM, em tampão de fosfato de sódio 50 mM, pH 7,8, adicionar-se-á 100 µL do extrato enzimático bruto. A reação foi conduzida a 25 °C numa câmara de reação sob a iluminação de uma lâmpada fluorescente de 15 W, mantida no interior de uma caixa coberta com papel alumínio. A reação foi iniciada pelo ligamento da lâmpada fluorescente e, após 4 minutos, interrompida pelo desligamento da mesma. A produção de formazana azul, resultante da fotorredução do NBT, foi medida pela determinação do incremento na absorbância a 560 nm, subtraído do controle, no qual a mistura de reação será mantida no escuro.

3.8 Medições das trocas gasosas

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas durante os últimos três dias seguidos do período de restrição hídrica, utilizando 5 plantas por tratamento. Com o auxílio do analisador portátil de CO₂ modelo SBA 5, foi medida a taxa líquida de assimilação de CO₂. As medições foram realizadas entre as 10h e o meio dia (12h) de cada dia de avaliação, buscando o período de maior taxa fotossintética diária. Por padronização foi utilizada a folha 5 de cada planta, contada da base ao ápice, ou seja, da folha mais antiga para a mais recente, considerada completamente expandida, utilizando desse modo a folha inteira dentro da câmara de medição de CO₂.

Através do decaimento do CO₂ a fotossíntese foi calculada através da equação 1 (MITCHEL,1992).

$$\text{Equação 1: } A = \frac{C1-C2}{(T2-T1)*V1/L}$$

Onde A: fotossíntese (µmol m⁻² s⁻¹); C1: CO₂ inicial (µmol CO₂ mol⁻¹ ar); C2 CO₂ final (µmol CO₂ mol⁻¹ ar); T1: Tempo inicial(s); T2 Tempo final (s); V: volume da câmara (m³); L: área foliar (m²). A fotossíntese foi corrigida para uma temperatura de 25 °C segundo a equação 2 (COLLATZ et al., 1992).

$$\text{Equação 2: } \frac{V_{\max} Q_{10}^{\frac{T_l-25}{10}}}{(1 + e^{0.3(13-T_l)})(1 + e^{0.3(T_l-36)})};$$

3.9 Quantificação de pigmentos fotossintéticos: clorofila a e b

Para determinação dos teores de pigmentos, foram utilizadas 5 plantas por tratamento, foi utilizado o aparelho medidor eletrônico de teor de clorofila, ClorofiLog, modelo CFL1030 da Falker, que mede o índice adimensional de clorofila identificada na área analisada pelo equipamento. Nesse caso, o Índice de Clorofila Falker (ICF) que considera os teores de clorofila dos tipos A e B, possível pela combinação dos comprimentos de onda de luz analisados na área ativa de recepção de 9 mm².

3.10 Conteúdo de Água

Foi medido o conteúdo de água das partes das plantas, folha, caule, raiz e inflorescência seguindo a metodologia de Weatherley (1950). Foram retiradas seis amostras de discos foliares com aproximadamente 0,5 cm de diâmetro. Os discos foram pesados para a determinação do peso da massa fresca e em seguida, os mesmos foram colocados em placas de Petri, imersos em água deionizada.

Após 24h, foram novamente pesados para a obtenção do peso da massa túrgida e, logo depois acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada de ar a 65 °C para determinação do peso da massa seca. A partir dos pesos da matéria fresca (PF), matéria túrgida (PT) e matéria seca (PS), foi calculado o conteúdo de água de acordo com a fórmula Conteúdo de Água= $[(PF - PS) / (PT - PS)] \times 100$.

3.11 Avaliações de qualidade e durabilidade pós produção

Inicialmente, quando as plantas atingiram o estágio fenológico R4, ou o ponto de comercialização, com cerca de 43 DAS, foram feitas as avaliações de qualidade e durabilidade pós-colheita.

Além disso, durante a floração foi realizado o monitoramento das inflorescências verificando o aspecto visual e durabilidade das mesmas.

O período de avaliações pós-colheita ocorreu em uma sala climatizada, com temperatura controlada de ± 28 °C; os vasos foram acondicionados em uma bancada, dispostos na posição vertical e irrigados diariamente com 55 mL (capacidade retenção de água calculado anteriormente). Para tal etapa, 10 plantas de cada tratamento foram transferidas da estufa de produção para a sala quando atingiram o estágio fenológico R4, onde a inflorescência forma 90° de abertura em relação à haste. Esse é o ponto ideal de colheita.

Para essa etapa, as flores no ponto de comercialização foram levadas para a sala, passaram por uma limpeza superficial para retirada de folhas mortas e velhas, foram avaliadas

quanto a presença de pragas e doenças e por fim identificadas. A partir de então, foram avaliadas de acordo com os parâmetros descritos abaixo sempre no mesmo horário.

Diariamente foram registrados os dados de temperatura e umidade da sala com uso de um termo-higrômetro digital. As variações na coloração das lígulas foram medidas por meio do aparelho colorímetro de espectrofotômetro digital fotográfico portátil modelo NR60CP, capaz de medir a intensidade da cor, por meio dos parâmetros “L, A e B” e o aspecto visual foi classificado por meio de uma escala de notas. Além disso, foi feito o registro fotográfico.

O diâmetro externo (CDe) do capítulo foi mensurado com um paquímetro digital para a avaliação de abertura floral, medindo a inflorescência na mesma posição, sempre da extremidade de uma lígula a outra mais distante respeitando o diâmetro da circunferência.

As análises visuais de qualidade foram realizadas por meio da escala de notas, seguindo a metodologia estabelecida pelo Grupo de Pesquisa em Floricultura - EPAMIG (dados a serem publicados), variando de um a cinco que avalia a longevidade das hastes florais. Sendo assim as notas foram descritas por meio das seguintes características: cor, flores verdadeiras, inclinação da haste e turgidez.

A nota 4 é considerada excelente, indica máxima qualidade das plantas, ponto fisiológico é R5, apresenta cor amarelo vibrante, sem manchas ou lesões, as lígulas possuem brilho característico, as flores verdadeiras da inflorescência estão no máximo 30% abertas, a haste se encontra para cima ou no máximo em 90° em relação ao vaso, e o parâmetro turgidez não apresenta sinais de murchas nas lígulas e folhas.

Nota 3 é considerada como boa, sendo o limite aceitável para comercialização da planta. A cor é amarelo vibrante, sem manchas ou lesões, com leve perda de brilho, as flores verdadeiras da inflorescência estão cerca de 60% abertas. A haste se encontra para cima ou no máximo em 90° em relação ao vaso, e o parâmetro turgidez não apresenta sinais de murchas nas lígulas e folhas.

Já nota 2 é considerada regular, sendo o limite aceitável para a exposição da planta. A cor se caracteriza por amarelo com perda de brilho, poucas manchas ou lesões. As flores verdadeiras apresentam mais de 60% de abertura, já com a presença de pólen, ausente nas notas superiores. A turgidez apresenta agora leve sintoma de murcha nas lígulas e/ou folhas.

Por fim, a nota 1 indica descarte. Apresenta queda acentuada de lígulas, a cor se torna amarelo mais escuro ou marrom claro, com manchas e lesões, perda do brilho. As flores verdadeiras estão 100% abertas, com presença de pólen, e escurecimento do capítulo como um todo. A haste apresenta inclinação maior que 90° em relação ao vaso. E a turgidez mostra a maior parte das lígulas e folhas murchas ou secas.

Além desses aspectos avaliados, foi feito acompanhamento descritivo, com as alterações percebidas ao longo do tempo.

3.12 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi um esquema fatorial duplo, sendo o primeiro fator as nanopartículas, e o segundo fator o déficit hídrico, sendo 4 concentrações de quitosana x 2 condições hídricas (com e sem DH), resultando no fatorial 4x2, com 8 tratamentos, cada um com 19 repetições para cada tratamento, sendo a quantidade mínima necessária para as avaliações que foram feitas sem desperdícios de sementes. Os vasos foram dispostos de forma aleatória nas bancadas por meio de um sorteio prévio dos blocos.

Os dados foram analisados na linguagem de programação R. Para tanto, foram utilizadas técnicas de análise de variância (ANOVA), análise de componentes principais (PCA) e uma matriz de correlação múltipla. A ANOVA foi realizada no modelo two-way considerando-se um *p*-valor menor ou igual a 0,05, como significativo, sendo os fatores representados pelas concentrações de nanopartícula e a presença ou ausência de déficit hídrico, além da interação entre eles. As comparações de médias, quando significativo o *p*-valor de ANOVA, foram realizadas pelo teste de Tukey, também considerando-se *p*-valor $\leq$ 0,05. A normalidade dos resíduos das ANOVAs foi checada utilizando-se gráficos de probabilidade do tipo Q-Q plot. A PCA foi realizada considerando-se apenas os dados do metabolismo antioxidativo, sendo que estes foram previamente centralizados e normalizados. A correlação de Pearson foi empregada na construção da matriz de correlação múltipla. Somente correlações significativas tem seu valor de r^2 nesta última, considerando-se *p*-valor $\leq$ 0,05.

4 RESULTADOS

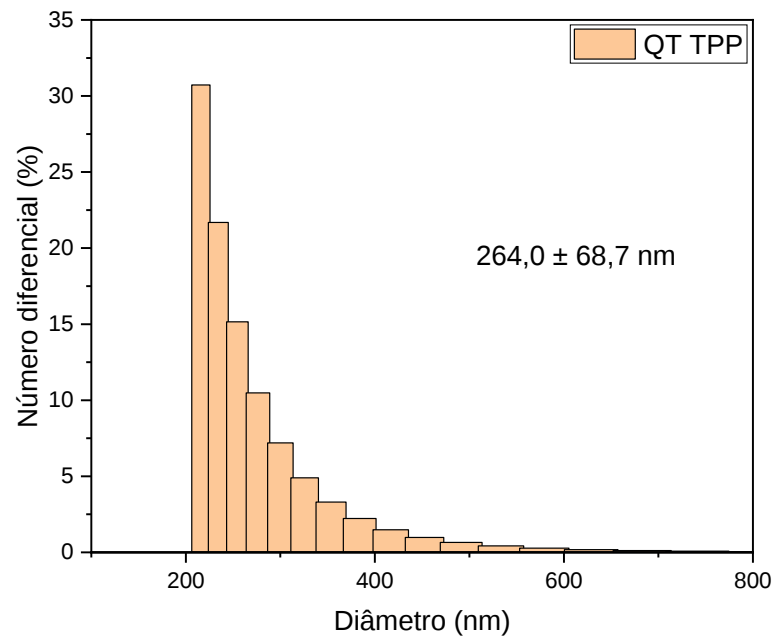
4.1 Caracterização das nanopartículas de quitosana

A etapa de caracterização e a análise da estabilidade das nanopartículas é importante para avaliar a forma como as ChNP agem na planta, uma vez que podem apresentar respostas diferentes nos tecidos em função do tamanho das mesmas (BEKMUKHAMETOVA et al., 2022).

Foram identificadas a dimensão das nanopartículas de quitosana (Figura 1), e o potencial zeta (Figura 2). A partir dessas análises foi caracterizado que o material produzido possui diâmetro da partícula de 264.0 nm. Para a determinação do potencial zeta obteve-se valor de -57,26 mV (milivolts), o que indica estabilidade da nanopartícula, garantindo assim a

dispersão estável ao longo do tempo e evita a aglomeração de partículas (VOLD, 1982; Murali et al., 2017; Lunardi et al., 2020).

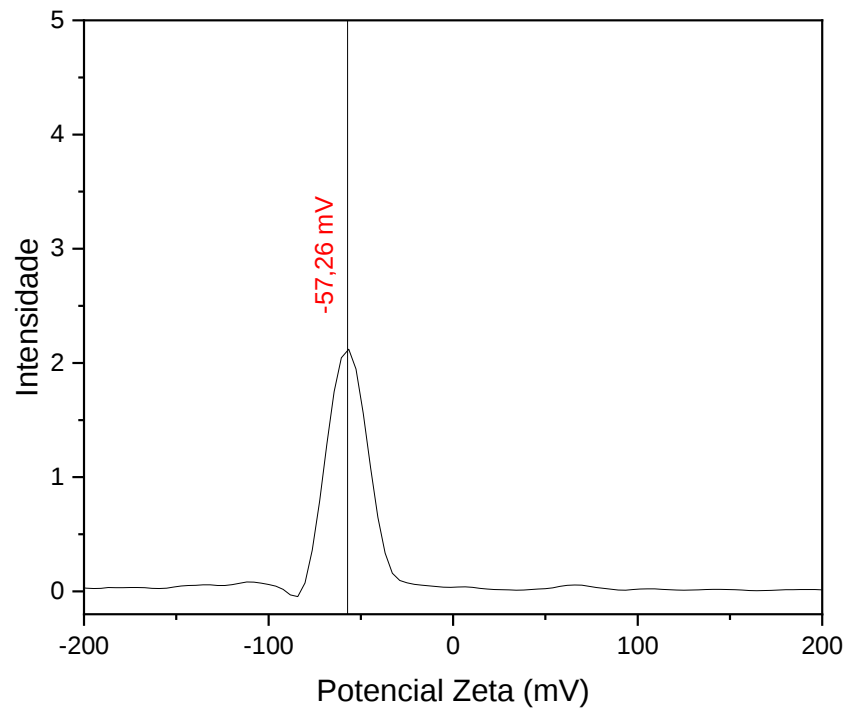
Figura 1-Histograma



Histograma da distribuição de tamanhos das nanopartículas de quitosana na solução sintetizada.

Fonte: Do autor

Figura 2- Potencial zeta



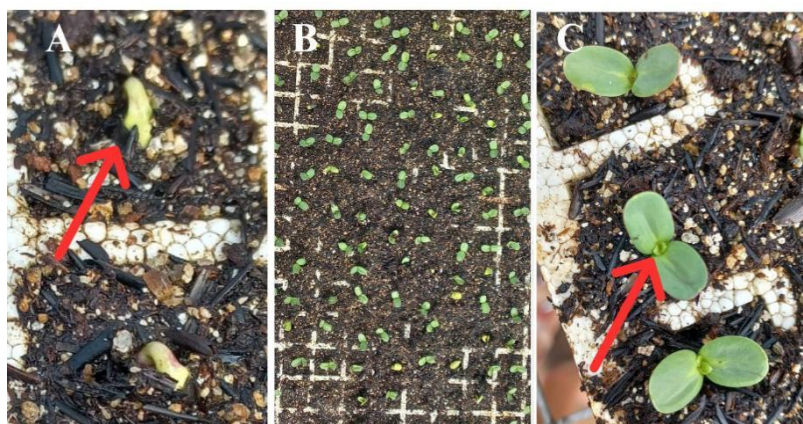
Potencial zeta das nanopartículas de quitosana na solução sintetizada.

Fonte: Do autor

4.2 Semeadura e Plantio das plantas de girassol

O cultivo durou cerca de 43 dias o ponto de colheita, seguido de 10 dias do período de avaliação de durabilidade pós-colheita. A porcentagem de germinação das sementes foi de 95%, tendo como critério a emergência das plântulas e a expansão do hipocótilo aos 2 DAS (Figura 3A) e posteriormente a formação de folhas cotiledonares (Figura 3B) e primórdios foliares aos 5 DAS (Figura 3C).

Figura 3- Germinação das sementes girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley*.



(A) Emergência das plântulas de girassol, marcadas pelo aparecimento do hipocótilo indicado pela seta vermelha. (B) Folhas cotiledonares expandidas. (C) Primórdios foliares marcando o início da fase vegetativa R1 indicado pela seta vermelha.

Fonte: Do autor

O desenvolvimento fenológico das plantas ao longo do tempo, mostrou uniformidade da cultura principalmente nos estágios iniciais. Como demonstrando na figura 3A, trata-se do período de emergência (VE), seguindo dos estágios de desenvolvimento vegetativo, com x pares de folhas verdadeiras, (V1, V2, ... VN) (Figura 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 4F), até o estágio reprodutivo, R1 marcado pelo aparecimento do botão floral (Figura 4G), seguido do estágio R4 (Figura 4H).

Figura 4- Estágios fenológicos de desenvolvimento do girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.



(A) Estágio fenológico V1 com o aparecimento de 1 par de folhas verdadeiras acima das folhas cotiledonares. (B, C, D, E e F) Estágios fenológicos de desenvolvimento R2, R3, R4, R5 e R6, respectivamente, evidenciados pela presença de 2, 3, 4, 5 e 6 pares de folhas verdadeiras. (G) Estágio fenológico R1 evidenciado pelo aparecimento do botão floral indicado pela seta em vermelho, marcando o início da fase reprodutiva. (H) Estágio fenológico R4 marcado abertura de 90° da inflorescência em relação à haste, definindo o ponto de comercialização ou início do período de durabilidade pós produção.

Fonte: Do autor

O estágio VE ocorreu 2 DAS perdurando cerca de 3 dias até o desenvolvimento completo das folhas cotiledonares. Os 5 DAS, foi marcado o período V1 com o aparecimento de um par de folhas verdadeiras. Em seguida, V2, caracterizou os 11 DAS. Logo após, V3 aconteceu cerca de 15 DAS, seguido de V4 aos 19 DAS, V5 aos 22 DAS, e V6 com cerca de 25 DAS.

Esse estágio fenológico de desenvolvimento (V6) foi o último estágio vegetativo, logo após foi observado o aparecimento do botão floral, que registra o início do ciclo reprodutivo, a partir desse momento, as plantas foram acompanhadas quanto ao dia exato de R1 até o momento R4 (Tabela 1). As plantas entraram em R1 em média entre os 25 a 30 DAS e em R4 a aproximadamente de 37 a 42 DAS. Logo após, iniciou-se a avaliação da durabilidade das flores envasadas, por um período de 10 dias.

Tabela 1. Durabilidade em dias após a semeadura

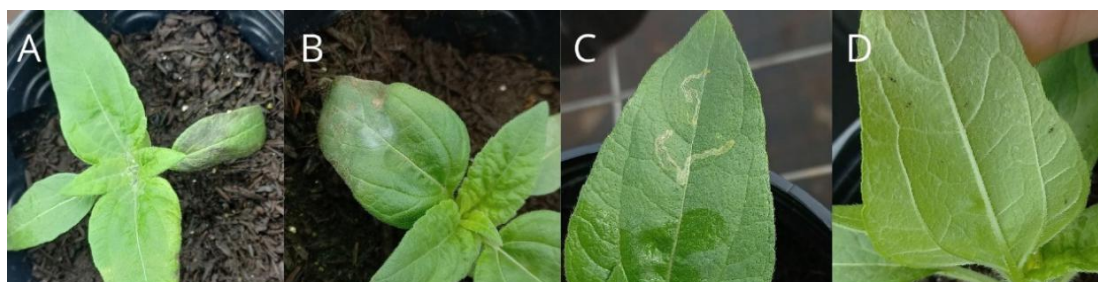
Tratamentos	Estágio fenológico de desenvolvimento e dias após a semeadura para atingir tal estágio fenológico										
	VE	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Primeira planta em R1	Última planta em R1	Primeira planta em R4	Última planta em R4
T1: ChNP 0,0 mg L ⁻¹	2	9	11	15	19	22	25	26	29	40	42
T2: ChNP 0,5 mg L ⁻¹								26	29	39 ³	42
T3: ChNP 1,5 mg L ⁻¹								25	29	37 ³	42
T4: ChNP 3,0 mg L ⁻¹								26	29	39 ³	42
T5: DH ChNP 0,0 mg L ⁻¹								26	31	39 ³	43
T6: DH ChNP 0,5 mg L ⁻¹								26 ²	29	39 ³	42
T7: DH ChNP 1,5 mg L ⁻¹								26 ²	35	39 ³	53
T8: DH ChNP 3,0 mg L ⁻¹								26 ²	29	39 ³	42

Durabilidade em dias após a semeadura de cada estágio fenológico das plantas de girassol ornamental submetidas à diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.

Fonte: Do autor

A adubação feita resultou em plantas com aspectos saudáveis e com amplo crescimento. Posteriormente, a ação do fungicida e herbicida também tiveram resultado satisfatórios combatendo a presença de alternaria, míldio, mosca minadora e tripses (Figura 5A, 5B, 5C e 5D).

Figura 5- Ocorrência de doenças e pragas durante o cultivo de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley*



(A) Alternária. (B) Míldio. (C) Mosca minadora. (D) Tripes.

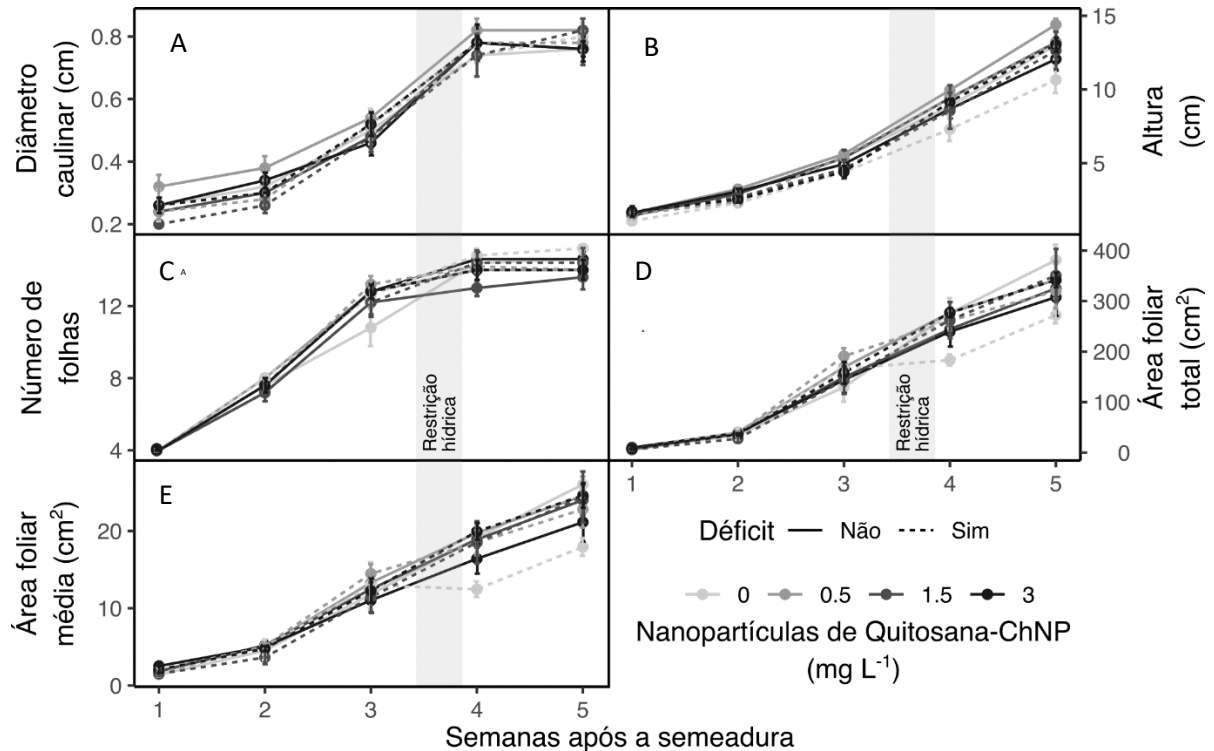
Fonte: Do autor

4.3 Avaliações de crescimento das plantas

As avaliações de crescimento resultaram em cinco semanas de avaliação e os dados obtidos foram analisados estatisticamente (Figura 6, 7 e 8). Quando se avalia os parâmetros de crescimento no último dia de avaliação não foi verificada diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto, pode-se observar ao longo do tempo que para o diâmetro do caule e altura da planta no tratamento sem restrição hídrica e ChNP 0,5 mg L⁻¹ foram obtidos maiores valores médios no período, comparado aos demais tratamentos e as plantas sob estresse hídrico e sem a aplicação de ChNP notou-se valores inferiores em altura e área foliar (Figura 6).

Esses resultados ficam evidentes a partir do período de DH, antes desse momento as variáveis avaliadas se apresentaram de maneira muito próximas entre os tratamentos testados.

Figura 6- Avaliações de crescimento semanais ao longo do período de cultivo do girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.

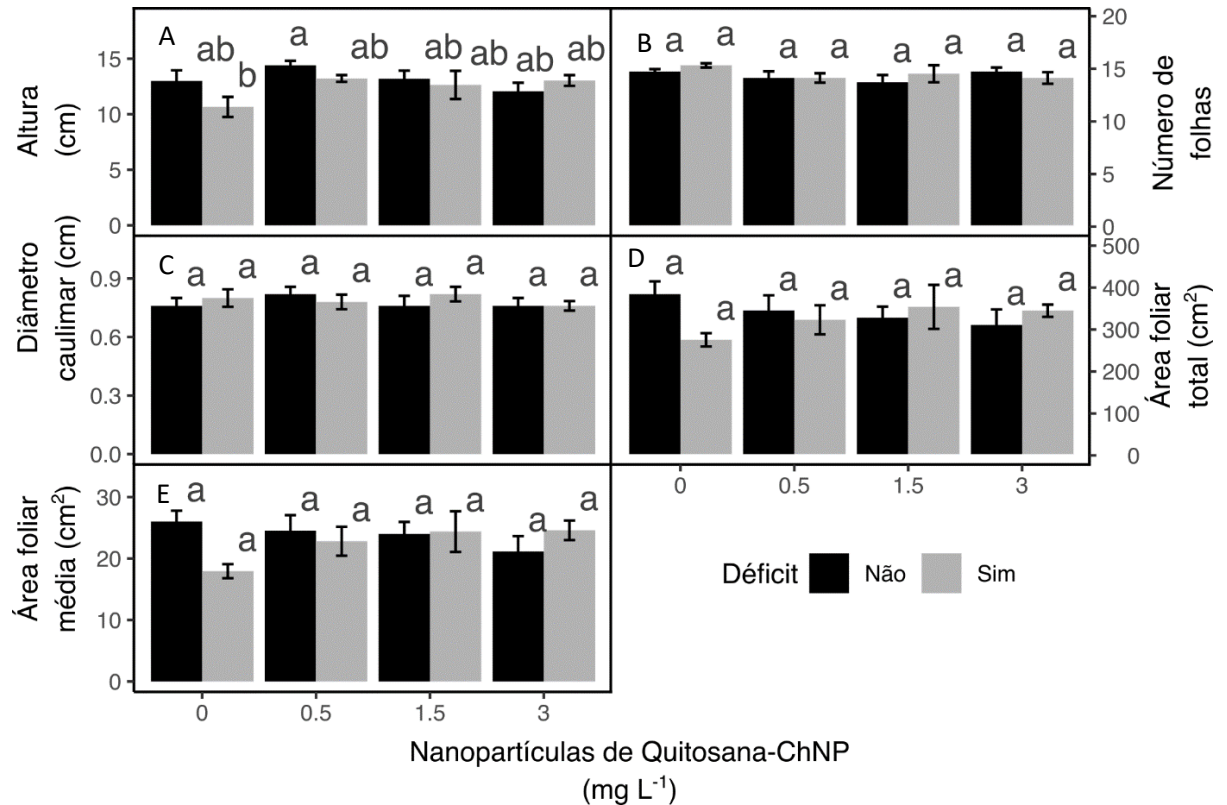


Análise de crescimento, em que (A) diâmetro caulinar (cm), (B) altura (cm), (C) números de folhas, (D) área foliar total (cm²) e (E) área foliar média (cm²). As linhas contínuas representam as plantas sem estresse hídrico e as linhas tracejadas representam as plantas com estresse hídrico. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor

Além dos resultados ao longo do tempo, foi realizado o teste de médias do último dia de avaliação dos parâmetros de crescimento (Figura 7). Condizendo com o resultado ao longo do tempo, havendo diferença estatística significativa no tratamento sem restrição hídrica e ChNP 0,5 mg L⁻¹ para a altura da planta, com valores superiores quando comparado às plantas no tratamento sob estresse hídrico e sem a aplicação de ChNP.

Figura 7- Teste de médias da análise de crescimento referente ao último dia de avaliação de crescimento nas plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.



Análise de crescimento, em que (A) Altura, (B) Número de folhas, (C) Diâmetro caulinar, (D) Área Foliar, (E) Área Foliar Média. As colunas pretas representam as plantas sem estresse hídrico e as colunas cinzas representam as plantas com estresse hídrico. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras diferentes indicam valores significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Fonte: Do autor

O registro fotográfico também é resultado do acompanhamento do desenvolvimento dos estágios fenológicos e das avaliações semanais de crescimento durante o cultivo de girassol ornamental *Helianthus Smiley* (Figura 8).

Figura 8- Registro fotográfico semanal das plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.

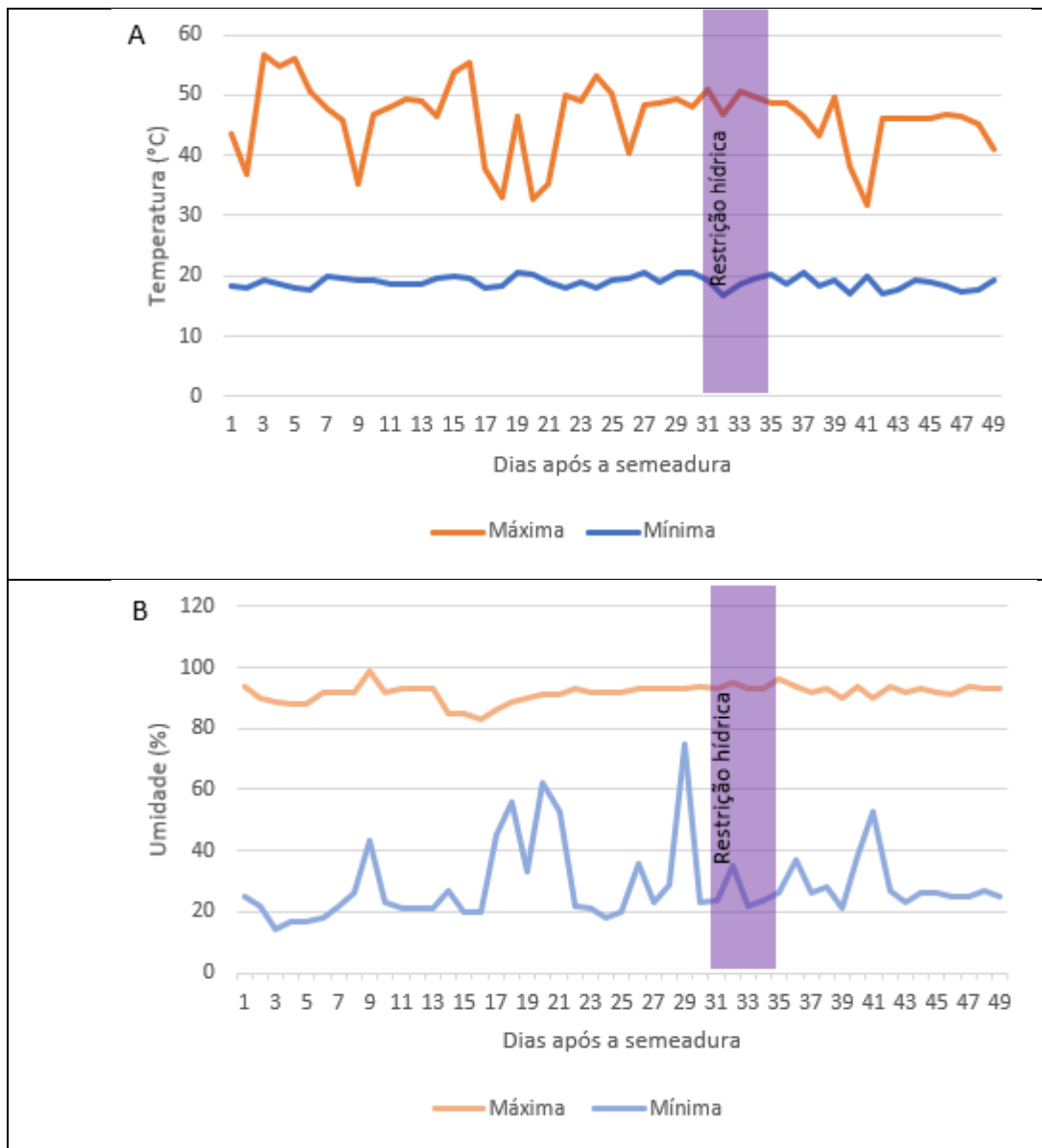


Acompanhamento fotográfico semanal onde, no eixo horizontal estão os tratamentos (A) T1: ChNP 0,0 mg L⁻¹, (B) T2: ChNP 0,5 mg L⁻¹, (C) T3: ChNP 1,5 mg L⁻¹, (D) T4: ChNP 3,0 mg L⁻¹, (E) T5: DH ChNP 0,0 mg L⁻¹, (F) T6:DH ChNP 0,5 mg L⁻¹, (G) T7: DH ChNP 1,5 mg L⁻¹, (H) T8:DH ChNP 3,0 mg L⁻¹. E no eixo vertical são as semanas de acompanhamento, (1) semana um, (2) semana dois, (3) semana três, (4) semana quatro, (5) semana cinco de cada tratamento.

Fonte: Do autor

A temperatura e umidade foram mensuradas diariamente durante o cultivo (Figura 9). Como resultado, a média da temperatura máxima foi de 46,9 °C e a mínima foi de 19 °C. A umidade máxima apresentou como média máxima 92% e mínima de 25%.

Figura 9- Acompanhamento diário de temperatura e umidade durante o cultivo de plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.



(A) Temperatura em graus Celsius (°C) por dias após a semeadura em laranja temperatura máxima e em azul temperatura mínima. (B) Umidade (%) por dias após a semeadura em laranja umidade máxima e em azul umidade mínima.

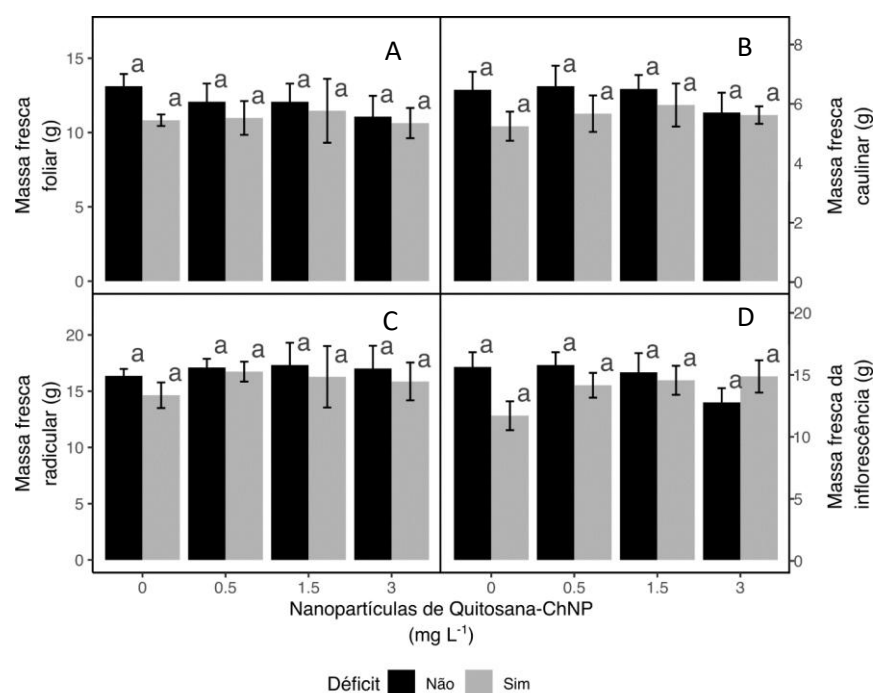
Fonte: Do autor

Quanto à avaliação de biomassa das plantas, avaliou-se o peso fresco e seco da raiz, caule, folhas e inflorescência nas plantas ao final do período de formação da inflorescência, o

estágio fenológico R4, considerado o ponto de comercialização das plantas de girassol ornamental (Figura 4H).

Não houveram diferenças significativas entre os tratamentos em nenhum parâmetro quando avaliados os dados de peso fresco para todas as partes da planta, caule, folhas e inflorescência (Figura 10). No entanto, no parâmetro peso seco, houve diferença significativa nas plantas sob déficit hídrico e sem aplicação de ChNP, as quais apresentaram o menor valor de massa seca no caule, enquanto as plantas sob DH e com aplicação de ChNP 1,5 mg L⁻¹ apresentaram o maior acúmulo de biomassa no caule (Figura 11). Ainda sobre o peso seco, o resultado das raízes notou-se diferença significativa entre as plantas irrigadas e sob déficit hídrico, as plantas sob restrição hídrica apresentaram menor peso seco das raízes, ou seja, menor acúmulo de biomassa nas raízes (Figura 11).

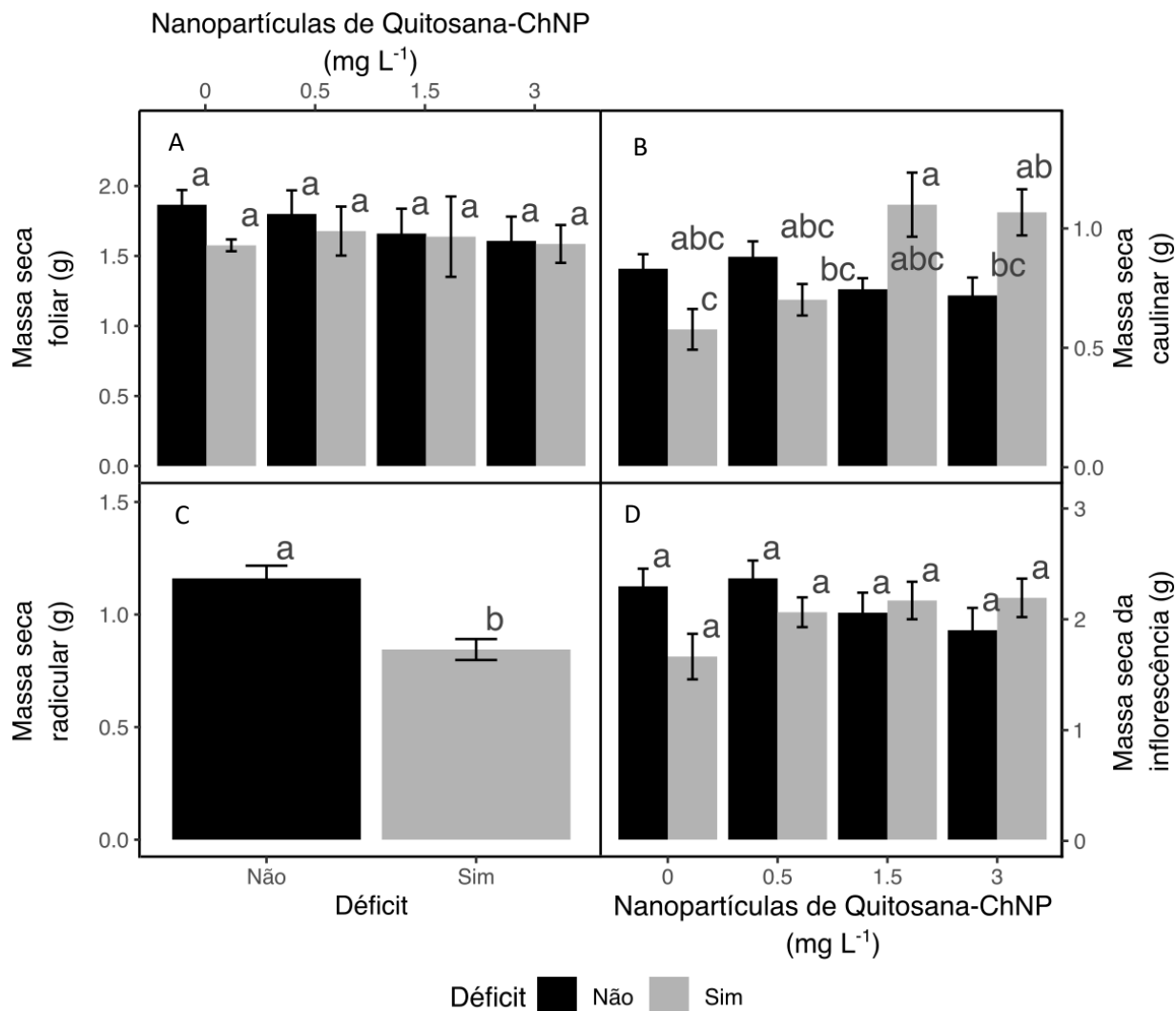
Figura 10- Massa fresca foliar, radicular, caulinar e da inflorescência de plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.



Peso fresco de plantas de girassol ornamental *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas, onde (A) massa fresca foliar, (B) massa fresca caulinar, (C) massa fresca radicular, (D) massa fresca da inflorescência. As colunas pretas representam as plantas sem estresse hídrico e as colunas cinzas representam as plantas com estresse hídrico. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras diferentes indicam valores significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Fonte: Do autor

Figura 11- Massa Seca foliar, radicular, caulinar e da inflorescência de plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.



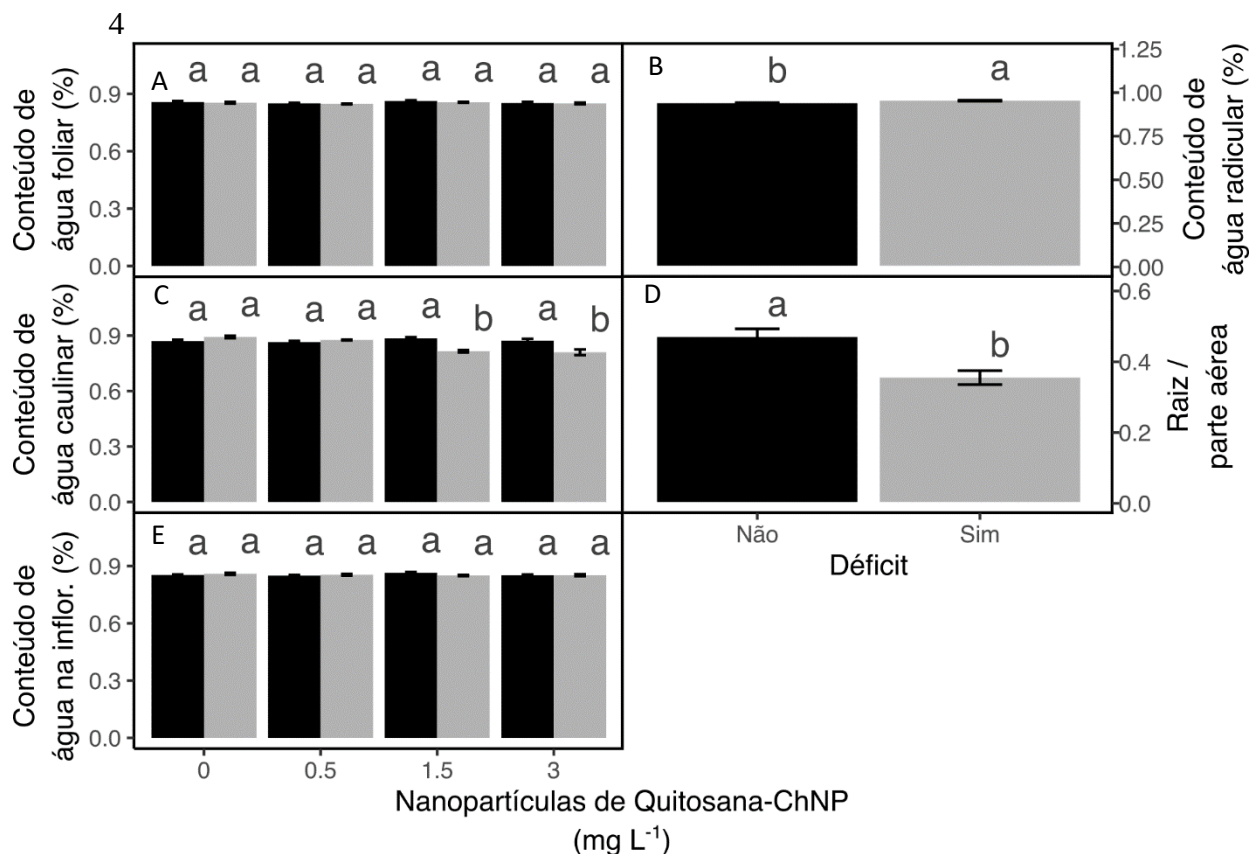
Peso seco de plantas de girassol ornamental *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas, onde (A) massa seca foliar, (B) massa seca caulinar, (C) massa seca radicular, (D) massa seca da inflorescência. As colunas pretas representam as plantas sem estresse hídrico e as colunas cinzas representam as plantas com estresse hídrico. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras diferentes indicam valores significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Fonte: Do autor.

Como resultado do conteúdo de água das partes das plantas, folha, caule, raiz e inflorescência e a relação entre raiz e parte aérea, foi visto que na folha e na inflorescência não houve diferença estatística (Figura 12). No caule, houve diferença no DH nas concentrações de 1,5 e 3,0 mg L⁻¹ de ChNP. Na raiz e em condições hídricas houve um aumento no conteúdo de água quando comparada as plantas estressadas. Quando calculado a

razão raiz e parte aérea houve diferença em relação à condição hídrica, com valores inferiores nas plantas estressadas.

Figura 12- Conteúdo de água de plantas girassol ornamental *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.



Conteúdo de água de plantas de girassol ornamental *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas, onde (A) conteúdo de água foliar (%), (B) conteúdo de água radicular (%), (C) conteúdo de água caulinar (%), (D) conteúdo de água da relação raiz e parte aérea, (E) conteúdo de água na inflorescência (%). As colunas pretas representam as plantas sem estresse hídrico e as colunas cinzas representam as plantas com estresse hídrico. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras diferentes indicam valores significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Fonte: Do autor.

4.4 Avaliações bioquímicas

As avaliações bioquímicas foram realizadas ao final do experimento, no estágio fenológico R4, sendo quantificado o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), peroxidação lipídica (MDA) e atividade das enzimas ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD). Os dados obtidos estão demonstrados na Figura 13.

Para análise de quantificação do peróxido de hidrogênio (Figura 13A) não houve diferença significativa entre a interação ChNP e condição hídrica. A peroxidação lipídica

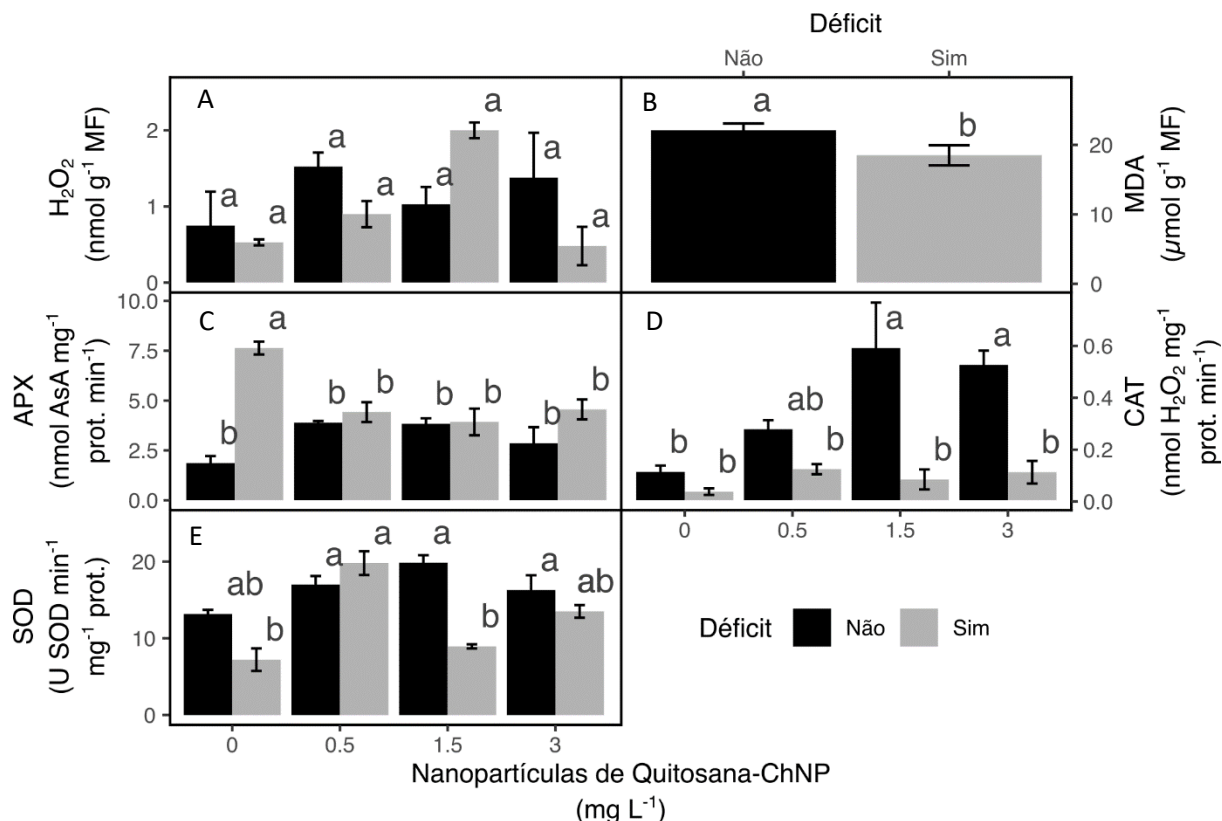
(MDA) demonstrou haver diferença entre as condições hídricas (Figura 13B). O resultado obtido demonstrou que as plantas sob DH apresentaram menores valores MDA possivelmente em função da aplicação de ChNP.

Quanto à avaliação da atividade da enzima da ascorbato peroxidase (APX) (Figura 13C) nas plantas irrigadas que receberam ChNP, nas concentrações 0,5, 1,5 e 3,0 mg L⁻¹, estas apresentaram atividades superiores comparados ao controle (sem ChNP). Desse modo a ação das ChNP tendeu a aumentar a atividade da APX sob aplicação de ChNP (Figura 13C). Já em casos de DH, a atividade da enzima APX foi maior no controle, tratamento DH, sem ChNP (0,0 mg L⁻¹). Podendo-se inferir que possivelmente em condição de estresse hídrico a aplicação de ChNP minimizou a atividade da APX (Figura 13C), sendo essa a única diferença significativa observada para essa enzima avaliada.

A atividade da enzima catalase (CAT) (Figura 13D) nas plantas sob DH não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Porém no caso de plantas irrigadas, a aplicação de ChNP aumentou a atividade da enzima, de modo que as duas maiores concentrações de ChNP (1,5 e 3,0 mg L⁻¹) apresentaram os maiores níveis de atividade e não diferiram significativamente entre si, nem em relação à dose menor (0,5 mg L⁻¹ de ChNP). No entanto, as duas concentrações maiores diferiram significativamente do grupo controle (0,0 mg L⁻¹ de ChNP). Demonstrando, uma possível, ativação do metabolismo antioxidante enzimático das plantas quando aplicado as ChNP (Figura 13D), sendo a dose 1,5 mg L⁻¹ a mais eficaz neste parâmetro.

Para o comportamento da enzima superóxido dismutase (SOD) (Figura 13E) notou-se valores superiores de atividade nos tratamentos em que as plantas foram submetidas à aplicação de ChNP, o que mostra que a ChNP gerou uma resposta no sistema antioxidante. Sendo ainda observado, valores superiores quando as plantas estavam irrigadas, nas concentrações de ChNP 1,5 e 3,0 mg L⁻¹ quando comparadas com essas mesmas concentrações na condição de DH. A dose de ChNP 0,5 mg L⁻¹ apresentou maior atividade na condição de DH em relação a condição hidratada da mesma. Contudo, a diferença significativa estatística foi observada na menor expressão da enzima nos casos de DH sem aplicação de ChNP e DH ChNP 1,5 mg L⁻¹ (Figura 13E).

Figura 13- Análises bioquímicas realizadas em plantas de girassol ornamental *Helianthus Smilei* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.

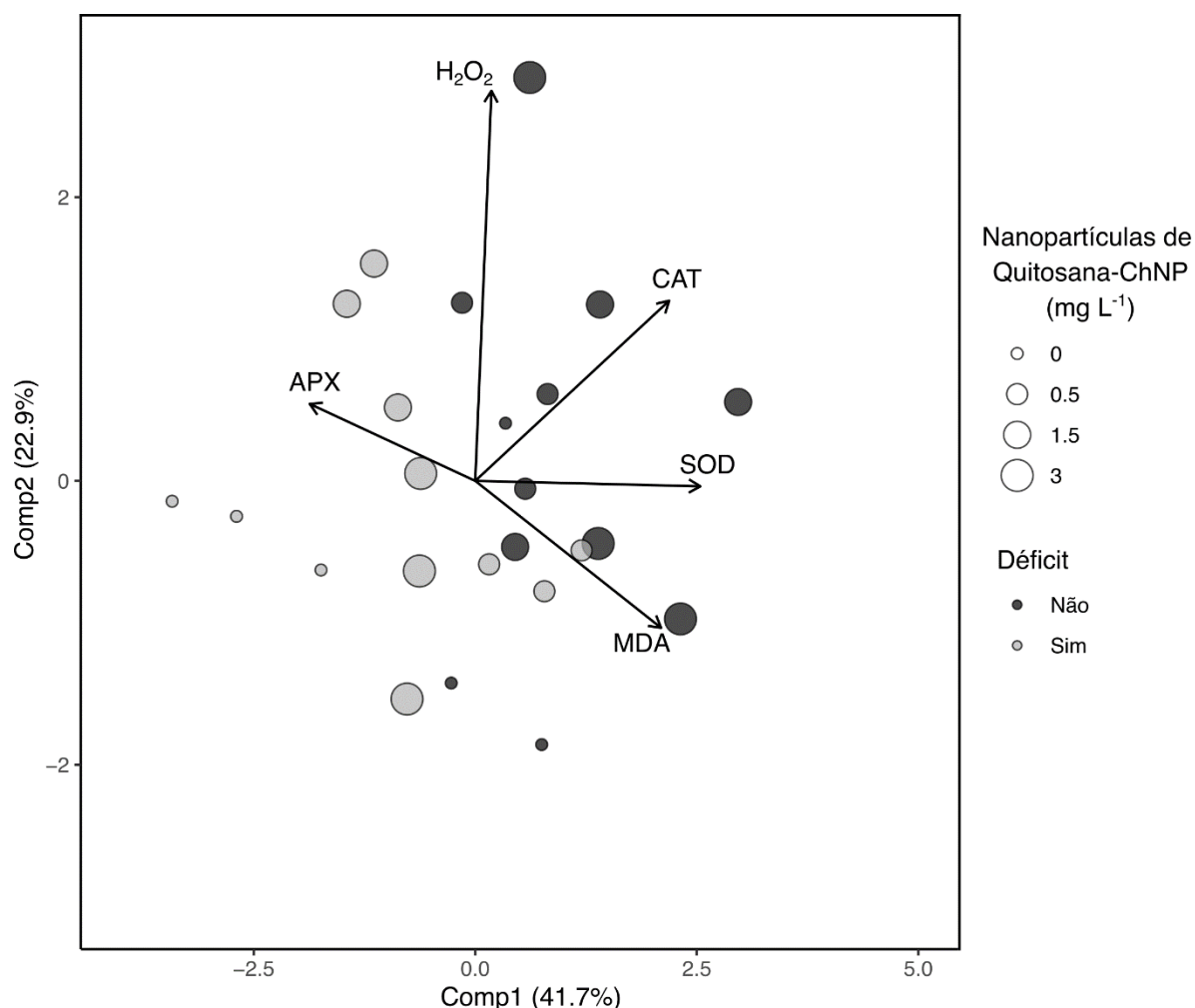


Análises bioquímicas, onde (A) peróxido de hidrogênio (H₂O₂), (B) peroxidação lipídica (MDA), (C) ascorbato peroxidase (APX), (D) catalase (CAT), (E) superóxido dismutase (SOD). As colunas pretas representam as plantas sem estresse hídrico e as colunas cinzas representam as plantas com estresse hídrico. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras diferentes indicam valores significativamente diferentes (p < 0,05).

Fonte: Do autor.

É importante notar que tanto as plantas sob estresse hídrico, quanto as plantas em condição irrigada, a aplicação de ChNP gerou maiores atividades das enzimas antioxidantes estudadas, demonstrando que ocorreu uma resposta à aplicação das ChNP, nas concentrações testadas. Diante disso e buscando compreender a interação entre as concentrações estudadas de ChNP e condições de estresse, realizou-se uma análise do componente principal (PCA) para os parâmetros bioquímicos avaliados (Figura 14).

Figura 14- Análise do componente principal (PCA) dos parâmetros bioquímicos avaliados em plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.



Peróxido de hidrogênio (H_2O_2), peroxidação lipídica (MDA) e atividade das enzimas ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD).

Fonte: Do autor.

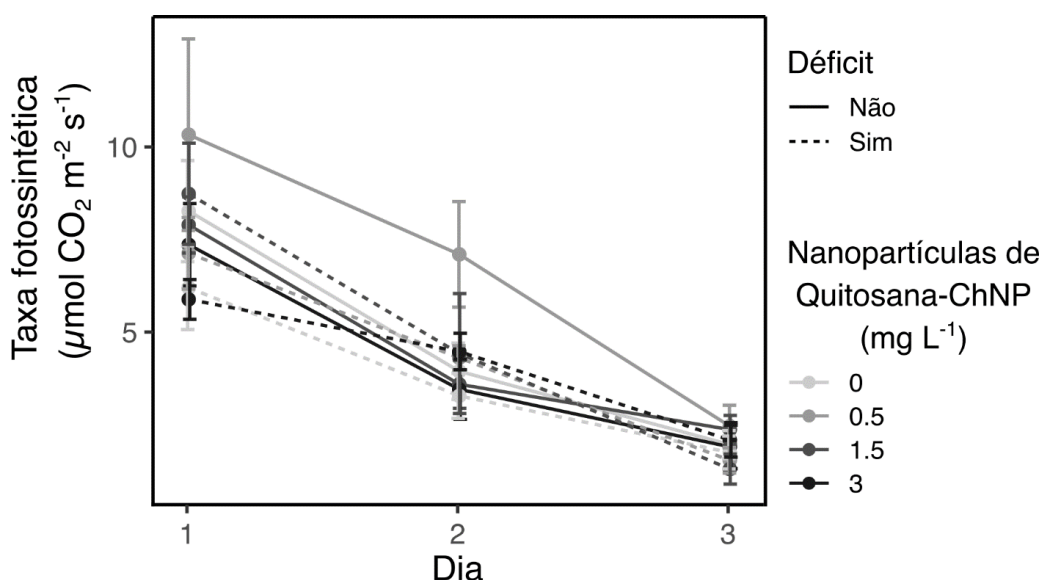
É possível verificar na análise de PC que houve interação e uma divisão clara entre as condições hídricas testadas (Figura 14). As plantas estressadas se concentraram na diagonal inferior dos eixos e as plantas irrigadas ficaram na diagonal superior. Isso quer dizer que a resposta da APX foi mais significativa nos casos de estresse e concentrações de ChNP, enquanto para a atividade das enzimas CAT, SOD, MDA e peróxido de hidrogênio houve maior resposta nas plantas irrigadas (Figura 14).

4.5 Medições de trocas gasosas

As medidas fotossintéticas foram realizadas após três dias de estresse e os resultados estão demonstrados na Figura 15. É possível ver a partir da variação ao longo do tempo que

houve um padrão decrescente em todos os tratamentos, além disso, as maiores variações na taxa fotossintética aconteceram no primeiro e segundo dias. No terceiro dia de avaliação, que corresponde ao último dia de estresse, houve uma aproximação dos valores de fotossíntese entre todos os tratamentos. É interessante notar que as plantas irrigadas (sem DH) e aplicadas 0,5 mg L⁻¹ de ChNP apresentaram os maiores valores de fotossíntese ao longo do período enquanto comparadas com outros tratamentos. Já nas plantas sob estresse hídrico (DH) e sem aplicação de ChNP (0,0 mg L⁻¹) apresentaram os valores mais baixos no mesmo período, isso indica que a restrição hídrica sem aplicação de ChNP resultou nos menores valores de fotossíntese (Figura 15).

Figura 15- Taxa fotossintética

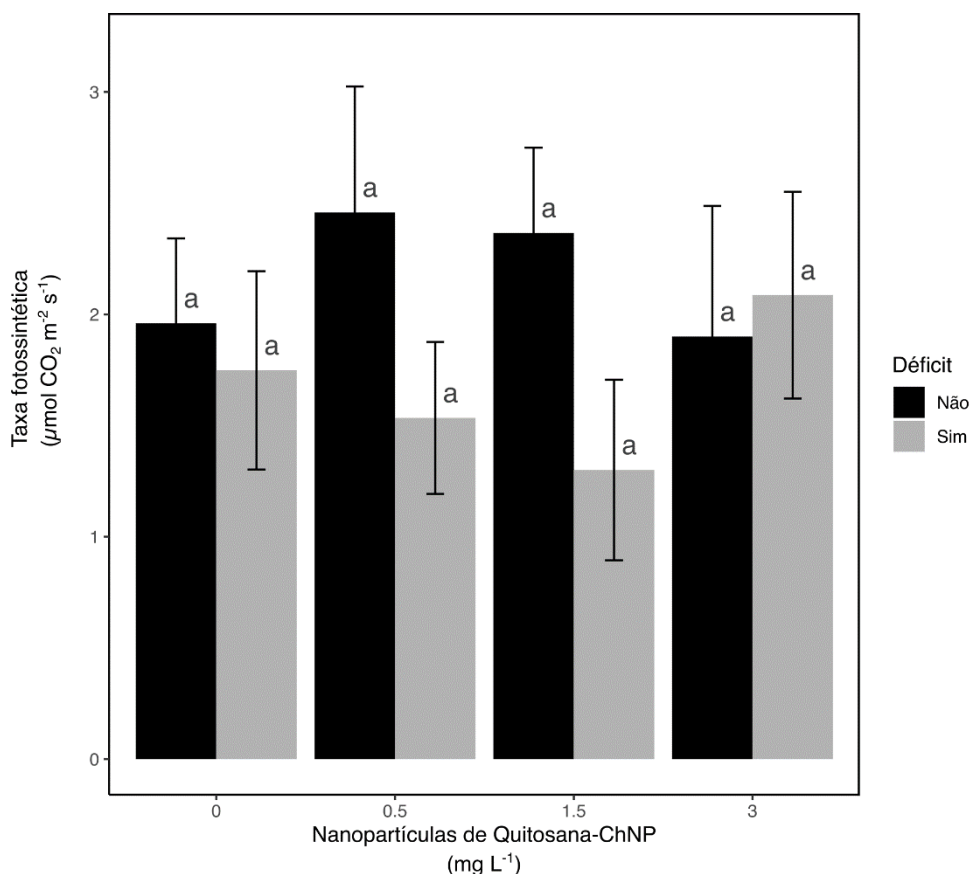


Taxa fotossintética durante o período de restrição hídrica de plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley*, no estágio fenológico R1, submetidas às concentrações de nanopartículas de quitosana (0,0; 0,5; 1,5 e 3,0 mg L⁻¹) e condições hídricas. As linhas contínuas representam as plantas sem estresse hídrico e as linhas tracejadas representam as plantas com estresse hídrico. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor.

Analisando os dados médios do último dia avaliado, que também correspondeu ao último dia de déficit hídrico (Figura 16), não foi visualizado interação significativa entre as concentrações de ChNP e a condição hídrica. Contudo, os tratamentos com ampla irrigação obtiveram os valores superiores aos que passaram por DH nas concentrações 0,0, 0,5, e 1,5 mg L⁻¹ de ChNP.

Figura 16- Teste de médias da avaliação fotossintética referente ao último dia de imposição do déficit hídrico nas plantas de girassol ornamental *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.



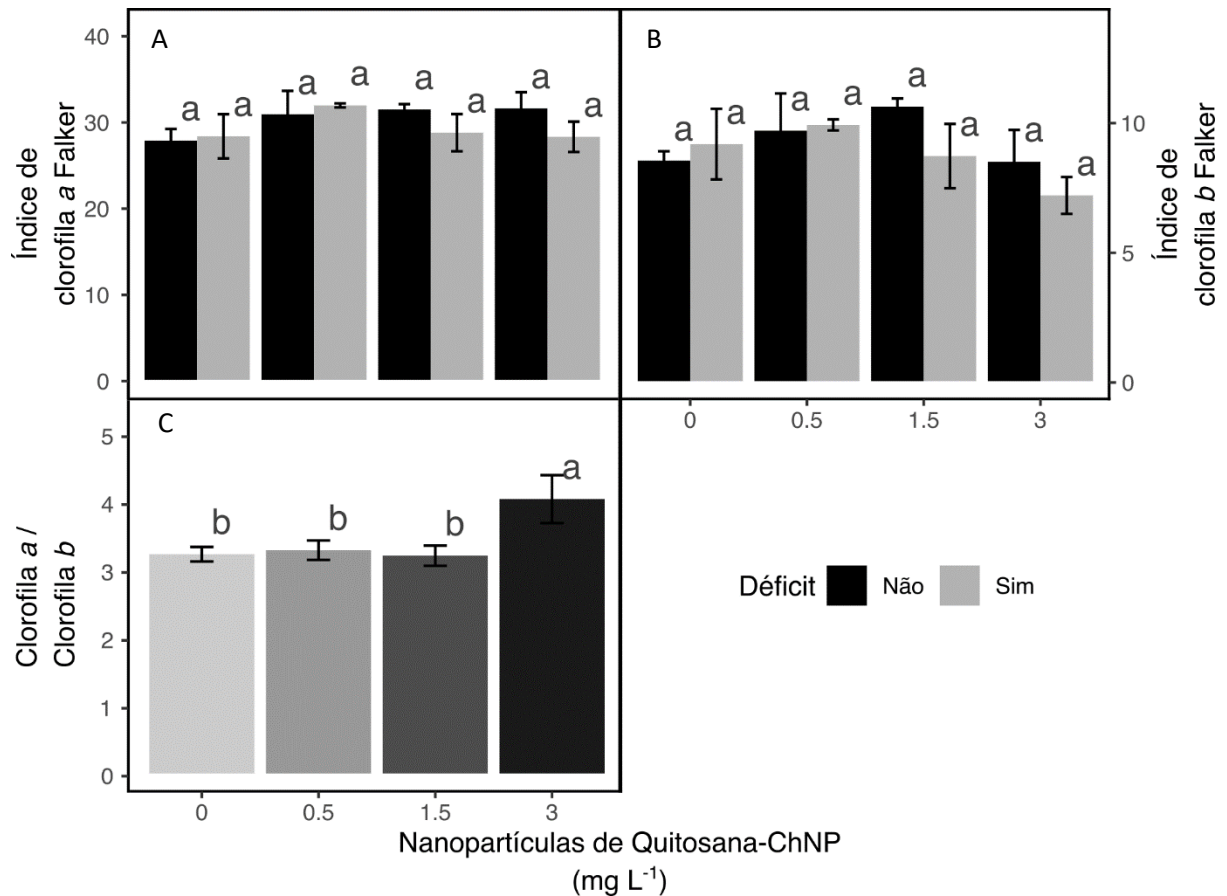
Taxa fotossintética durante o período de restrição hídrica de plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley*, no estágio fenológico R1, submetidas às concentrações de nanopartículas de quitosana (0,0; 0,5; 1,5 e 3,0 mg L⁻¹) e condições hídricas. As colunas pretas representam as plantas sem estresse hídrico e as colunas cinzas representam as plantas com estresse hídrico. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor.

4.6 Quantificação de clorofila a e b

Foi avaliado no último dia de estresse hídrico os teores de clorofilas a e b (Figura 17). Estatisticamente não houve diferenças na interação entre concentrações de ChNP e condição hídrica. Para a relação clorofila a/b (Figura 17C) notou-se valor superior para as plantas quando aplicado 3,0 mg L⁻¹ de ChNP.

Figura 17- Teores de clorofila a e b referentes ao último dia de imposição do déficit hídrico nas plantas de girassol ornamental *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.

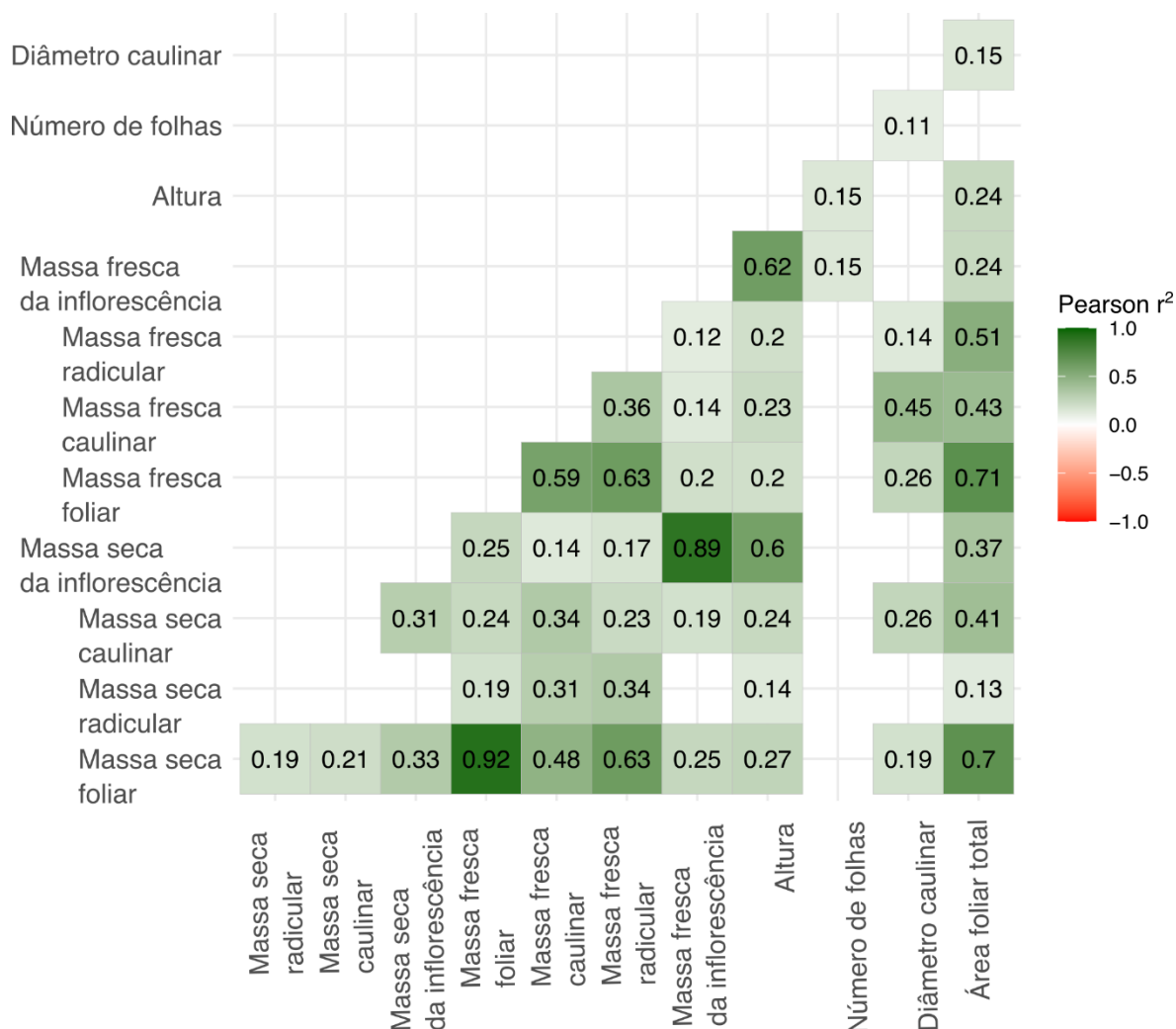


Teores de clorofila a e b, onde, (A) clorofila a (B) clorofila b. As colunas pretas representam as plantas sem estresse hídrico e as colunas cinzas representam as plantas com estresse hídrico. (C) relação clorofila a/ clorofila b sob concentrações de quitosana (0,0; 0,5; 1,5 e 3,0 mg L⁻¹).

Fonte: Do autor.

Por fim, foi feita a matriz de correlação com os parâmetros avaliados (Figura 18). Maior correlação aconteceu entre o peso fresco e seco da folha, seguido do peso fresco e seco da inflorescência. Houve correlação entre a área foliar e o peso fresco da folha. A maioria das interações ficaram abaixo de 0,30, e as interações mais fortes, acima de 0,70.

Figura 18- Matriz de correlação dos parâmetros avaliados de crescimento e biomassa avaliados em plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de quitosana (ChNP) e condições hídricas.



Onde as linhas correlacionam diâmetro caulinar, número de folhas, altura, massa fresca da inflorescência, massa fresca radicular, massa fresca caulinar, massa fresca foliar, massa seca da inflorescência, massa seca caulinar, massa seca radicular e massa seca foliar. As colunas correlacionam massa seca radicular, massa seca caulinar, massa seca da inflorescência, massa fresca foliar, massa fresca caulinar, massa fresca radicular, massa fresca da inflorescência, altura, número de folhas, diâmetro caulinar, área foliar total.

Fonte: Do autor.

4.7 Avaliações de durabilidade das plantas pós produção

Quando atingiam o estágio fenológico de desenvolvimento R4, as plantas foram levadas para o laboratório para avaliação do tempo de durabilidade pós produção (Figura 19).

Figura 19- Plantas de girassol ornamental após produção em ambiente de laboratório



Imagem aos 43 dias pós semeadura

Fonte: Do autor.

O período avaliação da durabilidade das plantas resultou em 10 dias, após o qual as plantas receberam nota 0 e foram descartadas (Figura 20).

Figura 20- Registro fotográfico da análise de durabilidade pós produção das plantas girassol ornamental *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.



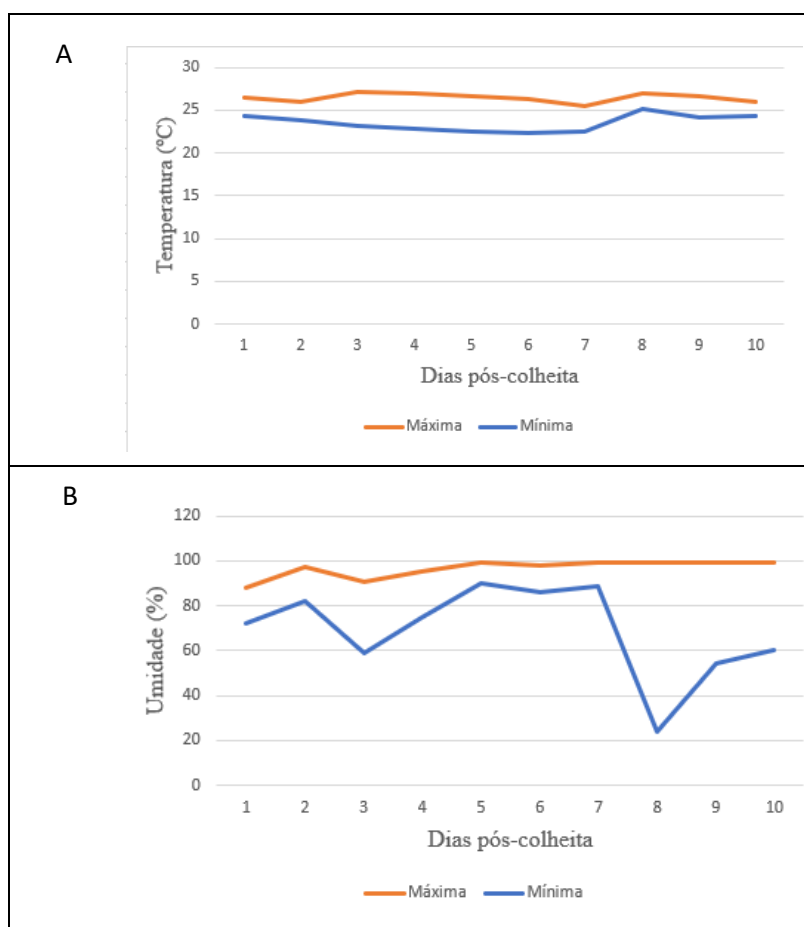
Acompanhamento visual da durabilidade pós produção de plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley*, submetidas às concentrações de nanopartículas de quitosana (0,0; 0,5; 1,5 e 3,0 mg L⁻¹) e condições hídricas, no eixo horizontal, tratamentos (A) T1: ChNP 0,0 mg L⁻¹, (B) T2: ChNP 0,5 mg L⁻¹, (C) T3: ChNP 1,5 mg L⁻¹, (D) T4: ChNP 3,0 mg L⁻¹, (E) T5: DH ChNP 0,0 mg L⁻¹, (F) T6: DH ChNP 0,5 mg L⁻¹, (G) T7: DH ChNP 1,5 mg L⁻¹, (H) T8: DH ChNP 3,0 mg L⁻¹. No eixo vertical, (2) dois dias de durabilidade pós produção, (4) quatro dias de durabilidade pós produção, (6) seis dias de durabilidade pós produção, (8) oito dias de durabilidade pós produção, (10) dez dias de durabilidade pós produção.

Fonte: Do autor.

Como resultado, a média da temperatura máxima na sala de pós-colheita foi de 26,5 °C e a mínima foi de 23,5 °C. A umidade máxima apresentou como média máxima 98% e mínima de 75% (Figura 21).

Figura 21- Acompanhamento diário de temperatura e umidade durante a pós-colheita de plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.

Figura 21- Acompanhamento diário de temperatura e umidade.

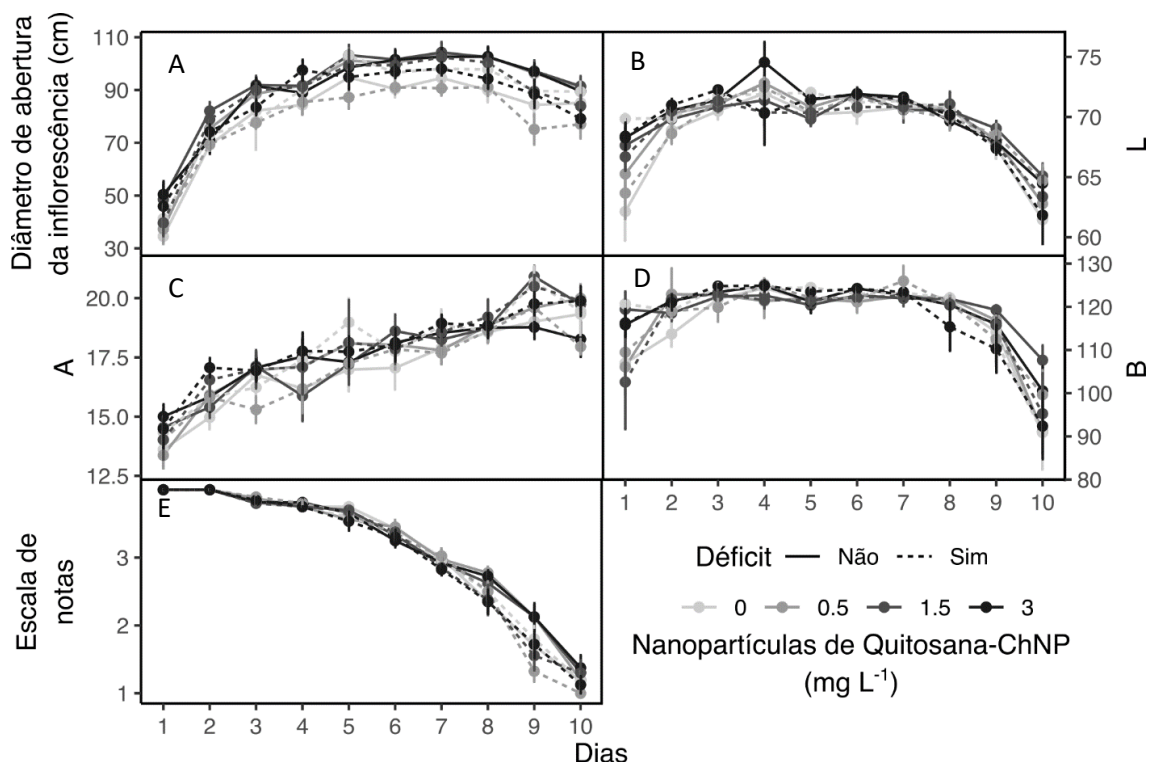


Acompanhamento diário de temperatura e umidade durante a pós-colheita de plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.

Fonte: Do autor.

O resultado ao longo do tempo de pós-colheita dos parâmetros avaliados, diâmetro de abertura da inflorescência e parâmetros de cor (L, A, B) e escala de notas ao longo do tempo (Figura 22) foram descritos abaixo.

Figura 22- Avaliações de durabilidade das plantas



Avaliações de durabilidade das plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* submetidas às concentrações de nanopartículas de quitosana (0,0; 0,5; 1,5 e 3,0 mgL⁻¹) e condições hídricas, após produção. Onde (A) diâmetro de abertura da inflorescência (cm), (B) parâmetro "L" do colorímetro, (C) parâmetro "A" do colorímetro, (D) parâmetro "B" do colorímetro, (E) escala de notas. As linhas contínuas representam as plantas sem estresse hídrico e as linhas tracejadas representam as plantas com estresse hídrico.

Fonte: Do autor.

O diâmetro da abertura floral teve seu ápice no oitavo dia, logo após começa a diminuir como consequência da senescência da inflorescência (Figura 22). Foi observado ainda, que o diâmetro das plantas irrigadas (que não passaram pelo período de estresse hídrico) obtiveram valores médios superiores comparadas às plantas que foram submetidas à restrição hídrica (Figura 20).

Os parâmetros de cor avaliados (L, A e B) seguiram um padrão de comportamento (Figura 22), sendo o L relacionado à luminosidade, que varia de 0 (preto) até 100 (branco); os valores de A variam de 0 (neutro) e variam de positivos (tons vermelho) a negativos (verde); quanto ao parâmetro B, este varia de faixa azul ao amarelo, os valores positivos de B são amarelos, os valores negativos são azul, e zero são tons neutros próximos de branco.

Sendo assim, "L" com relação a luminosidade, os tratamentos iniciaram com valores por volta de 62 até 70, indicando brilho, próximo do branco, e se apresentaram crescente até o

quarto dia, em seguida começaram a decrescer como o esperado quando as inflorescências começam a senescer, e a nota também começa cair.

Já os valores de “A” se apresentaram crescente positivos até o final do período de durabilidade, variando entre cerca de 12 a 20, indicando aumento do escurecimento do amarelo para tons mais avermelhadas ou marrons com a senescência das lígulas sem diferença entre os tratamentos.

O parâmetro “B” com valores positivos como sendo a faixa de amarelo já começaram altos entre 100 a 120 e continuam crescentes nos 4 primeiros dias de avaliação, em seguida tende a se manter estáveis por mais um momento, e por volta do sétimo dia começa a decrescer explicado pelo escurecimento do amarelo pela senescência.

Desse modo, como demonstrado na Figura 22 o comportamento das cores se manteve em todos os tratamentos, não havendo um padrão específico entre eles em cada parâmetro, não apresentando diferença significativa.

A escala de notas (Figura 22) demonstrou que as plantas duraram 7 dias com nota 3, o que indica o ponto máximo aceitável para a comercialização conforme a escala de notas seguida pela metodologia estabelecida pelo Grupo de Pesquisa em Floricultura - EPAMIG (dados a serem publicados), ou seja, da colheita até o ponto de comercialização, as plantas apresentaram durabilidade de 7 dias não apresentando diferença entre os tratamentos. A partir desse momento, a escala de notas prevê como plantas aceitáveis para a exposição apenas dentro das casas, não sendo mais escolhidas para serem compradas conforme a metodologia estabelecida pelo Grupo de Pesquisa em Floricultura - EPAMIG (dados a serem publicados). Nesse momento, do sétimo ao décimo dia, é possível verificar que as plantas irrigadas e com aplicação de ChNP apresentaram nota superior em relação as plantas que foram estressadas.

Isso corrobora com o observado durante as avaliações, onde as plantas estressadas apresentaram queda das lígulas de forma espontânea e inesperada, uma vez que estavam visualmente saudáveis (Figura 23). Além de ter sido observado em torno do sétimo dia de avaliação que as inflorescências das plantas que passaram pela restrição hídrica e sem aplicação da quitosana ocorreram queda de suas lígulas, que aparentemente ainda estavam com boas avaliações de nota, brilho e cor. Isso faz com que a nota caia, uma vez que não é possível comercializar inflorescência sem a presença das lígulas. Esses fatores explicam a diferença mostrada na Figura 22. Porém a durabilidade total das plantas não foi afetada, não gerando diferença estatística significativa.

Figura 23- Queda de lígulas e momento de descarte de plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley*, no estágio fenológico R4, submetidas às concentrações de nanopartículas de quitosana (0,0; 0,5; 1,5 e 3,0 mg L⁻¹) e condições hídricas.

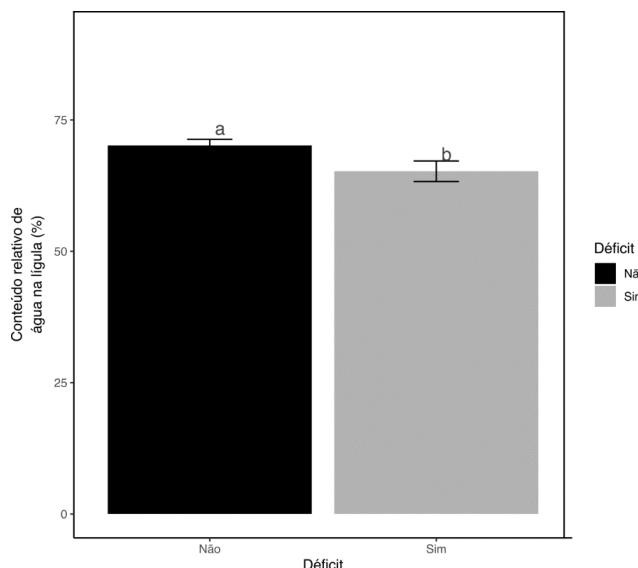


Onde, (A) queda de lígulas aparentemente saudáveis durante o período de durabilidade pós produção, (B) Planta de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* em momento de descarte quando a planta atinge nota 0 na avaliação de durabilidade pós produção, apresentando murcha e queda intensa de lígulas, mudança na cor e perda do brilho.

Fonte: Do autor.

Foi medido o conteúdo relativo de água (CRA) das lígulas (Figura 24) no momento em que as plantas foram levadas para o laboratório (Figura 19) sendo observado diferenças estatísticas entre as condições hídricas das plantas, onde as plantas irrigadas apresentaram maior conteúdo relativo de água comparada às plantas que passaram pelo período de estresse hídrico.

Figura 24- Conteúdo Relativo de Água (CRA) das lígulas de plantas de girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley*, no estágio fenológico R4, submetidas às concentrações de nanopartículas de quitosana (0,0; 0,5; 1,5 e 3,0 mg L⁻¹) e condições hídricas.

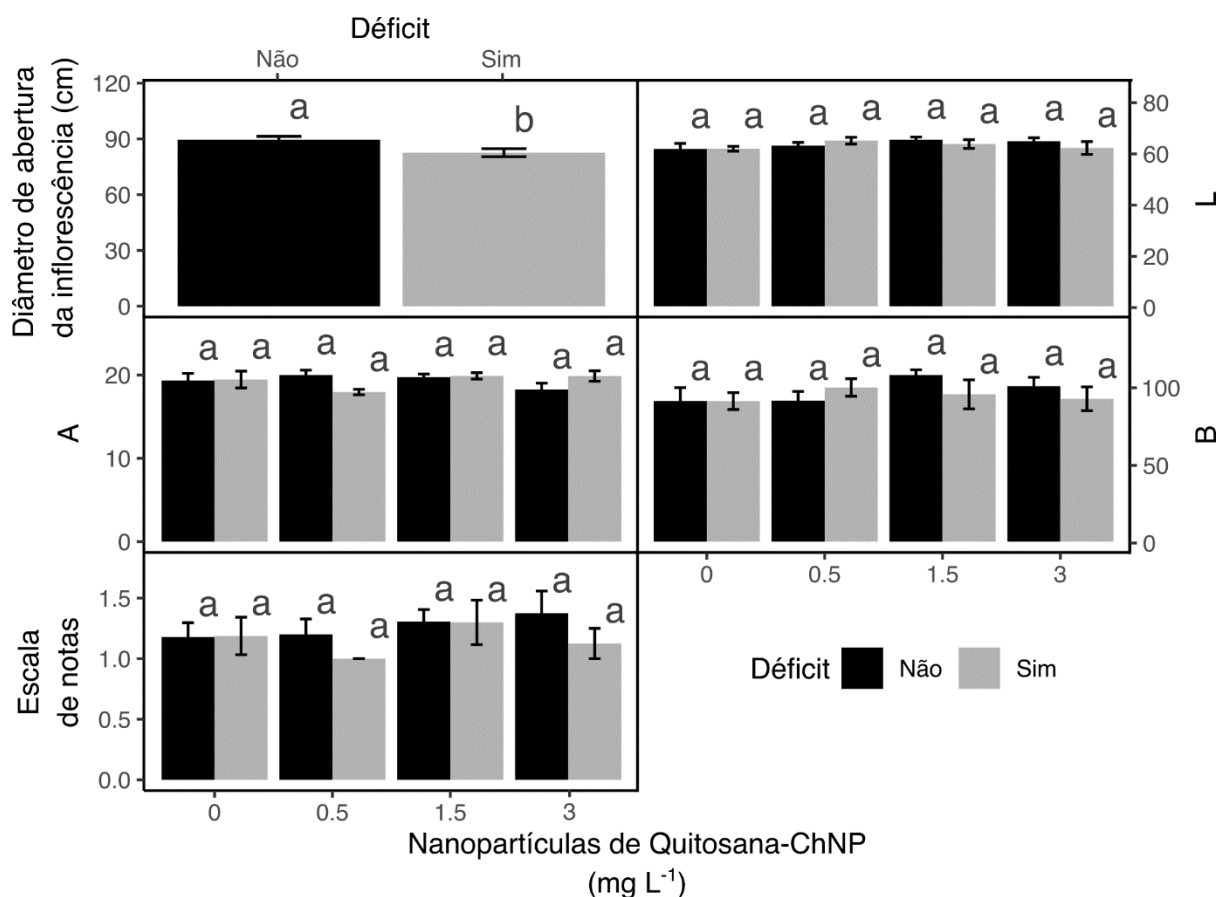


Conteúdo Relativo de Água (CRA) das lígulas. A coluna preta representa plantas sem estresse hídrico e a coluna cinza representa plantas com estresse hídrico.

Fonte: Do autor.

O teste de médias referente ao último dia de durabilidade pós produção (Figura 25) demonstrou que o diâmetro do capítulo resultou em diferença estatística entre as plantas irrigadas e as plantas sob restrição hídrica. Já os parâmetros de cor (L, A e B), bem como a escala de notas do último dia de avaliação, não houveram diferenças significativas, neste momento as plantas atingiram nota consideradas para descarte. Todas as plantas nessa etapa, apresentavam as lígulas murchas e queda intensa, a cor se torna amarelo mais escuro ou marrom claro, e perda do brilho e com manchas e lesões (Figura 23B).

Figura 25-Teste de médias do último dia de avaliações do período de durabilidade pós produção das plantas de girassol ornamental *Helianthus Smiley* sob diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (ChNP) e condições hídricas.



Avaliações de durabilidade pós produção, onde (A) diâmetro de abertura da inflorescência (cm), (B) parâmetro "L" do colorímetro, (C) parâmetro "A" do colorímetro, (D) parâmetro "B" do colorímetro, (E) escala de notas.

Fonte: Do autor.

5 DISCUSSÃO

As nanopartículas poliméricas são preparadas a partir de polímeros biocompatíveis, com tamanho entre 10-100 nm (KHANMOHAMMADI et al., 2015; SHIVASHAKARAPPA et al., 2022; JALALUDDIN et al., 2022). Assim sendo, o processo de preparação das nanopartículas influencia diretamente no tamanho e na ação das mesmas que podem estar nessa faixa de dimensão e variar de acordo com o método e natureza da nanopartícula (KHANMOHAMMADI et al., 2015; BANGUN et al. 2018). Isso valida a importância da caracterização do material preparado, para a verificação do tamanho alcançado e parâmetros como o potencial zeta para obtenção do entendimento do modo de ação da ChNP.

A metodologia utilizada para o preparo da ChNP por meio da gelificação iônica envolve a interação eletrostática entre um grupo amina carregado positivamente da quitosana

e um grupo carregado negativamente do TPP em uma solução aquosa (BEKMUKHAMETOVA et al., 2022; BENAMER OUDIH et al., 2021; JAIN et al., 2016).

Isso permite a diminuição do tamanho da partícula, uma vez que os grupos amino livres (NH_2) da quitosana podem ser protonados (NH_3^+) em soluções ácidas. O TPP por sua vez é um sal com três grupos fosfato (PO_4^{3-}) em sua estrutura. Essa carga negativa é capaz de interagir com polieletrólitos positivos. Sendo assim, quando a quitosana é dissolvida em uma solução ácida (como ácido acético diluído) ela é capaz de protonar os grupos amina e criar uma solução catiônica. A estrutura da quitosana em solução é linear e relativamente flexível. Quando o TPP é adicionado à solução de quitosana, os íons fosfato do TPP interagem com os íons amina protonados da quitosana através de interações eletrostáticas formando um complexo iônico de ligações cruzadas entre as cadeias de quitosana. Isso acontece porque o TPP tem múltiplos grupos fosfato, e cada um pode formar ligações com os grupos amina de diferentes cadeias de quitosana, criando uma rede tridimensional. À medida que essa reação acontece, o material formado tende a se agrupar em nanopartículas pela divisão desse agrupamento tridimensional em partículas menores caracterizando o novo material como nanopartículas (STANGEL et al., 1998; PEPPAS & KROGH, 2001).

O tamanho da partícula, desse modo, é resultante da interação entre a quitosana e o TPP e pode ser alterado conforme a concentração de quitosana utilizada (BANGUN et al. 2018; JALALUDDIN Et al., 2022), como o peso molecular da quitosana, concentração de TPP, razão em massa quitosana/TPP, concentração de ácido acético e velocidade de agitação, no tamanho médio e na carga superficial das ChNP (BEKMUKHAMETOVA et al., 2022; BENAMER OUDIH et al., 2021; JAIN et al., 2016). Consequentemente a ação é diferente para cada tamanho de ChNP.

O potencial Zeta é um parâmetro que expressa o equilíbrio eletroquímico entre partículas e líquidos como em soluções coloidais de nanopartículas (Lunardi et al., 2020). Em geral valores com potencial zeta maiores que $\pm 30\text{mV}$ são considerados como estáveis (Murali et al. 2017). Isso garante a dispersão estável ao longo do tempo e evita a aglomeração de partículas (VOLD, 1982).

Jalaluddin et al. (2022) avaliou a preparação de ChNP com a interação com TPP para o encapsulamento de medicamento e obteve bom resultado com nanopartícula de tamanho $316,16 \pm 2,14\text{nm}$ e potencial zeta $23,63\text{ mV}$. Bangun et al (2018) testou o estudo do tamanho das ChNP também pela interação com TPP em atividade microbiana, e a menor nanopartícula, com 260nm , foi obtida pela menor concentração de quitosana (0,25%) e obteve os melhores resultados com maior atividade microbiana, isso porque ChNP dessa dimensão resulta em

propriedades físico-químicas únicas, como a grande área de superfície (proporcionando mais sítios catiônicos) e alta reatividade, sendo potencialmente capaz de aumentar a interação de carga na superfície microbiana e levar a um efeito antimicrobiano mais superior (Bangun et al. 2018). Sendo assim, para as nanopartículas de quitosana tamanhos médios em torno de 200 a 350nm são satisfatórios por apresentarem as características desejáveis em escala nanométrica.

As medidas obtidas na caracterização das ChNP foram o tamanho da partícula o sendo 264.0 nm o potencial zeta -57,26 mV. Esses resultados demonstraram que o material obteve os parâmetros desejados para nanopartículas, com alta estabilidade e dispersão, o que diminuem as chances de aglomerações das nanopartículas e consequente aumento do tamanho, como mostrado por Kugarajah et al (2023) em que preparou e caracterizou nanopartículas de quitosana com tamanho em torno de 250nm e testou seu uso como biofertilizante, obtendo como resultado a melhora na germinação das sementes de *Zinnia elegans*.

As características morfológicas e bioquímicas do girassol, permitem tolerar curtos períodos de seca, conferindo a esta planta, uma alternativa para exploração agrícola na região semiárida. Entretanto, o advento de tais mecanismos não significa afirmar que o crescimento e a produção do girassol ornamental não serão modificados sob condições de escassez hídrica (Abade et al., 2014) como foi visto na cultivar estudada.

O cultivo do girassol ornamental cultivar *Helianthus Smiley* demonstrou sensibilidade à pragas e doenças, assim como ao estresse hídrico como foi detectado. A susceptibilidade às pragas e doenças é um possível ponto negativo já descrito nas informações sobre a cultivar disponíveis no site da empresa que indicam mosca minadora e míldio (TAKII SEED, 2024). Foi observada além desses, a ocorrência de alternaria em todas as plantas de todos os tratamentos. A restrição hídrica por sua vez, combinada com temperaturas elevadas dentro da casa de vegetação resultaram também em resposta rápida de murcha nas plantas. Isso mostra que a cultivar é sensível as condições às quais é submetida, como temperatura e déficit hídrico, no entanto, também se observou que as plantas de girassol ornamental apresentaram uma rápida recuperação em todos os casos após a imposição do estresse e reidratação.

As respostas obtidas nos dados de crescimento ao longo do tempo foram próximas em sua maioria, mas é visível que o tratamento controle 0,0 ml L⁻¹ de ChNP sob DH teve a menor área foliar e menor altura o que é visualizado também nas medidas de biomassa onde, esse tratamento apresentou os menores valores de massa fresca e seca em todas as partes da planta. Esse resultado explica os menores valores de taxa fotossintética apresentados durante a avaliação quando comparados com os outros tratamentos no mesmo período. Como

evidenciado por Chen et al. (2023), o déficit hídrico pode exercer efeitos inibitórios na fotossíntese das folhas do girassol, e esses efeitos aumentam com a intensificação do déficit hídrico, conforme o observado na Figura 16, onde os tratamentos sob DH apresentaram menor taxa fotossintética após 4 dias de restrição hídrica.

A fotossíntese medida no máximo estresse demonstrou que as plantas sob DH apresentaram menores taxas fotossintéticas comparadas às plantas não estressadas. Dentre as concentrações de ChNP é observado que o controle DH (0,0 mg L⁻¹ ChNP) foi o tratamento ao longo do tempo com valor inferior. Enquanto para a dose mais alta (3,0 mg L⁻¹ de ChNP) houve maior taxa fotossintética para plantas sob DH, esse resultado associa-se com a maior área foliar que esse tratamento obteve nos parâmetros de crescimento e maiores valores de biomassa em comparação a essa mesma dose em plantas irrigadas. Esse valor superior de taxa fotossintética também pode ser explicado pela maior relação de clorofila a/b observada quando submetidas a 3,0 mg L⁻¹ de ChNP.

A associação com as ChNP demonstrou atividade nas plantas sob as plantas de girassol ornamental. Em condição de DH a dose mais alta de ChNP (3,0 mg L⁻¹) promoveu aumento da fotossíntese em relação ao controle, e nas plantas irrigadas todos os valores de fotossíntese obtidos foram mais altos que o controle, esse resultado corrobora com os dados de teores de clorofila total, onde valores superiores foram obtidos em plantas submetidas aos tratamentos com ChNP, além de diferença estatística significativa na relação clorofila a/b. De modo semelhante ao que foi visto por Dowom et al. (2022) onde o aumento na concentração de ChNP aumentou o conteúdo de clorofila das plantas nos regimes de irrigação testados promovendo melhores taxas fotossintéticas.

Quanto à variável biomassa da planta, os dados obtidos para massa fresca mostram que todas as plantas em DH apresentaram valores mais baixos que as plantas irrigadas, ou seja, o estresse por déficit hídrico culminou em menor acúmulo de biomassa. Para a massa seca foi visto o mesmo padrão com exceção das plantas em DH com 1,5 e 3,0 mg L⁻¹ de ChNP. Resultado parecido foi observado por Ashraf e Siddiqi (2024) onde as plantas de girassol submetidas à estresse hídrico tiveram altura da planta, biomassa e número de folhas reduzidos.

Analisando as concentrações de ChNP, é possível verificar que as concentrações mais altas (1,5 e 3,0 mg L⁻¹ de ChNP) geraram valores mais baixos de massa fresca e seca nas plantas irrigadas sugerindo que a melhor dose nesse caso é de 0,5 mg L⁻¹ de ChNP. Enquanto as plantas sob DH obtiveram valores mais altos de biomassa para as concentrações mais altas (1,5 e 3,0 mg L⁻¹ de ChNP). Esse resultado condiz com o conteúdo de água, uma vez que,

mesmo com acúmulo de água nas raízes maiores nas plantas com DH, a razão raiz parte aérea mostra maior conteúdo de água nas plantas irrigadas, o que reflete os valores mais altos de crescimento e biomassa nestas plantas em questão. Já as plantas sob DH apresentaram menor acúmulo de biomassa e menor razão raiz parte aérea. Desse modo, a restrição hídrica afetou o crescimento das plantas pela redução da área foliar e menor acúmulo de biomassa.

Quanto ao conteúdo de H_2O_2 não houve diferença estatística entre os tratamentos estudados. No entanto, para o conteúdo de MDA houve diferença estatística para as condições hídricas, sendo menor nas plantas estressadas do que hidratadas. Em $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ o conteúdo de H_2O_2 nas plantas sob DH foi menor que o valor no controle (DH ChNP $0,0 \text{ mg L}^{-1}$) (figura 13A), o que sugere uma efetiva ação das ChNP nesse caso para diminuição de formação do peróxido de hidrogênio em plantas sob DH. Isso pode indicar uma resposta de diminuição de danos na membrana em função da aplicação de ChNP em plantas sob DH resultando em menores teores de MDA nessas plantas como foi visto na figura 13B.

Como o observado em outros estudos a aplicação de alguns produtos em determinadas concentrações tiveram o mesmo efeito de diminuir o MDA em casos de estresse hídrico, possivelmente em função da aplicação de ChNP. Ashraf e Siddiqi (2024) observaram que a aplicação foliar de ácido jasmônico ajudou a reduzir o conteúdo de H_2O_2 e MDA em girassol sob estresse hídrico. Jiang et al. (2024) também obtiveram como resultado redução do conteúdo de MDA no tratamento de déficit hídrico e aplicação de melatonina em *Cenchrus alopecuroides* (L.). Lima et al. (2023) observou que a aplicação de iodeto de potássio em tomates sob déficit hídrico apresentou uma redução no conteúdo de MDA em relação ao controle. Hajizadeh et al. (2023) estudando o efeito de nanopartículas de quitosana em rosa híbrida ornamental obteve como resultado a aplicação de ChNP promoveram aumento dos mecanismos de defesa antioxidante e redução do conteúdo de MDA e H_2O_2 podendo ser explicado pelo fato do MDA ter preservada a integridade da membrana.

A ação da ChNP fica evidente para as enzimas do sistema antioxidante, as quais foram aumentadas em todos os casos de aplicação de ChNP em plantas irrigadas. Plantas sob déficit hídrico também apresentaram mesma resposta com a aplicação de ChNP, com exceção da enzima APX. Isso pode ser um indicativo de ativação do metabolismo enzimático antioxidante. Como demonstrado por Sangwan et al. (2023) ChNP foram capazes de ativar o sistema antioxidante e como consequência pode reduzir o estresse oxidativo, o que ajuda a manter a integridade das membranas celulares e protege os processos fotossintéticos e eleva as taxas fotossintéticas como foi observado nas plantas irrigadas em todas as concentrações de ChNP ($0,5$, $1,5$ e $3,0 \text{ mg L}^{-1}$) e plantas sob DH $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ de ChNP (Figura 16).

Por meio dos parâmetros avaliados de biomassa, crescimentos, fotossíntese e enzimas antioxidantes é possível inferir que as plantas estavam sob estresse hídrico, pois as plantas apresentaram menores valores comparadas às plantas irrigadas, mesmos que não houve diferença estatística significativa. A aplicação de ChNP também indica efeito uma vez que apresentou valores mais altos comparados as plantas controle sem ChNP.

A durabilidade das plantas pós produção também refletiram os resultados obtidos durante o cultivo das plantas de girassol sob concentrações de ChNP e déficit hídrico ou não. O diâmetro de abertura floral se mostrou, ao longo dos 10 dias de avaliação, maior nas plantas irrigadas, sendo mais evidente essa diferença nos últimos de avaliação. Isso fica claro como consequência de maior fragilidade das plantas que passaram por DH e afetou o período reprodutivo, mesmo após a reidratação. A aplicação de ChNP se evidencia promissora uma vez que o tratamento de plantas irrigadas que apresentou valores mais baixos de diâmetro em comparação com os outros irrigados foi o controle sem aplicação de ChNP, sugerindo uma atuação das ChNP na durabilidade pós produção. Em análise da pós colheita de frutos de morango, Saleem et al. (2021) observou que a aplicação de ChNP nos frutos resultou em uma camada estável e protetora sobre a superfície e impediu a proliferação de patógenos e retardou a deterioração do morango. Hajizadeh et al. (2023) relatou que a aplicação de ChNP em rosas ornamentais aumentou a longevidade da flor em até quase 3 vezes mais que o controle.

Os parâmetros de cor se apresentaram muito próximos entre os tratamentos não apresentando diferenças evidentes em função da condição hídrica ou da aplicação de ChNP. A escala de notas, como resultado da avaliação visual, identificou queda espontânea de lígulas. Essa condição diminuí drasticamente a nota da planta, uma vez que não é possível comercializar flores que falem lígulas, tendo impacto direto na produção.

Essa resposta foi vista em todos os tratamentos sob DH (DH-ChNP 0,0, 0,5, 1,5 e 3,0 mg L⁻¹) e no tratamento controle irrigado sem ChNP (ChNP 0,0 mg L⁻¹) e condizem com o conteúdo relativo de água das lígulas em que, sob DH foi mais baixo. Isso sugere que plantas que passaram por condições de estresse hídrico em período de desenvolvimento acarreta em menor qualidade da flor. Isso pode ser uma consequência do menor conteúdo de água observado nas lígulas de plantas sob DH (Figura 23), resultando em lígulas mais frágeis e sensíveis ao toque como foi observado. A aplicação de ChNP se mostrou atuante nesse resultado por apresentar notas mais altas nas plantas que receberam ChNP (0,5, 1,5 e 3,0 mg L⁻¹) sugerindo que atuação da ChNP interfere na qualidade do período pós produção conforme observado nos trabalhos de Hajizadeh et al. (2023). Assim sendo, o DH durante o período

reprodutivo reduziu a qualidade das flores quando comparado com as plantas irrigadas e com ChNP que apresentaram flores visivelmente íntegras por mais tempo.

6 CONCLUSÃO

As nanopartículas de quitosana induzem respostas favoráveis nas plantas de girassol ornamental submetidas ao déficit hídrico, com o aumento dos parâmetros de crescimento como maior altura e área foliar, maior acúmulo de biomassa, maior taxa fotossintética e menor conteúdo de H_2O_2 em concentrações mais elevadas (DH ChNP 3,0 mg L⁻¹). Em plantas irrigadas, a menor dose de ChNP (0,5 mg L⁻¹) induz valores superiores de crescimento, biomassa, conteúdo de peróxido de hidrogênio, enzima APX e taxa fotossintética.

A ação da ChNP fica evidente para as enzimas do sistema antioxidante, as quais foram aumentadas em todos os casos de aplicação de ChNP em plantas irrigadas e plantas sob déficit hídrico, com exceção da enzima APX.

Por meio dos parâmetros avaliados de biomassa, crescimento, fotossíntese e enzimas antioxidantes é possível concluir que as plantas estavam sob estresse hídrico, pois as plantas sob DH apresentaram os menores valores comparadas às plantas irrigadas, mesmo não havendo diferença estatística significativa em todos os casos. A aplicação de ChNP também indicou efeito por meio de valores mais altos dos parâmetros avaliados quando comparadas as plantas controle sem ChNP.

A condição de estresse hídrico influencia negativamente a qualidade pós produção das plantas, com redução do diâmetro de abertura da inflorescência e queda brusca precoce de lígulas. Não sendo visto influência das concentrações de ChNP neste parâmetro de pós produção.

REFERÊNCIAS

- ABADE, Mayra Taniely Ribeiro et al. **Determinação do conteúdo relativo de água em folhas de girassol (*Helianthus annuus* L.)**. In: VII Workshop de Agroenergia Materiais Primas. ISBN 978-85-85564-30-8, 2014.
- ABOU SEEDA, Mohamed et al. **Impacts of climatic changes on agronomically and physiological processes in plants: A review**. Middle East Journal of Agriculture Research, v. 11, n. 01, p. 206-292, 2022.
- ALMEIDA, Elka Fabiana Aparecida; Nietsche, Silvia; Mendes, Rosane Borges. **Aspectos legais da produção de plantas ornamentais**. Cultivo e manejo da Rosa-do-Deserto. 1ed.: Brazilian Journals Editora, 2021, v., p. 2.
- ALEEM, Muhammad Shahzad et al. **Incorporation of ascorbic acid in chitosan-based edible coating improves postharvest quality and storability of strawberry fruits**. International Journal of Biological Macromolecules, v. 189, p. 160-169, 2021
- ANASTACIO-ANGEL, Gerardo et al. **Effect of Biostimulants on Raspberry (*Rubus idaeus* L.) Growth, Physiology and Biochemical Quality Subjected to Water Stress**. Terra Latinoamericana, v. 42, 2024.
- ANITHA, A. et al. **Synthesis, characterization, cytotoxicity and antibacterial studies of chitosan, O-carboxymethyl and N, O-carboxymethyl chitosan nanoparticles**. Carbohydrate polymers. v. 78, n. 4, p. 672-677, 2009.
- ARAÚJO, G. G. L. **Os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e a produção animal em regiões semiáridas**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 8, n. 4, p. 598-609, 2015. DOI: 10.26848/rbgf.v8.0.p598-609.
- ASHRAF, Farkhanda; SIDDIQI, Ejaz Hussain. **Mitigation of drought-induced stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) via foliar application of Jasmonic acid through the augmentation of growth, physiological, and biochemical attributes**. BMC Plant Biology, v. 24, n. 1, p. 1-16, 2024.
- ASHRAF, H. et al. **Sustainable synthesis of microwave-assisted IONPs using *Spinacia oleracea* L. for control of fungal wilt by modulating the defense system in tomato plants**. Journal of Nanobiotechnology, v. 20, p. 8, 2022.
- ATTARAN DOWOM, Samaneh et al. **Chitosan nanoparticles improve physiological and biochemical responses of *Salvia abrotanoides* (Kar.) under drought stress**. BMC Plant Biology, v. 22, n. 1, p. 364, 2022.
- BALUSAMY, Sri Renukadevi et al. **Chitosan, chitosan nanoparticles and modified chitosan biomaterials, a potential tool to combat salinity stress in plants**. Carbohydrate Polymers, v. 284, 2022, p. 119189. DOI: 10.1016/j.carbpol.2022.119189.

BANGUN, Hakim; TANDIONO, Steven; ARIANTO, Anayanti. **Preparation and evaluation of chitosan-tripolyphosphate nanoparticles suspension as an antibacterial agent**. Journal of Applied Pharmaceutical Science, v. 8, n. 12, p. 147-156, 2018.

BARRADAS, J. M. M.; ABDELFATTAH, A.; MATULA, S.; DOLEZAL, F. **Effect of Fertigation on Soil Salinization and Aggregate Stability**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 141, n. 4, p. 1-7, 2015. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000806

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. **Superoxide dismutase improved as says and as say applicable to acrylamide gels**. Analytical Biochemistry, New York, v. 44, p. 276-287, 1971.

BEKMUKHAMETOVA, Alina et al. **Fabrication and characterization of chitosan nanoparticles using the coffee-ring effect for photodynamic therapy**. Lasers in Surgery and Medicine, v. 54, n. 5, p. 758-766, 2022.

BENAMER OUDIH, Samah et al. **Chitosan nanoparticles with controlled size and zeta potential**. Polymer Engineering & Science, v. 63, n. 3, p. 1011-1021, 2023.

BRAGA, Camila de Lima et al. **Análise de crescimento de girassol ornamental de vaso e aplicação de nitrogênio**. Scientia Agraria Paranaensis, p. 52-59, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa Nacional de Bioinsumos**. Brasília: MAPA, 2020.

CASTIGLIONI, V. B. R. et al. **Fases de desenvolvimento da planta de girassol**. 1994.

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. **Ecofisiologia do girassol**. In: LEITE, R. M. V. B. C.

CHEN, Xietian et al. **Photosynthetic characteristics, yield and quality of sunflower response to deficit irrigation in a cold and arid environment**. Frontiers in Plant Science, v. 14, p. 1280347, 2023.

COLLATZ, G. James; RIBAS-CARBO, Miquel; BERRY, Joseph A. **Coupled photosynthesis-stomatal conductance model for leaves of C4 plants**. Functional Plant Biology, v. 19, n. 5, p. 519-538, 1992.

DA SILVA, Ananda Covre et al. **Ácido acetilsalicílico no aumento da longevidade pós colheita de inflorescências de girassol ornamental**. Semina: Ciências Agrárias, v. 42, n. 3Supl1, p. 1411-1420, 2021. DOI: 10.5433/1679-0359.2021v42n3Supl1p1411.

DE BRITO, Paulo Ovídio Batista et al. **Plântulas de girassol sob condições de estresse salino suplementadas com algas marinhas**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 17, n. 1, p. 60-65, 2022. DOI: 10.18378/rvads.v17i1.8503.

DE MEDEIROS, Carolina Moreira; DA LUZ, Petterson Baptista. **Produção de girassol ornamental e o uso de resíduo industrial como substrato**. Research, Society and Development, v. 10, n. 6, p., 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15263.

DE MORAES CAMPOS, Anna Júlia; SANTOS, Sarah Medeiros; NACARATH, Inaia Rhavene Freire Fagundes. **Estresse hídrico em plantas: uma revisão**. Research, Society and Development, v. 10, n. 15, p. e311101523155-e311101523155, 2021.

DE SOUSA FERREIRA, Gabriela et al. Selênio em girassol sob estresse e atividade enzimática. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, v. 21, n. 10, p. 16648-16663, 2023.

DE SOUSA, Janacinta Nogueira et al. Produção de matéria seca e atividade enzimática antioxidativa de plântulas de girassol sob condições de estresse salino suplementadas com *Salvinia auriculata*. Nativa, v. 11, n. 1, p. 44-52, 2023. DOI: 10.31413/nativa.v11i1.13597.

DEL LONGO, O. T.; GOINZ´ZLEZ, C. A.; PASTORI, G. M.; TRIPPI, V. S. Antioxidant defenses under hyperoxygenic and hyperosmotic conditions in leaves of two lines of maize with differential to drought. Plant Cell Physiology, Oxford, v. 37, n. 7, p. 1023-1028, 1993.

DIVYA, K. et al. Optimization of chitosan nanoparticle synthesis and its potential application as germination elicitor of *Oryza sativa* L. Biomac, v. 19, p. 1067-1077, 2018. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.185.

DIVYA, K.; JISHA, M. S. Chitosan nanoparticles preparation and applications. Environ Chem Lett, v. 16, p. 101-112, 2018. DOI: 10.1007/s10311-017-0670-y.

DU JARDIN, Patrick. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. Scientia horticulturae, v. 196, p. 3-14, 2015.

EL-METWALLY, I. M., Saady, H. S. (2021). Interactional impacts of drought and weed stresses on nutritional status of seeds and water use efficiency of peanut plants grown in arid conditions. Gesunde Pflanz. 73 (4), 407–416.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. Agricultural Biologicals Market Size, Share and Industry Analysis By Type (Biopesticides, Biostimulants, and Biofertilizers), Source (Microbial and Biochemicals), Application Method (Foliar Spray, Soil Treatment, Seed Treatment, and Others), By Crops, and Regional Forecast 2019-2026. Fortune Business Insights (ed.). 2019. Disponível em: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industryreports/agricultural-biologicals-market-100411>.

GAZZOLA, A. Ferreira Junior, C. T. G., Cunha, D. A., Bortolini, E., Paiao, G. D., Primiano, I. V. & Oliveira, M. S. A cultura do girassol. Piracicaba: ESALQ, 2012.

GUPTA, A. K. et al. Recent advances on surface engineering of magnetic iron oxide nanoparticles and their biomedical applications. Nanomedicine (Lond), v. 2, n. 1, p. 23–29, 2007. DOI: 10.2217/17435889.2.1.23.

HASSAN, F. A. S.; ALI, E. F.; EL-DEEB, B. Improvement of postharvest quality of cut rose cv. ‘First Red’ by biologically synthesized silver nanoparticles. Scientia Horticulturae, v. 179, p. 340–348, 2014. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.09.053.

HATEM, Sajideen H.; JABBAR, Mundher Kh; AL-SALAMI, Intissar. Screening of Oil Sunflower Cultivars Grown in the Iraq Conditions Under Different Levels of Water

Stress. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. p. 012096.

HAVIR, E. A.; McHALE, N. A. **Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves.** Plant Physiol., v. 84, p. 450–455, 1987. DOI: 10.1104/pp.84.2.450

HAWRYLAK-NOWAK, Barbara et al. **Eliciting effect of foliar application of chitosan lactate on the phytochemical properties of *Ocimum basilicum* L. and *Melissa officinalis* L.** Food Chemistry, v. 342, p. 128358, 2021. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128358

HEATH, R.L., Packer L.: **Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation.** - Arch. Biochem. Biophys. 125: 189-198, 1968.

HERNÁNDEZ-FIGUEROA, Karla Ivonne et al. **Effectiveness of the application of biostimulants in snap bean under water stress.** Revista mexicana de ciencias agrícolas, v. 13, n. SPE28, p. 149-160, 2022.

HIDANGMAYUM, Akash et al. **Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress.** Physiology and Molecular Biology of Plants, v. 25, p. 313-326, 2019. DOI: 10.14416/j.asep.2020.12.007

IBRAFLOR. **O mercado de flores no Brasil.** Janeiro de 2024. Disponível em: https://www.ibraflor.com.br/_files/ugd/5bcab9_1de516ce08144d058bd8167c5db12ca8.pdf. Acesso em: 31 jul. 2024.

INGLE, A. et al. **Mycosynthesis of silver nanoparticles using the fungus *Fusarium acuminatum* and its activity against some human pathogenic bacteria.** Curr Nanosci, v. 4, n. 2, p. 141–144, 2008. DOI: 10.2174/157341308784340804

JAIN, Ankit et al. **Fabrication, characterization and cytotoxicity studies of ionically cross-linked docetaxel loaded chitosan nanoparticles.** Carbohydrate polymers, v. 137, p. 65-74, 2016.

JALALUDDIN, Mohd et al. **Evaluation, preparation, and description of chitosan nanoparticles, as well as improving rivaroxaban bioavailability.** Ip innovative publication, 2022.

JIANG, Li et al. **Melatonin Mitigates Water Deficit Stress in *Cenchrus alopecuroides* (L.) Thunb through Up-Regulating Gene Expression Related to the Photosynthetic Rate, Flavonoid Synthesis, and the Assimilatory Sulfate Reduction Pathway.** Plants, v. 13, n. 5, p. 716, 2024.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. **Sustainability in Brazilian floriculture: introductory notes to a systemic approach.** Ornamental Horticulture 24 (2): 155-162. 2018.

KATIYAR, Deepmala; HEMANTARANJAN, A.; SINGH, Bharti. **Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review.** Indian Journal of Plant Physiology, v. 20, p. 1-9, 2015. DOI: 10.1007/s40502-015-0139-6

KHANMOHAMMADI, Mohammadreza; ELMIZADEH, Hamideh; GHASEMI, Keyvan. **Investigation of size and morphology of chitosan nanoparticles used in drug delivery system employing chemometric technique.** Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR, v. 14, n. 3, p. 665, 2015

KIANI, M., Gheysari, M., Mostafazadeh-Fard, B., Majidi, M. M., Karchani, K., Hoogenboom, G. (2016). **Effect of the interaction of water and nitrogen on sunflower under drip irrigation in an arid region.** Agric. Water Manage. 171, 162–172. doi: 10.1016/j.agwat.2016.04.008

KUGARAJAH, Vaidhegi et al. **Investigation and Characterization of Chitosan Nanoparticles Isolated from Prawn Shell for Their Application as a Biofertilizer.** BioNanoScience, v. 13, n. 4, p. 1662-1671, 2023.

LEITE, R.M.V.B.C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil.** Londrina: Embrapa Soja, 2005. 641p.

LI, Zhou et al. **Metabolic pathways regulated by chitosan contributing to drought resistance in white clover.** Journal of proteome research, v. 16, n. 8, p. 3039-3052, 2017. DOI: 10.1021/acs.jproteome.7b00334

LIMA, Jucelino de Sousa et al. KI **.Increases Tomato Fruit Quality and Water Deficit Tolerance by Improving Antioxidant Enzyme Activity and Amino Acid Accumulation: A Priming Effect or Relief during Stress?.** Plants, v. 12, n. 23, p. 4023, 2023.

LUNARDI, Claire N. et al. **Experimental methods in chemical engineering: Zeta potential.** The Canadian Journal of Chemical Engineering, v. 99, n. 3, p. 627-639, 2021.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p

MITCHELL C. A. **Measurement of photosynthetic gas exchange in controlled environments.** HortScience, West Lafayette, v. 27, n. 7, p. 764-766, 1992.

MOSTAFA, Harby et al. **Water stress management for sunflower under heavy soil conditions.** Agricultural Engineering International: CIGR Journal, v. 23, n. 2, 2021.

MOSTAFA, Harby, and Mohamed T. Afify. **Influence of water stress on engineering characteristics and oil content of sunflower seeds.** Scientific Reports 12.1 (2022): 12418.

MURALI, M. et al. **Antibacterial and antioxidant properties of biosynthesized zinc oxide nanoparticles from Ceropogia candelabrum L.–an endemic species.** Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, v. 179, p. 104-109, 2017.

NAKANO, Yoshiyuki; ASADA, Kozi. **Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts.** Plant and cell physiology, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232

PEIXOTO, P. H. P.; CAMBRAIA, J.; SANTANNA, R.; MSQUIM, R.; MOREIRA, M. A. **Aluminum effect on lipid peroxidation and on the activities of enzymes of oxidative**

metabolism in sorghum. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v. 11, n. 3, p. 137- 143, 1999.

PEPPAS, N. A.; KROGH, A. **Chitosan-Based Hydrogels: Synthesis, Characterization and Applications.** *Advanced Drug Delivery Reviews*, v. 52, n. 1, p. 1-17, 2001. DOI: 10.1016/S0169-409X(01)00153-8.

RAMOS, Bárbara Louise Pacheco et al. **Fatores de desenvolvimento para plantas forrageiras e suas respostas sob condições de estresse.** Research, Society and Development, v. 11, n. 14, p. e288111435530-e288111435530, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i14.35530

SANGWAN, Seema et al. **Effect of chitosan nanoparticles on growth and physiology of crop plants. In: Engineered nanomaterials for sustainable agricultural production, soil improvement and stress management.** Academic Press, 2023. p. 99-123.

SAUDY, H. S., El-Metwally, I. M. **Nutrient utilization indices of NPK and drought management in groundnut under sandy soil conditions.** Commun. Soil Sci. Plant Anal, 2019. DOI: 10.1080/00103624.2019.1635147

SCHWAB, Natalia Teixeira et al. **A phenological scale for the development of Gladiolus.** Annals of Applied Biology, v. 166, n. 3, p. 496-507, 2015

SEYED HAJIZADEH, Hanifeh et al. **Effect of Chitosan nanoparticles on quality indices, metabolites, and vase life of Rosa hybrida cv. Black magic.** Chemical and Biological Technologies in Agriculture, v. 10, n. 1, p. 12, 2023.

SHIVASHAKARAPPA, Kuber. et al. **Nanotechnology for the detection of plant pathogens.** *Plant Nano Biology*, v. 2, 2022. DOI: 10.1016/j.plana.2022.100018.

SILVA, P. V. S. R; NASCIMENTO, P. dos S. **Soil salinity and sunflower development under irrigation with water of different quality.** Gesta, v. 7, n. 2, p. 255-269, 2019.

SONG, H. et al. **Effects of chitosan/nano-silica on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit during cold storage.** Postharvest Biology and Technology, v. 119, p. 41–48, 2016. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.04.015

STANGEL, G. D.; RICK, J.; FLEISCHHAUER, R. **Polyelectrolyte Complexes of Chitosan and Phosphates: Synthesis, Properties, and Applications.** *Journal of Biomedical Materials Research*, v. 43, n. 3, p. 289-297, 1998.

STASIŃSKA-JAKUBAS, Maria; HAWRYLAK-NOWAK, Barbara. **Protective, biostimulating, and eliciting effects of chitosan and its derivatives on crop plants.** *Molecules*, v. 27, n. 9, p. 2801, 2022. DOI: 10.3390/molecules27092801

STRAMBEANU, Nicolae et al. **Nanoparticles: Definition, classification and general physical properties. In: Nanoparticles' Promises and Risks: Characterization, Manipulation, and Potential Hazards to Humanity and the Environment.** Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 3-8.

TAKII do Brasil. *Helianthus Smiley*. Disponível em:
https://takii.com.br/dt_portfolios/helianthus-smiley-mda/. Acesso em: 06 de junho de 2024.

TOKATLI, K.; DEMIRDOVEN, A. **Effects of chitosan edible film coatings on the physicochemical and microbiological qualities of sweet cherry (*Prunus avium* L.)**. Scientia Horticulturae, v. 259, p. 108656, 2020. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108656

VOLD, Marjorie J. Zeta potential in colloid science. **Principles and applications**. Journal of Colloid and Interface Science, v. 88, n. 2, p. 608, 1982.

WAHID, I. et al. **Biosynthesized gold nanoparticles-maintained nitrogen metabolism, nitric oxide synthesis, ions balance, and stabilizes the defense systems to improve salt stress tolerance in wheat**. Chemosphere, v. 287, p. 132142, 2022. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.132142.

WEATHERLEY, P. E. **Studies in the water relations of the cotton plant I: the field measurements of water deficits in leaves**. New Phytologist, Cambridge, v. 49, p. 81-97, 1950.

ZHANG H, Lu L, Zhao X, Zhao S, Gu X, Du W, Wei H, Ji R, Zhao L (2019) **Metabolomics reveals the “invisible” responses of spinach plants exposed to CeO₂ nanoparticles**. Environ Sci Technol 53(10):6007–6017.