



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS E AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ESTEPHANNI FERNANDA OLIVEIRA DANTAS

ÓXIDO NÍTRICO COMO MITIGADOR MORFOFISIOLÓGICO EM
RABANETE SOB DÉFICIT HÍDRICO (*Raphanus sativus* L.)

BANANEIRAS - PB

2025

ESTEPHANNI FERNANDA OLIVEIRA DANTAS

**ÓXIDO NÍTRICO NA MITIGAÇÃO DOS DANOS MORFOFISIOLÓGICOS
CAUSADOS PELO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE RABANETE**
(Raphanus sativus L.)

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo expandido) apresentado ao Curso de Licenciatura em Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Licenciado em Ciências Agrárias.

Orientador: Profa. Dr. Thiago Jardelino Dias

Coorientador: Prof. Dr. Diego Silva Batista

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

D1926 Dantas, Estephanni Fernanda Oliveira.

Óxido nítrico como mitigador morfofisiológico em
rabanete sob déficit hídrico (*Raphanus sativus* L.) /
Estephanni Fernanda Oliveira Dantas. - Bananeiras-PB,
2025.

22 f. : il.

Orientação: Thiago Jardelino Dias.

TCC (Graduação) - Ciências Agrárias - UFPB/CCHSA.

1. *Raphanus sativus* L. 2. Biorregulador. 3. Déficit
hídrico. I. Dias, Thiago Jardelino. II. Título.

UFPB/CCHSA-BANANEIRAS

CDU 63 (043)

ESTEPHANNI FERNANDA OLIVEIRA DANTAS

**ÓXIDO NÍTRICO NA MITIGAÇÃO DOS DANOS MORFOFISIOLÓGICOS CAUSADOS
PELO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE RABANETE (*Raphanus sativus* L.)**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo
expandido) apresentado ao Curso de
Licenciatura em Ciências Agrárias, da
Universidade Federal da Paraíba, como
requisito para obtenção do título de
Licenciado em Ciências Agrárias.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
THIAGO JARDELINO DIAS
Data: 22/10/2025 20:30:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Thiago Jardelino Dias
Orientador



Documento assinado digitalmente
DIEGO SILVA BATISTA
Data: 22/10/2025 20:48:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Diego Silva Batista
Coorientador



Documento assinado digitalmente
VANESSA DE AZEVEDO SOARES
Data: 22/10/2025 22:18:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Mestranda Vanessa de Azevedo Soares
Examinadora



Documento assinado digitalmente
SABRINA KELLY DOS SANTOS
Data: 23/10/2025 17:59:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Sabrina Kelly Santos
Examinadora

Dedico ao meu tio, Frankcinildo, que quando eu ainda nem imaginava iniciar uma graduação, ele já vislumbrava essa conquista por mim. Hoje, sigo nessa trajetória com o coração cheio de gratidão e muita saudade sabendo que, lá do céu, ele continua ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

A jornada até aqui foi construída com muita fé, esforço, dedicação e, principalmente, com o apoio de pessoas que estiveram ao meu lado nos momentos mais desafiadores e também nos mais felizes. É a essas pessoas que dedico minha mais profunda gratidão. Agradeço primeiramente a Deus por nunca ter me desamparado, por me permitir viver uma vida tão feliz e abençoada e por sempre confortar meu coração nos momentos em que a distância de casa machucava.

A minha mãe, Frankcineide, e ao meu pai, Arlindo, pelo amor incondicional, pela força e pelos valores que me ensinaram. À minha avó, Anunciação, por seu carinho e por ser meu alicerce em tantos momentos. Aos meus irmãos Arlian, Aryan e Arlan, por estarem sempre presentes, com a união mais linda que já vi, companhia e apoio. A minha prima Mikaelly que sempre me apoiou. O amor e a união da minha família são a minha base. É dessa estrutura firme e afetuosa que tiro a coragem de seguir em frente, de enfrentar os desafios e de voar cada vez mais alto. Saber que tenho um lar cheio de amor, que me acolhe e me apoia incondicionalmente, me dá a segurança necessária para explorar o novo e conquistar meus sonhos. Ao meu namorado Junior, que foi meu porto seguro durante toda essa caminhada. Obrigada por me acalmar nos dias difíceis, por me lembrar da minha capacidade quando eu mesma duvidava, por vibrar comigo a cada conquista, por não medir esforços em todas as vezes que precisei de ajuda e por estar ao meu lado com tanto amor, paciência e companheirismo em todos esses anos, sua presença fez toda a diferença. Estendo minha gratidão à família dele, que me acolhe com tanto carinho e afeto.

À minha comadre Clara, minha amiga de infância e irmã de coração. Desde o ensino fundamental superando fases difíceis, mudanças e distâncias. Hoje, tenho a honra de ser madrinha do pequeno Saulo, um dos maiores presentes que essa vida me deu. Ao meu compadre Ivan, por dividir esse laço familiar, e ao meu afilhado que enche minha vida de afeto e propósito. Sou imensamente grata também à família e aos amigos que a EAJ-UFRN me presenteou – Wendelly e o pequeno José Gabriel, Lucas e Pedro que, mesmo à distância, nunca deixaram de acreditar em mim e me lembrar do quanto sou capaz. Gabriel, que esteve presente em todas as fases, nas vitórias e nas dores, sempre com um conselho, uma palavra de força ou um abraço silencioso, não é à toa que é considerado membro da família. Obrigada por tudo que representas na minha vida e por nunca me deixar esquecer quem sou.

Minha gratidão especial ao Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias da UFPB (CCHSA), que foi mais do que um espaço de formação acadêmica, um lugar de descobertas, crescimento e encontros inesquecíveis. Onde construí parte fundamental da minha trajetória, e sou muito grata por tudo que vivi e aprendi nesse centro que tanto me marcou. Ao Grupo de Fisiologia Vegetal (GFV), o melhor grupo de pesquisa que eu poderia desejar, minha eterna gratidão. Em

especial aos professores Diego e Juliane, que desde o primeiro contato se mostraram ser pessoas incríveis e aos amigos Sabrina, Daniel, Arturzinho, Vanessa, Antônio e Damiana. Vocês se tornaram uma verdadeira família acadêmica, com quem sempre soube que poderia contar, com vocês todos os encontros se tornaram campo de aprendizado. A vocês e ao Professor Thiago Jardelino, que aceitou o desafio de me orientar neste momento tão importante, meu sincero agradecimento. Sem o apoio, a orientação e a parceria de vocês, a execução desse trabalho não teria sido possível.

Aos amigos que a UFPB trouxe para minha vida e que tornaram essa caminhada mais leve e prazerosa, ajudando a aliviar a saudade de casa com tantos momentos especiais que colecionamos: Fátima e sua família, Thais, Aline, Adriele e sua família, Argemiro, Valéria, Edna, Priscila, Gustavo, Alexandre, Isadora, Daniel, Franciele, Julio e Henry, Jaini e M. Alice, Karol e Marcus, Piedade, Pedro e Hellen, Maricélia, Samara, Braz, Henrique e Maiara – cada um de vocês tem um lugar especial na minha história. Aos professores e servidores da instituição, que contribuíram não apenas para minha formação acadêmica, mas também pessoal. Agradeço especialmente a Gilvaneide, Raunira, Fabrícia, Isabela, Isabele, Otávio, Leandro, Cícero, dona Fátima e seu Antônio por compartilharem comigo conhecimentos, experiências e, acima de tudo, gentileza e humanidade.

A cada um de vocês, meu sincero agradecimento. Essa conquista também é de todos vocês.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Massa seca aérea e radicular, razão parte aérea/raiz, diâmetro da raiz, extravasamento de eletrólitos e conteúdo relativo de água em plantas de rabanete aos 30 dias após a semeadura..14

Figura 2 - Assimilação de carbono (A), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), eficiência do uso da água (WUE), o eficiência de carboxilação (ICE) e o parâmetro de fluorescência (Fv/Fm) em plantas de rabanete aos 30 dias após a semeadura.....15

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 METODOLOGIA	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
REFERÊNCIAS	17

RESUMO

As mudanças climáticas e a intensificação da seca afetam a produtividade agrícola, gerando impactos socioeconômicos e ameaçando a biodiversidade e a segurança alimentar. Diante disso, estudos têm investigado os efeitos do estresse hídrico no desenvolvimento vegetal e os mecanismos de defesa ativados, como a realocação de biomassa para as raízes. O rabanete (*Brassicaceae*) é uma hortaliça que demonstra adaptações a condições adversas, mas sua produtividade é comprometida quando a disponibilidade hídrica fica abaixo de 80% da capacidade de retenção de água (CRA) do solo. Nesse contexto, biorreguladores como o óxido nítrico (NO) surgem como alternativas para mitigar os efeitos da seca. Este estudo avaliou a eficácia do doador de NO, nitroprussiato de sódio (SNP), na morfofisiologia do rabanete sob estresse hídrico. Durante 28 dias, plantas foram submetidas a três regimes de irrigação: irrigação diária (80% CRA), suspensão da irrigação dos 14 aos 21 dias após a semeadura (DAS), e dos 21 aos 28 DAS. As plantas foram pulverizadas semanalmente com 15 mL de SNP (100 µM) ou água (0 µM, controle). O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 3×2 (regimes de irrigação $\times$ aplicação de soluções), com dez repetições. Avaliaram-se trocas gasosas, fluorescência da clorofila a, pigmentos fotossintéticos, extravasamento de eletrólitos, teor relativo de água e partição de biomassa. Os resultados demonstraram a relevância da água para o crescimento do rabanete e o potencial do SNP como mitigador dos efeitos do estresse hídrico em plantas estressadas entre 14 e 21 dias após a semeadura (DAS), apesar do risco de, em certos casos, induzir estresse oxidativo.

Palavras-chave: *Raphanus sativus* L.. Biorregulador. Déficit hídrico.

ABSTRACT

Climate change and the intensification of drought affect agricultural productivity, generating socioeconomic impacts and threatening biodiversity and food security. In this context, studies have investigated the effects of water stress on plant development and the defense mechanisms activated, such as biomass reallocation to the roots. Radish (*Brassicaceae*) is a vegetable that exhibits adaptations to adverse conditions, but its productivity is compromised when water availability falls below 80% of the soil's water-holding capacity (WHC). In this scenario, bioregulators such as nitric oxide (NO) have emerged as alternatives to mitigate the effects of drought. This study evaluated the effectiveness of the NO donor sodium nitroprusside (SNP) on the morphophysiology of radish under water stress. Over a period of 28 days, plants were subjected to three irrigation regimes: daily irrigation (80% WHC), irrigation suspension from 14 to 21 days after sowing (DAS), and from 21 to 28 DAS. Plants were sprayed weekly with 15 mL of SNP (100 μ M) or water (0 μ M, control). The experiment followed a completely randomized design (CRD) in a 3×2 factorial arrangement (irrigation regimes $\times$ solution application), with ten replications. Gas exchange, chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments, electrolyte leakage, relative water content, and biomass partitioning were evaluated. The results demonstrated the importance of water for radish growth and the potential of SNP to mitigate the effects of water stress in plants stressed between 14 and 21 days after sowing (DAS), despite the risk of, in some cases, inducing oxidative stress.

Keywords: *Raphanus sativus* L.. Bioregulator. Water deficit.

1 INTRODUÇÃO

A crescente seca provocada pelas mudanças climáticas que vem ocorrendo em nosso planeta, pode oferecer grandes riscos para todo o mundo (Srivastav et al., 2021). Na agricultura não é diferente, culturas que são produzidas sob baixa disponibilidade hídrica podem apresentar perda de produtividade e qualidade, além de causar impactos socioeconômicos significativos (Pimentel, 2021), ameaçando a biodiversidade e a segurança alimentar (Joly et al., 2020), o que provoca muitos impactos nas propriedades rurais que são responsáveis por gerar muitos empregos.

Campos et al. (2021) ressalta os danos que a limitação de água oferece para o funcionamento, crescimento e desenvolvimento de plantas. A intensidade e a permanência dos danos causados pelo estresse hídrico nas plantas são variáveis, dependendo da fase de desenvolvimento em que se encontram (Slette et al., 2019). Quando cultivadas em condições de estresse as plantas desencadeiam uma série de mecanismos próprios de defesa, por exemplo, as espécies reativas de oxigênio (EROs) são produzidas naturalmente, mas em condição de estresse, a sua produção pode aumentar, levando a um desequilíbrio redox e potencialmente a danos celulares (Apel e Hirt, 2004). Além disso, algumas espécies muitas vezes realocam biomassa para raízes, a exemplo do rabanete (*Raphanus sativus*).

O rabanete pertencente à família das Brassicaceae, é considerado uma hortaliça que possui raiz tuberosa, com sabor picante, polpa crocante, fonte de vitaminas, possuidor de bom valor nutricional e que vem sendo cada dia mais introduzido na dieta humana (Lana et al., 2010), consumido preferencialmente *in natura*. O rabanete já se mostrou também promissor na prevenção e tratamento de diabetes auxiliando na redução do açúcar no sangue (Banihani, 2017).

Dentre a vasta área de exploração em que o rabanete pode ser inserido, estão pesquisas sobre a sua produtividade e desenvolvimento em diferentes densidades populacionais, além de diferentes possibilidades de sombreamentos e aplicações de biorreguladores, no intuito de atenuar danos de estresses abióticos (Souza et al., 1999; Lucchesi et al., 1976; Soares et al., 2023), demonstrando que o rabanete também é um ótimo instrumento de pesquisa. Segundo Rodrigues et al. (2013) a produção e desenvolvimento do rabanete são significativamente reduzidos, quando cultivado em condições abaixo de 80% de água disponível no solo. Portanto, o uso de biorreguladores vem sendo cada dia mais pesquisado para reverter esses danos, a exemplo de ácido salicílico (Henschel et al., 2022), carnitina (Santos et al., 2022) e óxido nítrico (Ferreira et al., 2023).

O óxido nítrico (NO), apesar de ser um gás possuidor de ausência de cheiro e coloração, tem sido comumente citado em estudos na área da saúde humana e vegetal. Carvajal et al. (2017), reuniram dados sobre sua atuação em diversos processos fisiológicos em plantas tais como, o que vem tornando esse nicho de pesquisa cada dia mais ativo, especialmente pela busca por maximização da produtividade agrícola. Nesse contexto, a compreensão do papel do NO torna-se crucial, visto que em resposta a estresses abióticos, diversos produtos fisiológicos podem sofrer aumento em sua produção causando desequilíbrio no funcionamento morfofisiológico da planta, um cenário que a pesquisa com NO busca entender e possivelmente controlar.

Mata-pérez et al. (2023), apontaram em estudo que o NO, auxilia a adaptação das plantas sob essas condições, aliviando os danos causados pela expansão da quantidade de EROs e instabilidade redox, reajustando o equilíbrio funcional da planta. Devido a sua natureza gasosa, o NO vem sendo aplicado nas plantas principalmente a partir de doadores mais estáveis, como é o caso do nitroprussiato de sódio (SNP) (Ferreira et al., 2023).

Apesar do potencial do SNP na mitigação do déficit hídrico ter sido comprovado em outras espécies, sua aplicação em rabanete ainda necessita de estudos, para que seja possível entender a atuação dessa molécula como atenuante de estresse nesta espécie. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a aplicação do nitroprussiato de sódio na mitigação do déficit hídrico em plantas de rabanete.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada em uma estufa com cobertura de plástico transparente, situada no setor de experimentação do Laboratório de Produção de Mudas, pertencente ao Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCHSA/UFPB), localizado em Bananeiras, Paraíba, Brasil. Durante o experimento, a temperatura média registrada foi de 30,32 °C, variando entre 22,40 e 46,92 °C, e a umidade relativa do ar manteve-se em 67%, oscilando entre 32% e 98%.

As plantas foram cultivadas em vasos de polietileno de 5 litros, com dimensões de 17 cm de altura por 21cm de largura, preenchidos com substrato comercial Mecplant®, que é uma mistura de casca de pinus bioativada e vermiculita enriquecida com calcário, macro e micronutrientes, semeadas oito sementes por vaso. Após a semeadura, cada vaso recebeu 5 gramas de fertilizante granulado NPK (10-10-10). No sétimo dia após a semeadura (7 DAS), foi realizado o desbaste, mantendo uma plântula por vaso. A colheita foi realizada aos 28

DAS.

Inicialmente, as mudas foram irrigadas com água suficiente para atingir 100% da capacidade de retenção de água (CRA) no substrato durante os primeiros 7 (sete) dias, correspondendo à fase fenológica inicial (Lacerda et al. 2022). Posteriormente, foi iniciado o manejo da irrigação para atender a três regimes distintos, compreendendo: irrigação diária, restrição da irrigação dos 14 aos 21 DAS; e restrição da irrigação dos 21 aos 28 DAS, mantendo 80% da CRA para todos os tratamentos. O regime de 80% da CRA foi estabelecido com base no método de lisimetria de pesagem (Santos et al. 2022).

Além disso, a cada 7 (sete) dias, as plantas foram tratadas com aplicações exógenas de nitroprussiato de sódio (SNP), um doador de óxido nítrico, na concentração de 100 μM e água para o grupo controle, totalizando três aplicações, aos 7, 14 e 21 DAS. Utilizando um pulverizador manual de 500 mL (Boulevard, Esteio, RS, Brasil), as folhas foram borrifadas até completa saturação. Em ambas soluções foi adicionado uma gota de polissorbato surfactante 80 (Tween-80®, 0,03% v/v) para melhorar a aderência das soluções, totalizando um volume de 15 mL por planta.

Aos 27 DAS, realizou-se a medição das trocas gasosas utilizando um analisador de gás infravermelho (IRGA; LCpro-SD Portable Photosynthesis System, ADC BioScientific, Reino Unido). Seis plantas de cada tratamento foram selecionadas para análise entre 8:00 e 9:00 da manhã, empregando folhas completamente expandidas. A concentração de referência de CO_2 utilizada foi ambiente, com uma radiação fotossinteticamente ativa de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, incluindo 10% de luz azul, um fluxo de ar de 200 $\mu\text{mol s}^{-1}$, além da temperatura ambiente e umidade relativa. As variáveis mensuradas incluíram a taxa líquida de assimilação de carbono (A), a condutância estomática (g_s), a concentração interna de CO_2 (C_i) e a taxa de transpiração (E). Também foram calculados a eficiência no uso da água (A/E) e a eficiência de carboxilação (A/C_i).

Simultaneamente, avaliou-se a fluorescência da clorofila a (ChIF) utilizando um fluorômetro portátil (OS-30p+, Opti-Sciences, EUA). Foram determinados os parâmetros de fluorescência mínima (F_0), máxima (F_M), variável (F_V), o rendimento quântico máximo do PSII (F_V/F_M) e a razão entre a fluorescência variável e mínima (F_V/F_0), conforme descrito por Tsimilli-Michael (2020).

Aos 28 DAS, foi realizada a colheita das plantas para análises não destrutivas e destrutivas. Folhas completamente expandidas de dez plantas por tratamento foram utilizadas para a quantificação dos pigmentos fotossintéticos através do clorofiLOG, obtendo duas leituras de duas folhas para cada repetição.

Para a análise do extravasamento de eletrólitos, seguindo o método de Bajji et al. (2002), realizaram-se cinco repetições por tratamento, onde dez discos foliares (1 cm²) foram lavados e incubados em 8 mL de água destilada durante 6 horas. A condutividade elétrica inicial (CEi) e final (CEf) da solução foi medida com um condutivímetro portátil (Modelo CD-860, Instrutherm®), e os resultados foram expressos em porcentagem, utilizando a fórmula $(CEi/CEf) \times 100$.

Para determinar o teor relativo de água, conforme Barr e Weatherley (1962), quatro repetições foram utilizadas. Dez discos foliares (1 cm²) foram coletados e pesados imediatamente para obter a massa fresca (MF). Após 6 horas de incubação em água destilada, foram pesados novamente para calcular a massa túrgida (MT). Posteriormente, foram secos a 65°C por 24 horas, para obter a massa seca (MS) e o conteúdo relativo de água, calculado por $[(MF-MS)/(MT-MS) \times 100]$, expresso em porcentagem.

A partição de biomassa e os parâmetros de crescimento foram avaliados separando cinco plantas de cada tratamento em parte aérea e radicular com um bisturi. O diâmetro e o comprimento da raiz globular foram medidos com um paquímetro Vernier. Todas as partes foram pesadas para obter a massa fresca da parte aérea (MFA) e da parte radicular (MFR). Em seguida levadas à estufa de circulação forçada de ar a 65° C até atingir massa constante, determinando assim a massa seca da parte aérea (MSA) e da parte radicular (MSR). Com a massa seca pôde ser calculada a razão parte aérea/raiz (MSA/MSR).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3×2 (três regimes de irrigação $\times$ duas soluções aplicadas), resultando em 6 tratamentos com 10 repetições cada, totalizando 60 plantas. Cada unidade experimental foi composta por um vaso contendo uma planta. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas que receberam irrigação contínua tiveram maior produção de massa seca, tanto nas folhas (MSF) quanto nas raízes (MSR), do que as plantas que passaram por seca ou foram reidratadas depois da seca (Figura 1b-c). Por outro lado, a aplicação de nitroprussiato de sódio (SNP) ajudou a reduzir os efeitos negativos da seca na massa foliar (MSF) e também diminuiu o estresse causado pela re-irrigação na massa das raízes (MSR), quando comparado com plantas que não receberam o SNP (plantas controle) (Figura 1b-c). Apesar da aplicação

de SNP não ter interferido na razão parte aérea/raiz, as plantas bem irrigadas obtiveram uma menor razão quando comparadas com as demais plantas (Figura 1d). As aplicações e imposições hídricas não resultaram efeitos significativos para o diâmetro da raiz (Figura 1e). O extravasamento de eletrólitos (EE) foi menor nas plantas bem irrigadas, no entanto a combinação da re-irrigação com aplicação de SNP reduziu esse dano enquanto, nas plantas que tiveram a irrigação suspensa a partir dos 21 DAS não houve redução (Figura 1 f). Já o conteúdo relativo de água (CRA) foi reduzido apenas em plantas tratadas com SNP e sem irrigação dos 21 aos 28 DAS (Figura 1g).

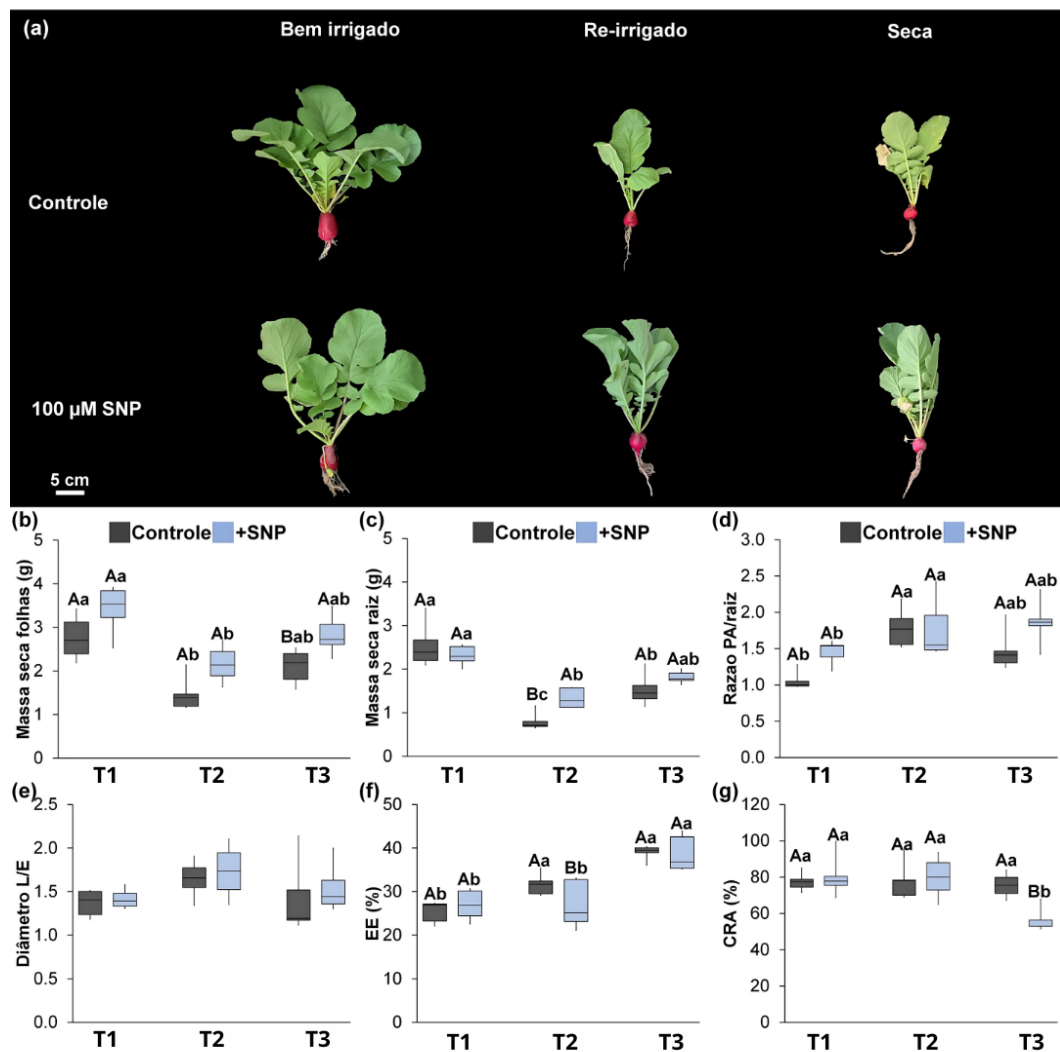


Figura 1. Massa seca aérea e radicular, razão parte aérea/raiz, diâmetro da raiz, extravasamento de eletrólitos e conteúdo relativo de água em plantas de rabanete aos 30 dias após a sementeira. As linhas dentro da caixa mostram os valores medianos cercados por caixas inferiores e superiores indicando o primeiro e o terceiro quartil ($n = 5$). Letras maiúsculas comparam plantas controle e tratadas com SNP, e letras minúsculas comparam condições hídricas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Os resultados deste estudo demonstraram que a disponibilidade hídrica é um fator

determinante para o crescimento e desenvolvimento de rabanete. Plantas melhor irrigadas apresentaram maior massa seca foliar e radicular, indicando que a água é essencial para os processos fisiológicos relacionados ao crescimento vegetativo (Oliveira et al., 2015). A aplicação de SNP mostrou potencial para mitigar os efeitos negativos da seca, especialmente na massa seca foliar. A molécula de NO, liberada pelo SNP, atua como um sinalizador endógeno, induzindo diversas respostas fisiológicas que conferem tolerância ao estresse hídrico, como a regulação da abertura estomática e o aumento da atividade antioxidante que pode ter ajudado as plantas de rabanete a aumentar a biomassa, em condições de estresse (Carvajal et al., 2017).

A menor razão entre parte aérea/raiz observada em plantas mantidas à 80% da CRA sugere que houve maior alocação de biomassa para o sistema radicular, com maior absorção de água e nutrientes em condições favoráveis, podendo ser considerada uma estratégia de sobrevivência da própria planta (Beloni et al., 2013). O fato de o SNP e os diferentes tratamentos hídricos não alterarem o diâmetro da raiz, sugerindo que esse parâmetro é menos sensível a essas condições de cultivo.

O extravasamento de eletrólitos e o conteúdo relativo de água foram influenciados pelas condições hídricas a que as plantas foram submetidas e pela aplicação de SNP. A redução no extravasamento de eletrólitos em plantas cultivadas com a CRA em 80%, bem com os resultados obtidos na combinação de restrição hídrica entre 14 e 21 DAS e a pulverização de SNP, sugere menor dano às membranas celulares e maior integridade tecidual (Silva et al., 2016). O menor conteúdo relativo de água em plantas sob estresse hídrico é esperado, pois a deficiência hídrica leva à perda de água e à diminuição do turgor celular (Corrêa, 2021).

A ausência de irrigação iniciada aos 21 DAS até o final do ciclo reduziu consideravelmente a taxa de assimilação de CO₂ (*A*), a condutância estomática (*gs*) e a taxa de transpiração (*E*), essas reduções foram intensificadas com a aplicação de SNP em plantas de rabanete mantidas em 80% da CRA e nas que passaram por estresse hídrico dos 14 aos 21 DAS (Fig. 2a, b, c). A eficiência do uso da água (WUE) e a eficiência de carboxilação (ICE) foram reduzidas nas plantas sob condição de estresse ao final do ciclo (a partir de 21 DAS), enquanto o parâmetro de fluorescência (*Fv/Fm*) não foi afetado pela condição hídrica e presença de NO (Fig. 2d, e, f).

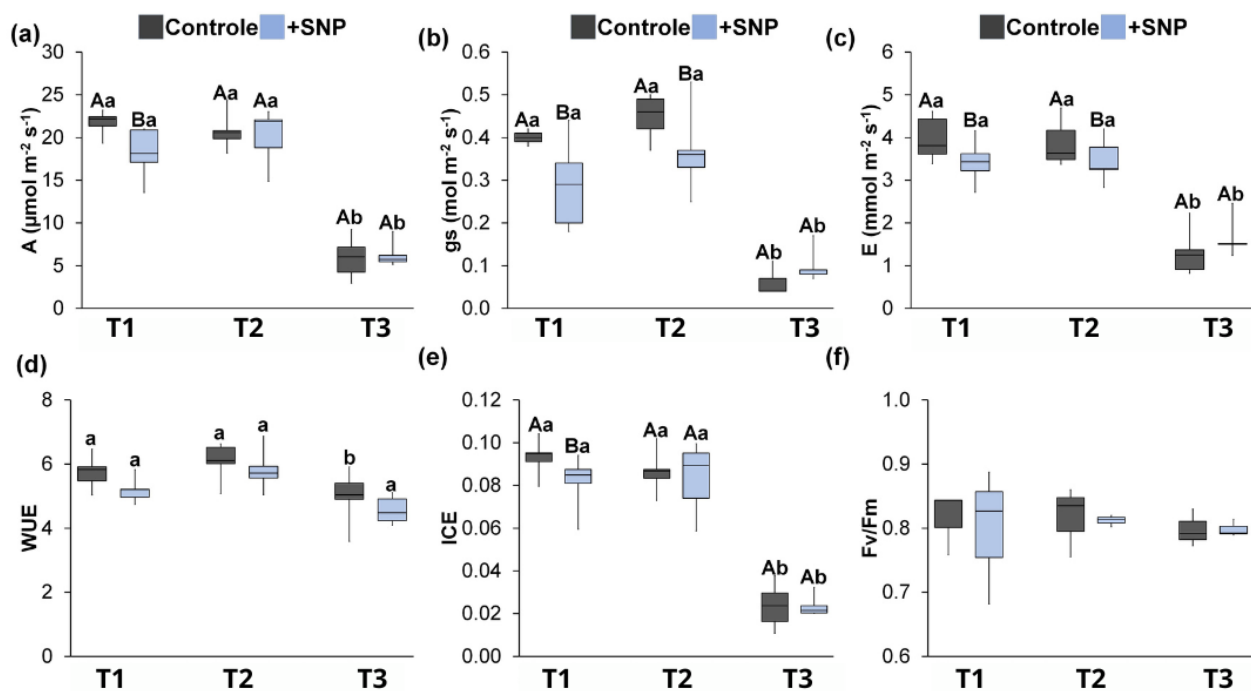


Figura 2. Assimilação de carbono (A), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), eficiência do uso da água (WUE), a eficiência de carboxilação (ICE) e o parâmetro de fluorescência (Fv/Fm) em plantas de rabanete aos 30 dias após a semeadura. As linhas dentro da caixa mostram os valores medianos cercados por caixas inferiores e superiores indicando o primeiro e o terceiro quartil (n = 5). Letras maiúsculas comparam plantas controle e tratadas com SNP, e letras minúsculas comparam condições hídricas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

O fechamento estomático em resposta ao estresse hídrico é um mecanismo de defesa comum em plantas, visando reduzir a perda de água por transpiração e evitar a desidratação (Fioreze et al., 2013). A aplicação de SNP, intensificou os efeitos do estresse sobre a fotossíntese e a transpiração. Embora o NO seja conhecido por promover o crescimento e o desenvolvimento das plantas em condições normais, em situações de estresse hídrico, ele pode ter efeitos complexos e dependentes da concentração e do tempo de exposição (Khator et al., 2024).

Alguns estudos sugerem que o NO pode amplificar os sinais de estresse, levando a uma maior produção de espécies reativas de oxigênio e danos oxidativos (Ferreira et al., 2010). Isso pode ser confirmado pela menor ICE em plantas de rabanete que não sofreram estresse, porém receberam doses de SNP. Por outro lado, a manutenção do Fv/F_m sugere que a capacidade de absorção de luz e a integridade do aparelho fotossintético não foram comprometidas de forma significativa pelo estresse ao final do ciclo ou pela aplicação de SNP.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo evidenciam a importância da água para o crescimento e desenvolvimento de rabanete. A aplicação de SNP mostrou potencial para mitigar os efeitos negativos do estresse hídrico no período compreendido entre 14 e 21 DAS em plantas de rabanete, embora em algumas situações possa desencadear estresse oxidativo. A alocação de biomassa para o sistema radicular, em plantas mantidas com a CRA em 80%, é uma estratégia adaptativa para a aquisição de recursos. Em geral, os resultados destacam a complexidade das respostas das plantas ao estresse hídrico e à aplicação de compostos sinalizadores como o SNP.

REFERÊNCIAS

- APEL, K.; HIRT, H. **Reactive Oxygen Species: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction.** Annual review of plant biology, (2004). doi: [10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701](https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701)
- BARR, H. D.; WEATHERLEY, P. E. **A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves.** Aust J Biol Sci 15, (1962), 413–428. <https://doi.org/10.1071/BI9620413>
- BAJJI, M.; KINET, J. M.; LUTTS, S. **The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat.** Plant Growth Regul 36:61–70. (2002). <https://doi.org/10.1023/A:1014732714549>
- BANIHANI, S. A. **Radish (*Raphanus sativus*) and diabetes.** Nutrients, v. 9, n. 9, p. 1014, 2017. doi: [10.3390/nu9091014](https://doi.org/10.3390/nu9091014)
- BELONI, T.; VIGNA, B. Z.; PEZZOPANE, C. G.; SANTOS, P. M. **Biomassa Seca e Relação Raiz-Parte Aérea de Acessos de Paspalum Submetidos ao Alagamento do Solo.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2013.
- CARVAJAL, N. V. et al., **Óxido Nítrico, seu Papel na Fisiologia Vegetal: Uma Revisão de Literatura.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Produção Vegetal. 2017. Disponível em: [1358_1464_01.pdf \(univap.br\)](https://repositorio.univap.br/bitstream/handle/1358_1464_01.pdf)
- CAMPOS, A. J. DE M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. **Water stress in plants: a review.** Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 15, p. e311101523155, 2021. DOI:<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.23155>.
- CORRÊA, A. P. **Comportamento de plantas forrageiras submetidas à deficiência hídrica e seus mitigadores.** 2021. <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1913>
- FERREIRA, L. C.; CATANEO, A. C. **Óxido nítrico em plantas: breve abordagem sobre essa molécula multifuncional.** Scientia Agricola, v. 67, n. 2, p. 236-243, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-9016201000020001>
- FERREIRA, L. M., HENSCHER, J. M., DE ALMEIDA MENDES, J. J. V., DA SILVA GOMES, D., DOS SANTOS, S. K., LOPES, A. S., ... & BATISTA, D. S. **Sodium nitroprusside alleviates moderate drought stress in beet (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris*) by modulating its**

photosynthetic capacity. Journal of Plant Growth Regulation, v. 43, n. 3, p. 755-769, 2024. doi: <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11135-4>

FIGEZE, S. L. et al. **Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 48, p. 1432-1439, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001100003>

HENSCHER, J. M., DANTAS, E. F. O., DE AZEVEDO SOARES, V., DOS SANTOS, S. K., DOS SANTOS, L. W. O., DIAS, T. J., & BATISTA, D. S. **Salicylic acid mitigates the effects of mild drought stress on radish (*Raphanus sativus*) growth.** Functional Plant Biology, 49(9), 822-831, 2022. doi: <https://doi.org/10.1071/FP22040>

JOLY, C. A.; QUEIROZ, H. L. **Pandemia, biodiversidade, mudanças globais e bem-estar humano.** Estudos avançados, v. 34, n. 100, p. 67-82, 2020. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.006>

LACERDA, V. R.; ACEVEDO, A. F. G.; MARQUES, I. C. S.; DELLABIGLIA, W. J.; FERRAZ, A. K. L.; BASÍLIO, L. S. P.; BROETTO, F. **Silicon as a mitigator of water deficit stress in radish crop.** Sci Horti 291:110600. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110600>

LANA, M. M.; TAVARES, S. A. (Ed.). **50 Hortaliças: como comprar, conservar e consumir.** 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 209 p. il. color. 2010. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/854775>

LUCCHESI, A. A. et al. **Radish (*Raphanus sativus* L.) productivity related to plant population density.** Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, v. 33, p. 577-582, 1976.

MATA-PÉREZ, C. et al. **Functions of nitric oxide-mediated post-translational modifications under abiotic stress.** Frontiers in Plant Science, v. 14. 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1158184>

OLIVEIRA, S. R.; ANDRADE, A. S.; RIBEIRO, V. Q.; BRITO, R. R.; CARVALHO, M. W. **INTERAÇÃO DE NÍVEIS DE ÁGUA E DENSIDADE DE PLANTAS NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO-CAUPI, EM TERESINA, PI. IRRIGA, [S. l.], v. 20, n. 3, p. 502–513, 2015. DOI: 10.15809/irriga.2015v20n3p502.**

PIMENTEL, J. N. F. **Impacto da escassez hídrica na agricultura irrigada e estratégia de cultivo e manejo da irrigação em condições de déficit hídrico.** 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/63693>

RODRIGUES, R. et al. **Produção de rabanete em diferentes disponibilidades de água no solo.** Enciclopédia Biosfera, v. 9, n. 17, 2013. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3189>

SANTOS, S. K., DA SILVA GOMES, D., DOS SANTOS, L. W. O., DE AZEVEDO SOARES, V., DANTAS, E. F. O., HENSCHER, J. M., & BATISTA, D. S. **Exogenous carnitine mitigates the deleterious effects of mild-water stress on arugula by modulating morphophysiological responses.** Journal of Plant Growth Regulation, 42(7), 4073-4082, 2023. doi: <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10868-y>

SILVA, K. S. et al. **Electrolyte leakage and the protective effect of nitric oxide on leaves of flooded rice exposed to herbicides.** Planta Daninha, v. 34, p. 777-786, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-835820163404000>

SOARES, V. A. et al. **Metil Jasmonato na mitigação dos danos morfofisiológicos causados pelo déficit hídrico em plantas de rabanete (Raphanus sativus L).** 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/29524>

SOUZA, J. R. et al. **Shading and the development and yield of radish.** Scientia Agricola, v. 56, p. 987-992, 1999.

SLETTE, I. J.; POST, A. K.; AWAD, M.; EVEN, T.; PUNZALAN, A.; WILLIAMS, S.; SMITH, M. D.; KNAPP, A.K. **How ecologists define drought, and why we should do better.** Global Change Biology 25, 3193–3200. (2019). <https://doi.org/10.1111/gcb.14747>

SRIVASTAV, A. L.; DHYANI, R.; RANJAN, M.; MADHAV, S.; SILLANPAA, M. **Climate-resilient strategies for sustainable management of water resources and agriculture.** Environ Sci Pollut Res 28, 41576–41595, (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14332-4>

KHATOR K., PARIHAR S., JASIK J., SHEKHAWAT G.S. **Nitric oxide in plants: an insight on redox activity and responses toward abiotic stress signaling.** Plant Signal Behav. v. 19. n. 1. p. 2298053, 2024. doi: [10.1080/15592324.2023.2298053](https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2298053)

Emitido em 24/10/2025

MONOGRAFIA Nº 1/2025 - CCHSA - CCCA (11.01.24.17)
(Nº do Documento: 1)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 30/10/2025 10:30)
LEANDRO RIOS ANDRADE
ASSISTENTE EM ADMINISTRACAO
3152105

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpb.br/documentos/> informando seu número: **1**,
ano: **2025**, documento (espécie): **MONOGRAFIA**, data de emissão: **30/10/2025** e o código de verificação:
34475b32a6