



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS IV
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRÁRIAS E EXATAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

WANDRA ALVES VIEIRA

**BORO FOLIAR PROMOVE AUMENTO DA ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DE
PLANTAS DE RABANETE SOB DÉFICIT HÍDRICO**

CATOLÉ DO ROCHA - PB

2024

WANDRA ALVES VIEIRA

**BORO FOLIAR PROMOVE AUMENTO DA ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DE
PLANTAS DE RABANETE SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso, submetido à
Coordenação do Curso de Agronomia da
Universidade Estadual da Paraíba, Campus IV,
como requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharela em Agronomia.

Área de Concentração: Fisiologia de Plantas
Cultivadas

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Lúcia Maurício da Silva

CATOLÉ DO ROCHA – PB

2024

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

V658b Vieira, Wandra Alves.

Boro foliar promove aumento da atividade fotossintética de plantas de rabanete sob déficit hídrico [manuscrito] / Wandra Alves Vieira. - 2024.

34 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Humanas e Agrárias, 2024.

"Orientação : Prof. Dra. Maria Lúcia Maurício da Silva, Departamento de Agrárias e Exatas - CCHA".

1. Ácido bórico. 2. Raiz tuberosa. 3. Raphanus sativus L. 4. Tolerância à seca. I. Título

21. ed. CDD 635.15

WANDRA ALVES VIEIRA

**BORO FOLIAR PROMOVE AUMENTO DA ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DE
PLANTAS DE RABANETE SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em
Agronomia da Universidade Estadual da
Paraíba, Campus IV, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharela em
Agronomia.

Área de Concentração: Fisiologia de Plantas
Cultivadas

Aprovada em: 21/11/2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



MARIA LUCIA MAURICIO DA SILVA

Data: 05/12/2024 16:52:42-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Maria Lúcia Maurício da Silva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Orientadora

Documento assinado digitalmente



DANIELLY DA SILVA LUCENA

Data: 05/12/2024 18:52:07-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Danielly da Silva Lucena
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Examinadora

Documento assinado digitalmente



PAULO CASSIO ALVES LINHARES

Data: 05/12/2024 19:35:06-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Paulo Cássio Alves Linhares
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças para chegar na reta final.

À minha família pelo o apoio e carinho.

Ao Centro de Ciências Humanas e Agrárias (CCHA), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus IV, pela oportunidade de cursar a Graduação em Agronomia.

À minha orientadora, Profa. Dra. Maria Lúcia Maurício da Silva, pela compreensão, paciência e orientação durante a realização desse trabalho.

À Banca Examinadora, Profa. Dra. Danielly da Silva Lucena e Dr. Paulo Cássio Alves Linhares, pelas valiosas contribuições para a melhoria desse TCC.

Aos professores do Curso de Graduação em Agronomia, pelo aprendizado durante esses cinco anos; pois foram momentos difíceis durante o processo, mas esses momentos me fortaleceram e me tornaram mais sábia, perante minhas escolhas.

Ao meu ex professor, Dr. Paulo Cássio Alves Linhares, pela orientação durante a execução desse experimento, e por todo o conhecimento compartilhado.

Ao colega de graduação, Alcione, por todo o apoio na condução desse experimento.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente estiveram comigo nessa caminhada

me apoiando e incentivando para eu conseguisse concluir minha graduação.

Obrigada!

“Só viva seu próprio caminho, é seu de qualquer jeito”
“Brilhe, sonhe e sorria, vamos iluminar à noite, nós brilhamos do nosso jeito”

BTS

BORO FOLIAR PROMOVE AUMENTO DA ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DE PLANTAS DE RABANETE SOB DÉFICIT HÍDRICO

WANDRA ALVES VIEIRA
MARIA LÚCIA MAURÍCIO DA SILVA

RESUMO

A seca é um dos fatores mais limitantes na produção agrícola, principalmente em hortaliças, que são culturas exigentes em água e fertilidade e muito sensíveis a altas temperaturas. O rabanete (*Raphanus sativus* L.), por exemplo, é uma hortaliça indicada para regiões mais frias, devido a sua maior exigência em água e temperaturas mais baixas. A suplementação com macro e micronutrientes pode atenuar os efeitos do déficit hídrico, aumentar a produção e melhorar a qualidade do rabanete. Visto isso, objetivou-se avaliar a eficiência do boro foliar sobre o déficit hídrico em plantas de rabanete. As plantas foram cultivadas em substrato com capacidade de campo (CC) de 80, 50 e 30%, e suplementadas ou não com ácido bórico (0 e 300 mg L⁻¹ de B) via foliar. As aplicações de boro ocorreram aos 14 e 25 dias após o transplântio (DAT) das mudas. Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 3 x 2, com 5 repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ($p \leq 0,05$), e teste de Tukey ($p \leq 0,05$), para comparação de médias. Determinou-se a assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a concentração intercelular de CO₂ (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$); as eficiências do uso da água (EUA), intrínseca do uso da água (EUA_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e de carboxilação (A/C_i , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$), além da massa fresca da raiz (MFR, g), parte aérea (MFPA, g) e total (MFT, g). Verificou-se interação significativa para as variáveis A , A/C_i e MFR de plantas de rabanete. De modo geral, as plantas que receberam aplicação de boro apresentaram maior A (30,33 e 27,78 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) sob 80 e 30% CC, respectivamente; maior E (7,50 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) sob 80% CC, não diferindo significativamente daquelas sob 50% CC (6,90 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Já para a C_i , os maiores valores (241,64; 245,43 e 230,67 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) foram obtidos sob 80, 50 e 30% CC, respectivamente, nas plantas que não receberam boro; e a menor g_s (0,30 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sob 30% CC, sem aplicação de boro. Portanto, a aplicação de boro via foliar atenua os efeitos do déficit hídrico em plantas de rabanete, nas condições em que esse estudo foi desenvolvido.

Palavras-chave: Ácido bórico; raiz tuberosa; *Raphanus sativus* L.; tolerância à seca.

PROMOTES INCREASED PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF RADISH PLANTS UNDER WATER DEFICIT

WANDRA ALVES VIEIRA
MARIA LÚCIA MAURÍCIO DA SILVA

ABSTRACT

Drought is one of the most limiting factors in agricultural production, especially in vegetables, which are demanding crops in terms of water and fertility and very sensitive to high temperatures. Radish (*Raphanus sativus* L.), for example, is a vegetable indicated for colder regions, due to its greater water requirement and lower temperatures. Supplementation with macro and micronutrients can mitigate the effects of water deficit, increase production and improve radish quality. Given this, the objective of this study was to evaluate the efficiency of foliar boron on water deficit in radish plants. The plants were grown in substrate with field capacity (FC) of 80, 50 and 30%, and supplemented or not with boric acid (0 and 300 mg L⁻¹ of B) via foliar application. Boron applications occurred at 14 and 25 days after transplanting (DAT) of the seedlings. A randomized block design (RBD) was used in a 3 x 2 factorial scheme with 5 replicates, totaling 30 experimental units. Data were subjected to analysis of variance by F test ($p \leq 0.05$) and Tukey test ($p \leq 0.05$) to compare means. CO₂ assimilation (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), stomatal conductance (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiration (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), intercellular CO₂ concentration (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$) were determined. water use efficiency (WUE), intrinsic wateruse efficiency (WUE_i, $\mu\text{mol mol}^{-1}$) and carboxylation efficiency (A/C_i , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$), in addition to fresh root mass (FRM, g), shoot mass (FSM, g) and total mass (MFT, g). A significant interaction was observed for the variables A , A/C_i and FRM of radish plants. In general, plants that received boron application presented higher A (30.33 and 27.78 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) under 80 and 30% CC, respectively; higher E (7.50 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) under 80% CC, not differing significantly from those subjected to 50% CC (6.90 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). For C_i , the highest values (241.64, 245.43 and 230.67 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) were obtained under 80, 50 and 30% CC, respectively, in plants that did not receive boron; and the lowest g_s (0.30 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), under 30% CC, without boron application. Therefore, boron application via foliar application attenuates the effects of water deficit in radish plants, under the conditions in which this study was developed.

Keywords: Boric acid; tuberous root; *Raphanus sativus* L.; drought tolerance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Sementes de beterraba para semeadura (A), emergência das plântulas em bandejas de células (B), mudas de beterraba em sacos de polietileno (C), e identificação e disposição dos tratamentos em casa de vegetação. Catolé do Rocha, PB. Autor (2024)	18
Figura 2.	Preparo da solução de boro (A) e aplicação via foliar (B, C). Catolé do Rocha, PB. Fonte: autor (2024)	19
Figura 3.	Determinação de trocas gasosas com uso do Irga (A), peso da massa fresca de parte aérea (B) e da raiz tuberosa (C) de rabanete. Catolé do Rocha, PB. Fonte: autor (2024)	20
Figura 4.	Assimilação líquida de CO ₂ (A, A), condutância estomática (gs, B), transpiração (E, C) e concentração interna de CO ₂ (Ci, D), de plantas de rabanete sob diferentes condições hídricas e aplicação de B foliar. Catolé do Rocha, PB. Fonte: autor (2024)	23
Figura 5.	Eficiências do uso da água (EUA, B), intrínseca do uso da água (EUAI, B) e instantânea de carboxilação (A/Ci, C) de plantas de rabanete sob diferentes condições hídricas e aplicação de B foliar. Catolé do Rocha, PB. Autor (2024)	25
Figura 6.	Massa fresca da raiz (MFR, A), da parte aérea (MFPA, B) e total (MFT, C) de plantas de rabanete sob diferentes condições hídricas e aplicação de B foliar. Catolé do Rocha, PB. Autor: (2024)	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Composição dos tratamentos sob três condições de capacidades de campo (CC), com ou sem aplicação de boro foliar. Catolé do Rocha, PB. Fonte: autor (2024)	16
------------------	---	----

LISTA DE TABELAS DOS APÊNDICES

APÊNDICE A -	Valores de F para assimilação líquida de CO ₂ (<i>A</i>), condutância estomática (<i>g_s</i>), transpiração (<i>E</i>), concentração intracelular de CO ₂ (<i>C_i</i>), massa fresca de raiz (MFR), massa fresca de parte aérea (MFPA) e massa fresca total (MFT), de plantas de rabanete submetidas à diferentes condições hídricas e aplicação de boro foliar. Catolé do Rocha, PB. Autor (2024)	34
---------------------	--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. Caracterização da cultura do rabanete	12
2.2. Efeitos do déficit hídrico nas culturas	13
2.3 Boro como atenuante do déficit hídrico.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Local do experimento	16
3.2 Delineamento experimental	16
3.3 Condução do experimento	16
3.4 Variáveis analisadas	19
3.5 Análise estatística.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Trocas gasosas em plantas de rabanete sob déficit hídrico suplementas com boro	21
4.2 Eficiência fotossintética de plantas de rabanete sob seca e com boro foliar	23
4.3. Massa fresca de plantas de rabanete sob déficit hídrico e com boro foliar.....	26
5 CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS	30
APÊNDICE A –	34

1 INTRODUÇÃO

O rabanete (*Raphanus sativus* L.), espécie da família Brassicaceae (Oliveira *et al.*, 2010), é caracterizada como uma hortaliça de ciclo anual e porte pequeno. A parte comestível é uma raiz tuberosa (Souza *et al.*, 2017), denominada rabanete, podendo apresentar formas globulares, ovais ou alongadas, com polpa branca e uma casca de coloração avermelhada (Rodrigues *et al.*, 2013). O rabanete destaca-se por ser rico em carboidratos, açúcares e fibras alimentares, além de apresentar propriedades medicinais; vitaminas do tipo A, C, B1, B2 e B6; e minerais como magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K) e fósforo (P), podendo ser consumido em salada e prato principal (Banihani, 2017).

No Brasil, o rabanete não possui grande relevância quando se considera o tamanho de área plantada (Matos *et al.*, 2015), entretanto, devido a sua rusticidade e ciclo produtivo curto, com colheita entre 25 e 35 dias após sementeira, dependendo da variedade, torna essa hortaliça muito valorizada pelos olericultores (Filgueira, 2008), uma vez que proporciona retorno econômico imediato. Essa hortaliça pode ser cultivada praticamente durante todo o ano, principalmente por pequenos e médios produtores de hortaliças próximos aos centros urbanos (Oliveira *et al.*, 2010), ou que não disponham de grandes áreas para o cultivo agrícola. O cultivo de rabanete é, portanto, uma excelente fonte de renda para os olericultores da região Nordeste, pois além de ser uma cultura resistente, pode ser cultivada em consórcio com outras culturas de ciclos mais longos (Melo, 2017).

Para um desenvolvimento adequado, a cultura do rabanete requer solos com alta disponibilidade hídrica, devendo estar próximo a 80% da capacidade de campo, durante todo o seu ciclo (Pereira *et al.*, 1999), pois flutuações no teor hídrico do solo podem resultar na formação de raízes com tolerância ao déficit hídrico (Filgueira, 2003). Segundo Stagnari *et al.* (2017), em função do estresse causado pelo déficit hídrico, podem ser realocados menos assimilados para as raízes que para as folhas da planta, resultando na formação de órgãos de armazenamento (rabanete) de menor tamanho, além de redução no tamanho e aumento na espessura foliar e índice de clorofila. A escassez de água impacta o equilíbrio hídrico das plantas, resultando na diminuição da quantidade de água e no potencial hídrico do solo, o que dificulta a captação de água e reduz o turgor celular (Osakabe *et al.*, 2014).

As plantas apresentam estratégias para minimizar os efeitos do déficit hídrico, e a primeira delas, é a síntese de ácido abscísico, que induz o fechamento estomático, reduzindo a perda de água por transpiração (Fathi; Tari, 2016; Basu *et al.*, 2016). Entretanto, segundo Basu

et al. (2016), essa resposta de defesa ao déficit hídrico resulta em menor absorção de CO₂, afetando, posteriormente, a eficiência da fotossíntese.

Na cultura do rabanete, a escassez de água reduz as trocas gasosas e a integridade das membranas, resultando no menor crescimento de plantas (Soares, 2023). Por outro lado, a falta de água durante o ciclo produtivo aumenta a concentração de açúcares solúveis totais e a atividade de enzimas como superóxido dismutase e peroxidase (Akram *et al.*, 2016).

A adubação mineral com micronutrientes tem se mostrado eficaz para aumentar a produtividade das culturas em diferentes regiões do Brasil (Azevedo *et al.*, 2000). O (B), por exemplo, é um micronutriente que frequentemente está em falta nas plantas (Weir; Cresswell, 1993). Durante o seu crescimento, as plantas necessitam de um suprimento constante, porém baixo, desse elemento; e sua escassez nos solos tem causado reduções significativas na produção de algumas culturas brasileiras (Mariano *et al.*, 2000). O rabanete, por exemplo, é uma hortaliça exigente em B e sua ausência pode resultar em necrose da raiz tuberosa (Filgueira, 2003).

A concentração de Boro nas células controla a integridade e funcionamento da membrana celular, onde em situações de deficiência pode afetar consideravelmente a absorção iônica da membrana, o que prejudica a absorção de alguns nutrientes, como o K e P (Marengo, 2005); e a extrusão de H⁺ por reduzir a atividade de ATPase (Dugger, 1983). O B tem a função de facilitar o transporte de açúcares através das membranas e também participa da síntese de base nitrogenada uracila, a qual é precursora do difosfato de uridina glicose (UDPG), uma coenzima essencial para a síntese de sacarose.

Na cultura do girassol, por exemplo, o boro pode atenuar os efeitos do déficit hídrico e permitir que a produtividade seja menos prejudicada pela condição adversa de falta de água no solo (Neves *et al.*, 2019). A aplicação de fertilizantes via foliar, principalmente de micronutrientes, tem sido uma prática capaz de suprir rápida e diretamente a falta de nutrientes em plantas. Estudos indicam que a suplementação com B em condição de estresse hídrico, em algumas espécies vegetais, pode ser uma maneira de mitigar os efeitos negativos causados pelo déficit hídrico (Souza Júnior *et al.*, 2023).

Diante disso, o objetivo com esse estudo foi investigar as trocas gasosas em folhas de plantas de rabanete suplementadas com boro, sob diferentes disponibilidades hídricas no substrato, em ambiente de casa de vegetação, nas condições climáticas do sertão paraibano.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização da cultura do rabanete

O cultivo de hortaliças é uma atividade agrícola que utiliza de maneira intensiva recursos naturais, como solo e água, insumos como sementes, defensivos fitossanitários e fertilizantes químicos, além do intenso e contínuo trabalho humano (Filgueira, 2008), resultando em investimentos elevados para o cultivo em grandes áreas. Quando comparadas às grandes culturas e frutíferas, as hortaliças são culturas de ciclo curto, o que proporciona ao pequeno produtor, retorno econômico em curto prazo, sendo, portanto, indicadas para cultivo na agricultura familiar.

O rabanete (*Raphanus sativus* L.) é uma hortaliça de raiz tuberosa comestível pertencente à família Brassicaceae (Gamba *et al.*, 2021), que possui coloração vermelha e polpa branca, variando de tamanho e formato (Nishio, 2017). A raiz, denominada rabanete, é a parte mais consumida dessa hortaliça, entretanto, o consumo de suas folhas e brotos, em saladas ou cozidos, tem aumentado muito nos últimos tempos (Soares, 2023). O rabanete possui baixo teor calórico (Gamba *et al.*, 2021) e alto valor nutricional, sendo rico em carboidratos, açúcares, fibras alimentares, proteínas e vitaminas hidrossolúveis, além de macronutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio, e micronutrientes, como zinco e manganês (Banihani, 2017).

Segundo dados do último Censo Agropecuário, a produção de rabanete vem crescendo no Brasil, de forma que em 2017 foram produzidas 8.031 mil toneladas de rabanetes, sendo o estado de São Paulo, o maior produtor dessa hortaliça (IBGE, 2017). Devido ao seu ciclo curto, com colheita entre 25 e 35 dias após sementeira (Filgueira, 2008), o rabanete é uma excelente opção de cultivo para a agricultura familiar. Além disso, em função do seu porte pequeno, é também recomendado para o cultivo em rotação ou consórcio (Soares, 2023) e, como cultura de cobertura, uma vez que suas raízes perfuram o solo reduzindo a compactação e promovendo uma maior infiltração de água (Nishio, 2017).

O clima influencia no crescimento e produtividade da cultura, sendo o desenvolvimento da raiz tuberosa favorecido por temperaturas baixas (entre 10 e 15 °C) e dias curtos, o que mantém a planta por mais tempo em estado vegetativo (Minami; Tessarioli Netto, 1997). Os solos leves, arenoso-argilosos e friáveis, com pH entre 5,5 a 6,8, favorecem o desenvolvimento da cultura (Filgueira, 2008), devendo a sementeira ser realizada diretamente nos sulcos, com

10 a 15 mm de profundidade, uma vez que esta é intolerante ao transplântio das mudas e, a semeadura em maior profundidade pode resultar na deformação das raízes tuberosas (Soares, 2023).

2.2. Efeitos do déficit hídrico nas culturas

O déficit hídrico, de ocorrência na maioria dos habitats naturais ou cultivados, é caracterizado como a condição resultante da escassez de água, principalmente, por períodos intermitentes ou contínuos sem precipitação. Dessa forma, a disponibilidade hídrica para as plantas é restrita, podendo interferir em todos os seus processos celulares, resultando em crescimento reduzido, podendo inclusive causar a morte do vegetal (Zargar *et al.*, 2017; Taiz *et al.*, 2017).

A escassez de água impacta o equilíbrio hídrico das plantas, provocando uma diminuição na quantidade de água e no potencial hídrico, dificultando a captação de água e reduzindo o turgor celular (Osakabe *et al.*, 2014). Para lidar com essa situação, as plantas ativam mecanismos de defesa e vias de sinalização (Harb *et al.*, 2010), a exemplo do fechamento dos estômatos, os quais regulam a transpiração e controlam o nível de CO₂ no interior da folha (Martin-Stpaul; Delzon; Cochard, 2017). Além disso, o déficit hídrico pode causar alterações na morfologia da planta, como maior crescimento do sistema radicular, aumentando sua capacidade de buscar água na subsuperfície, ou ao contrário, a redução no tamanho, na massa e no volume das raízes (Fang; Xiong, 2015). Em relação a parte aérea, uma estratégia utilizada pelas plantas, é a redução do tamanho e do número de folhas, resultando em menor área de transpiração e, portanto, menor consumo de água (Fathi; Tari, 2016), além da queda ou enrolamento destas, devido a perda da pressão de turgor - murchamento (Fang; Xiong, 2015).

O déficit hídrico é o fator que mais limita a produção vegetal ao redor do mundo (Begg; Turner, 1976; Basu *et al.*, 2016), impactando negativamente tanto a produtividade quanto o desenvolvimento das raízes, devido às mudanças em relação ao teor de água e a temperatura do solo durante o crescimento das plantas (Costa *et al.*, 2006). O rendimento das colheitas é ainda mais prejudicado pelo déficit hídrico, em regiões áridas e semiáridas (Fathi; Tari, 2016), a exemplo do município de Catolé do Rocha, no sertão paraibano, onde a seca é predominante na maior parte do ano.

Em relação a cultura do rabanete, Pereira *et al.* (1999) afirmam que a planta requer um alto nível de disponibilidade hídrica, devendo estar próximo a 80% da capacidade de campo,

durante todo o seu ciclo; uma vez que segundo Filgueira (2003), flutuações no teor hídrico do solo podem resultar na formação de raízes com rachaduras. Segundo Stagnari *et al.* (2017), em função do estresse causado pelo déficit hídrico, podem ser realocados menos assimilados para as raízes que para as folhas da planta, resultando na formação de órgãos de armazenamento (rabanete) de menor tamanho; além de redução no tamanho e aumento na espessura foliar e índice de clorofila.

Estudando o comportamento de plantas de rabanete submetidas à diferentes lâminas de irrigação, Akram *et al.*, (2016) constataram que a escassez de água durante o ciclo produtivo aumentou a concentração de açúcares solúveis totais e a atividade de enzimas como superóxido dismutase e peroxidase. De forma semelhante, analisando os danos morfofisiológicos causados pelo déficit hídrico em plantas de rabanete, Soares (2023) constatou que a escassez de água reduziu as trocas gasosas e a integridade de membranas, resultando no menor crescimento de plantas.

2.3 Boro como atenuante do déficit hídrico

O aumento da produtividade e da qualidade dos produtos vegetais está diretamente relacionado com a nutrição mineral, uma vez que o equilíbrio entre os nutrientes na adubação regula os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, sendo um dos fatores de maior influência nas características sensoriais e nutritivas, na resistência ao transporte e no armazenamento dos produtos hortícolas. A deficiência de qualquer um dos elementos essenciais, influencia na qualidade nutricional e sensorial dos produtos agrícolas, além de causar distúrbios fisiológicos que contribuirão para o aparecimento de injúrias pós-colheita (Moraes, 2006).

Os micronutrientes, tão importantes para a nutrição de plantas quanto os macronutrientes, estando em deficiência podem causar retardos no desenvolvimento das culturas, mesmo quando todos os macronutrientes primários e secundários estão disponíveis (Santana *et al.*, 2020). Por isso, os referidos autores, recomendam a adubação com micronutrientes sempre que a análise de solo indicar que a concentração destes se encontra em nível de deficiência. O boro (B), atua principalmente na formação e transporte de carboidratos, além de ajudar na integridade das membranas celulares e na divisão celular. Ele é essencial para o metabolismo das plantas e processos ativos como a polinização e o crescimento, por exemplo, é um micronutriente indispensável no processo reprodutivo dos vegetais, atuando na germinação dos grãos de pólen e no desenvolvimento do tubo polínico, além de ser um

componente fundamental na formação das sementes (Instituto da Potassa e Fosfato, 1998). Em caso de deficiência de boro, pode ocorrer a degeneração dos tecidos meristemáticos, o que acarreta a má formação das folhas e do caule, influenciando diretamente na forma da planta (Dell; Malajczuk, 1994).

A deficiência de B está diretamente relacionada à redução do crescimento e a deformações nas folhas, acúmulo de compostos nitrogenados nas partes mais velhas, crescimento reduzido das raízes e má formações de frutos. Em solos arenosos esse elemento pode ser lixiviado durante o período chuvoso e em solos mais argilosos pode ser adsorvido a coloides orgânicos e inorgânicos (Shorrocks, 1997). Os danos causados pela deficiência de boro são ainda mais agravados devido à baixa mobilidade desse nutriente na planta, uma vez que não ocorre translocação de tecidos senescentes (como folhas velhas) para a região apical (Lehto; Ruuhola; Dell, 2010). Na cultura do girassol, por exemplo, o boro pode atenuar os efeitos do déficit hídrico e permitir que a produtividade seja menos prejudicada pela condição adversa de falta de água no solo (Neves *et al.*, 2019).

De acordo com Santana *et al.* (2020), a adubação via foliar pode ser realizada com o objetivo de suplementar a nutrição das culturas e, que os nutrientes fornecidos, sejam absorvidos pela parte aérea das plantas, principalmente pelas folhas, órgão em que está a maior quantidade de estômatos. Esses autores afirmam que a aplicação de boro via foliar promove aumento na qualidade dos grãos do feijão-de-corda, resultando em maior peso e o número de grãos por vagem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Centro de Ciências Humanas e Agrárias (CCHA), pertencente a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus IV, no município paraibano de Catolé do Rocha, durante o período de 11 de março a 13 de junho de 2024. O referido município está situado a 277 m de altitude, sob as coordenadas geográficas: 6° 20' 28" S de latitude e 37° 44' 59" W de longitude (Alves, 2023), apresentando clima tropical, com predomínio do semiárido no interior, médias térmicas elevadas (em torno de 27 °C) e chuvas escassas e irregulares, com menos de 800 mm por ano (Melo; Lima, 2021).

3.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 3 x 2, com 5 repetições, totalizando 30 unidades experimentais, sendo cada unidade composta por uma planta de rabanete. Os tratamentos (n = 6) foram compostos por 3 condições hídricas (80, 50 e 30%), com base na capacidade de campo (CC), e 2 condições de suplementação com ácido bórico, 0 e 300 mg L⁻¹ (Souza Júnior *et al.*, 2023), aplicado via foliar (Tabela 1).

Tabela 1. Composição dos tratamentos sob três condições de capacidades de campo (CC), com ou sem a aplicação de boro via foliar. Catolé do Rocha, PB.

Tratamentos	Capacidade de Campo (CC, %) + aplicação de boro via foliar (mg L ⁻¹)
T1	Irrigação com 80% CC
T2	Irrigação com 80% CC + boro
T3	Irrigação com 50% CC
T4	Irrigação com 50% CC + com boro
T5	Irrigação com 30% CC
T6	Irrigação com 30% CC + com boro

Fonte: autor (2024).

3.3 Condução do experimento

As sementes de rabanete, híbrido Rubro F1 da marca Topsed Premium, foram semeadas em bandejas de células de polietileno, e após decorridos 7 (sete) dias da emergência das plântulas, foi realizado o transplântio para sacos de polietileno, com capacidade para 3 dm³ de substrato, o qual foi composto por uma mistura de solo areno-argiloso e esterco bovino curtido, na proporção de 1:1 (v/v). Em seguida, os sacos de mudas de beterraba foram etiquetados e mantidos em casa de vegetação, sob tela sombrite 70% (Figura 1A-D).



Figura 1. Sementes de beterraba para semeadura (A), emergência das plântulas em bandejas de células (B), mudas de beterraba em sacos de polietileno (C), e identificação e disposição dos tratamentos em casa de vegetação. Catolé do Rocha, PB. Fonte: autor (2024).

A umidade do solo foi monitorada, visando à reposição da água com base em cada condição hídrica testada (80, 50 e 30% CC), usando-se um sensor de umidade do solo, Medidor

Multiparâmetros (Cittius[®], Brasil). Essa irrigação foi realizada diariamente, de forma manual, durante toda a condução do experimento, com água de abastecimento local, utilizando-se um béquer de 1 L e uma proveta de 100 mL para medir a quantidade de solução necessária (Figura 2A). A solução para aplicação via foliar nas plantas dos tratamentos que receberam boro (T2, T4 e T6), foi composta por 1 L de água destilada adicionada de 300 mg L⁻¹ de ácido bórico (H₃BO₃) e 0,1% de óleo mineral. O óleo mineral foi utilizado visando quebrar a tensão superficial da água, e assim aumentar a área de molhamento das folhas, sendo a aplicação realizada até o ponto de escorrimento.

Para assegurar que todas as folhas das plantas de rabanete recebessem os tratamentos uniformemente, realizou-se aplicações tanto na superfície abaxial quanto na adaxial das folhas (Fernández *et al.*, 2006). No momento de cada aplicação, os tratamentos eram separados a fim de evitar o contato da solução com as plantas dos tratamentos que não receberiam boro (Figura 2B). A aplicação de boro foliar sobre as plantas (T2, T4 e T6) foi realizada mediante uso de pulverizador manual com capacidade para 1,5 L (Compressão Prévia; Ducampo[®], Brasil) (Figura 2C).

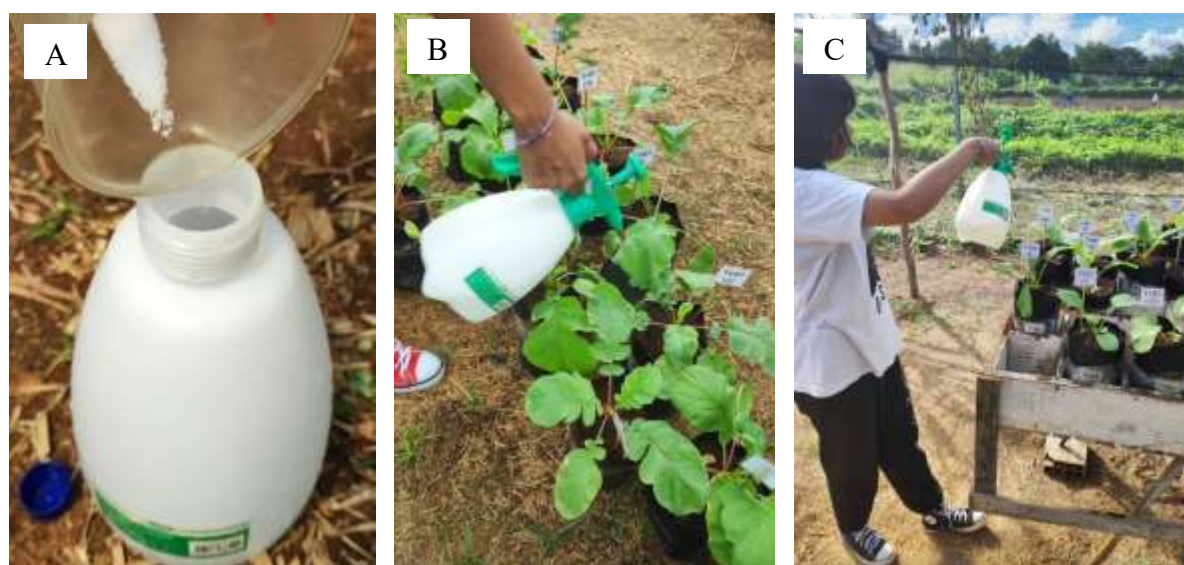


Figura 2. Preparo da solução de boro (A) e aplicação via foliar (B, C). Catolé do Rocha, PB.

Fonte: autor (2024).

A suplementação com boro via foliar nas plantas de rabanete foi dividida em duas aplicações, sendo a primeira aos 14 dias após o transplântio (DAT) das mudas, e a segunda, aos 25 DAT. As plantas que não receberam aplicação de boro via foliar (T1, T3 e T5) foram apenas irrigadas com água de poço, na capacidade de campo de 80, 50 e 30% CC.

3.4 Variáveis analisadas

O efeito das condições hídricas e da aplicação de boro foliar sobre o desenvolvimento do rabanete foi analisado mediante avaliação das trocas gasosas, analisando-se os seguintes parâmetros: assimilação líquida de CO₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração intracelular de CO₂ (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), mediante o uso de um analisador de gases por infravermelho de fluxo aberto (IRGA) (CIRAS-3, PP System, Amesbury, MA, EUA) (Figura 3A). Na determinação dessas variáveis foi utilizada a folha índice (3ª folha da planta, contando-se do ápice para a base), caracterizada como uma folha completamente expandida e em plena atividade fisiológica. A partir dos dados de A , g_s , E , e C_i , foram calculadas a eficiência do uso da água (EUA, $\mu\text{mol mmol}^{-1}$), a eficiência intrínseca do uso da água (EUA_i, $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$), de plantas de rabanete.

Ao final do experimento, as raízes tuberosas (conhecidas como rabanetes) foram colhidas, lavadas, acondicionadas em sacos plásticos identificados e, em seguida, transportadas ao Laboratório de Análise de Sementes do CCHA, UEPB, Campus IV, para determinação de massa fresca de raiz (MFR, g), massa fresca de parte aérea (MFPA, g) e massa fresca total (MFT, g). Para tal, a raiz e a parte aérea das plantas de rabanete foram pesadas, individualmente, em balança analítica com precisão de 0,001 g (Figura 3B-C).

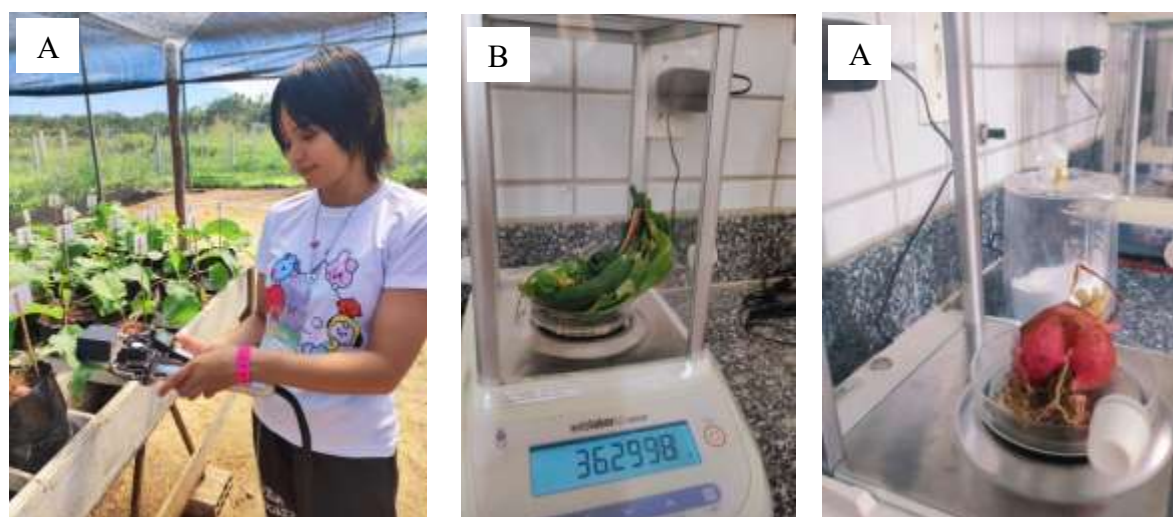


Figura 3. Determinação de trocas gasosas com uso do Irga (A), peso da massa fresca de parte aérea (B) e da raiz tuberosa (C) de plantas de rabanete. Catolé do Rocha, PB. Fonte: autor (2024).

3.5 Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ($p \leq 0,05$) e teste de médias (Tukey, $p \leq 0,05$), utilizando-se o *software* de análise estatística Sisvar[®], versão 5.8 (Ferreira, 2019). Os gráficos foram plotados através do *Windows Excel*, versão 2011.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Trocas gasosas em plantas de rabanete sob déficit hídrico suplementas com boro

De acordo com os resultados obtidos, observou-se interação significativa pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$) entre os fatores condições hídricas (80, 50 e 30% CC) e suplementação com boro foliar (0 e 300 mg L⁻¹), para as variáveis: assimilação líquida de CO₂ (A), eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) e massa fresca da raiz (MFR), de plantas de rabanete (Tabela 2, Anexos).

Em relação as trocas gasosas, observa-se na Figura 4A que, as plantas de rabanete que receberam aplicação de boro apresentaram maior A (30,33 e 27,78 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nas condições hídricas de 80 e 30% CC, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. Já para as plantas que não foram submetidas à aplicação de boro, verificou-se maior A (26,90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) quando as mesmas estavam sob a condição hídrica moderada (50% CC), não diferindo estatisticamente daquelas submetidas a condição hídrica de 80% CC, que por sua vez, apresentaram resultados estatisticamente iguais aos das plantas cultivadas sob déficit hídrico de 30% CC.

Na Figura 4B, referente a condutância estomática (g_s), verificou-se que, quando as plantas de rabanete foram suplementadas com boro foliar, não houve diferença significativa entre as condições hídricas; entretanto, quando as plantas não receberam aplicação de boro, apresentaram maior g_s (0,58 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) sob condição hídrica moderada (50% CC), não diferindo-se significativamente daquelas submetidas à capacidade de campo de 80% CC, com g_s de 0,44 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Portanto, as plantas que apresentaram menor g_s , 0,30 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, foram aquelas cultivadas sob capacidade de campo de 30% CC, sem aplicação de boro foliar.

As plantas de rabanete que receberam aplicação de boro foliar, apresentaram maior E (7,50 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) quando foram cultivadas na condição hídrica de 80% CC, não diferindo significativamente daquelas submetidas a 50% CC (6,90 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), que por sua vez, foram estatisticamente iguais aquelas sob déficit hídrico de 30% CC, que apresentaram E de 6,51 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Porém, quando as plantas não foram suplementadas com boro foliar, não se verificou diferença estatística significativa entre as diferentes condições hídricas testadas. Ou seja, as plantas suplementadas com boro apresentaram maior E , quando comparadas àquelas que não receberam boro (Figura 4C).

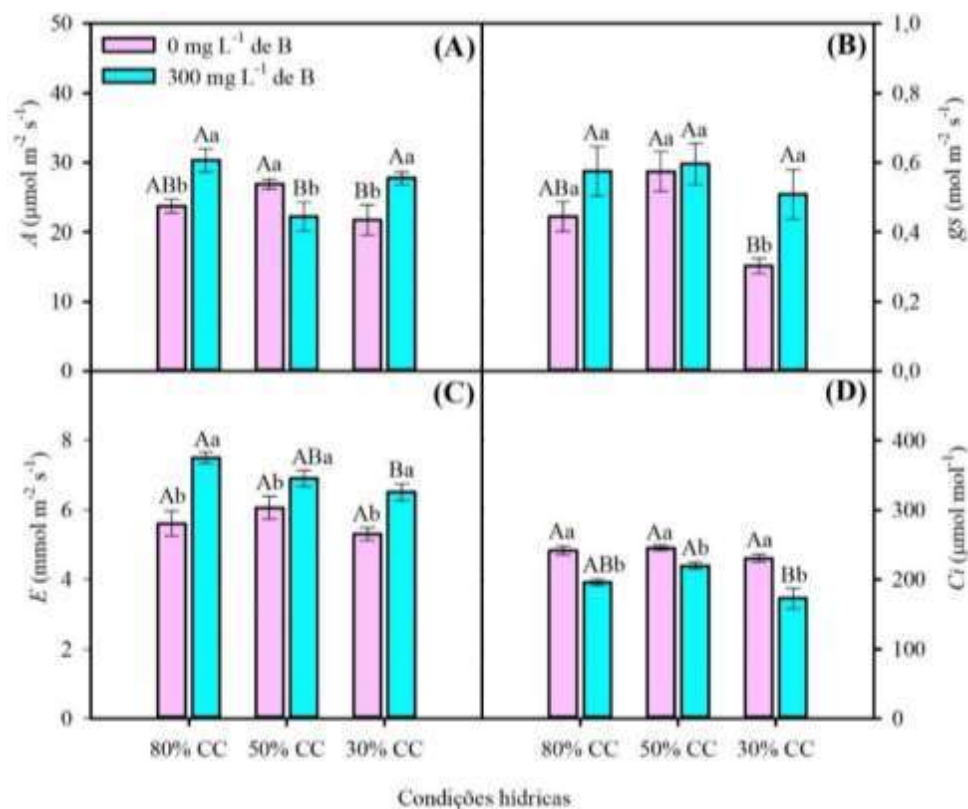


Figura 4. Assimilação líquida de CO₂ (A , A), condutância estomática (g_s , B), transpiração (E , C) e concentração interna de CO₂ (C_i , D) de plantas de rabanete sob diferentes condições hídricas e aplicação de B foliar. Letras maiúsculas comparam as condições hídricas, de acordo com a capacidade de campo (CC) e as minúsculas comparam a aplicação do B. Médias com mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). As barras representam o erro padrão da média ($n=5$). Catolé do Rocha, PB. Fonte: autor (2024).

As plantas de rabanete submetidas à aplicação de boro foliar, apresentaram maior C_i ($220,18 \mu\text{mol mol}^{-1}$) quando cultivadas sob condição hídrica de 50% CC, não diferindo significativamente daquelas mantidas sob 80% CC ($196,00 \mu\text{mol mol}^{-1}$), que por sua vez, são estatisticamente iguais aquelas submetidas à condição hídrica de 30% CC. Avaliando o fator suplementação com boro foliar dentro de cada condição hídrica testada, observa-se que a C_i foi maior ($241,64$; $245,43$ e $230,67 \mu\text{mol mol}^{-1}$, nas capacidades de campo de 80, 50 e 30%, respectivamente) nas plantas que não receberam a aplicação de boro (Figura 4D).

O fechamento estomático é um mecanismo que as plantas utilizam como estratégia de regulação da transpiração e controle de CO₂ no interior da folha, de forma que condutâncias menores reduzem a perda de água por transpiração, e conseqüentemente, afetam negativamente a fotossíntese, uma vez que uma menor quantidade de carbono será absorvida pela planta (Martin-Stpaul; Delzon; Cochard, 2017). A produtividade de uma cultura está diretamente

relacionada à taxa fotossintética (Yang *et al.*, 2006), e diminuições nessas taxas podem ser consequências de restrições estomáticas ou não (Yang *et al.*, 2021).

Avaliando o efeito de condições hídricas e do boro no cultivo de rabanete, Soares (2023), constatou que as trocas gasosas foram afetadas apenas pela irrigação, uma vez que as plantas bem irrigadas apresentaram condutância estomática, assimilação líquida de carbono, eficiência de carboxilação e transpiração, maiores que as plantas sob estresse hídrico.

4.2 Eficiência fotossintética de plantas de rabanete sob seca e com boro foliar

As plantas de rabanete suplementadas com boro foliar apresentaram maior EUA ($4,28 \mu\text{mol mmol}^{-1}$) quando submetidas a capacidade de campo de 30%, não diferindo significativamente das plantas cultivadas em solo com 80% CC (EUA = $4,05 \mu\text{mol mmol}^{-1}$), que por sua vez, foram estatisticamente iguais aquelas mantidas em condição hídrica de 50% CC (EUA = $3,23 \mu\text{mol mmol}^{-1}$). Porém, quando as plantas não receberam aplicação de boro foliar, não diferiram significativamente entre si, nas condições hídricas de 80, 50 e 30% CC, apresentando EUA de 4,29; 4,49 e $4,10 \mu\text{mol mmol}^{-1}$, respectivamente (Figura 5A).

Avaliando-se o efeito da aplicação de boro foliar dentro de cada condição hídrica, observa-se que quando o solo foi mantido com 80 e 50% CC, as plantas que foram suplementadas com boro apresentaram menor EUA ($4,05$ e $3,23 \mu\text{mol mmol}^{-1}$, respectivamente) em relação àquelas que não receberam boro, porém sem diferença significativa. De forma inversa, na condição hídrica de 30% CC, as plantas que não receberam aplicação de boro apresentaram maior EUA ($4,28 \mu\text{mol mmol}^{-1}$), mas também não diferindo significativamente daquelas que foram suplementadas com boro (Figura 5A).

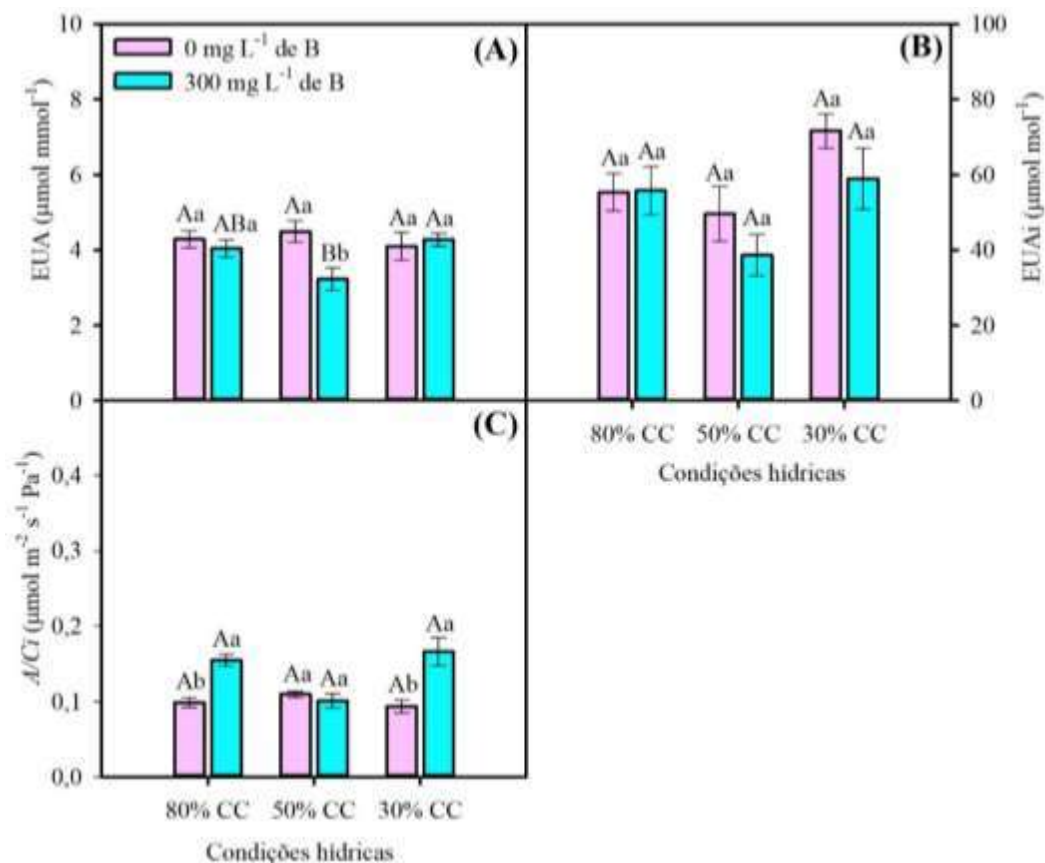


Figura 5. Eficiências do uso da água (EUA, A), intrínseca do uso da água (EUAi, B) e instantânea de carboxilação (A/C_i , C) de plantas de rabanete sob diferentes condições hídricas e aplicação de B foliar. Letras maiúsculas comparam as condições hídricas, de acordo com a capacidade de campo (CC) e as minúsculas comparam a aplicação do B. Médias com mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). As barras representam o erro padrão da média ($n=5$). Catolé do Rocha, PB. Fonte: autor (2024).

Os valores referentes a EUAi (55,83; 38,69 e 59,04 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$) foram estatisticamente iguais entre as plantas que receberam aplicação de boro, independentemente da condição hídrica que as mesmas foram submetidas (80, 50 e 30% CC, respectivamente). Resultados semelhantes, verifica-se para as plantas que não foram suplementadas com boro, as quais apresentaram valores para a EUAi (55,36; 49,61 e 71,74 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$) significativamente iguais, nas três condições hídricas testadas (80, 50 e 30% CC, respectivamente). Analisando-se o efeito da suplementação com boro foliar dentro de cada condição hídrica testada, verifica-se que as plantas que não receberam boro (0 mg L⁻¹) apresentaram valores para a EUAi (55,36 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$) significativamente iguais às plantas que receberam aplicação de boro (55,83 $\mu\text{mol mmol}^{-1}$) (Figura 5B).

Em relação a A/C_i , Figura 5C, observa-se que as plantas suplementadas com boro foliar apresentaram maior A/C_i ($0,17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$) quando cultivadas em solo com capacidade de campo de 30%, não diferindo significativamente daquelas submetidas às condições hídricas de 80 e 50% CC, que apresentaram A/C_i de 0,16 e 0,10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$, respectivamente. Entretanto, quando as plantas não receberam aplicação de boro, o maior valor para a A/C_i ($0,11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$) foi observado na capacidade de campo de 50%, mas não diferindo significativamente daquelas submetidas às demais condições hídricas testadas.

Quando se compara as plantas que receberam aplicação de boro com aquelas que não receberam, dentro de cada condição hídrica testada, observa-se que as plantas cultivadas nas capacidades de campo de 80 e 30%, apresentaram maior valor de A/C_i ($0,16$ e $0,17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$, respectivamente) quando suplementadas com boro foliar, diferindo-se estatisticamente dos valores obtidos para aquelas que não foram suplementadas com boro ($0,10$ e $0,09 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$, respectivamente). Já na condição hídrica de 50%, não houve diferença estatística significativa entre as plantas do tratamento controle ($0 \text{ mg L}^{-1} \text{ B}$) e aquelas que receberam aplicações de boro ($300 \text{ mg L}^{-1} \text{ B}$).

Avaliando o efeito do estresse hídrico na cultura do rabanete, Soares (2023) observou que as plantas sob estresse hídrico apresentaram maior valor de eficiência intrínseca no uso de água, quando comparadas aquelas bem irrigadas. Em condições de déficit hídrico, as plantas adaptam-se ao estresse hídrico de diferentes maneiras, incluindo a modulação da transpiração e o fechamento estomático. Isso pode resultar em um aumento na EUA se as plantas forem capazes de manter a produção mesmo com menos água. No entanto, se o déficit hídrico for excessivo, a produção pode ser prejudicada. A eficiência intrínseca do uso da água, inerente na utilização da água, entendida como a relação entre a taxa líquida de fotossíntese e a condutância estomática, desempenha um papel significativo na medição da absorção de carbono e da perda hídrica. Além disso, traz à luz informações sobre os mecanismos das respostas fisiológicas das plantas diante das alterações climáticas (Keenan *et al.*, 2013; Gresset *et al.*, 2014).

A eficiência intrínseca do uso da água é uma característica fisiológica vital para a adaptação das plantas ao estresse hídrico, pois permite que as plantas maximizem sua produção e crescimento com a menor perda de água possível. No contexto do rabanete, entender a dinâmica da EUA intrínseca pode ser crucial para desenvolver práticas agrícolas mais eficientes, especialmente em regiões com déficit hídrico.

A A/C_i (taxa de fotossíntese vs concentração de CO_2 intercelular), corresponde as respostas das plantas, através das medições instantâneas de trocas gasosas entre as plantas e a

atmosfera, por causa do déficit hídrico ocasiona o aumento da temperatura e o fechamento dos estômatos, limitando a fixação de CO₂. (Taiz; Zeiger, 2013; Boaretto; Carvalho; Borgo, 2014).

4.3. Massa fresca de plantas de rabanete sob déficit hídrico e com boro foliar

O maior conteúdo de MFR em plantas de rabanete foi obtido na condição hídrica de 80% CC (63,36 g), quando as mesmas receberam aplicação de boro foliar, entretanto não houve diferença significativa em relação aos tratamentos submetidos a 50% CC com aplicação (52,64 g) ou sem aplicação (54,74 g) de boro 300 mg L⁻¹. O estresse hídrico afetou significativamente o vigor das plantas cultivadas em solo com 30% CC, com ou sem aplicação de boro. Analisando-se o efeito do boro dentro de cada condição hídrica, observa-se que não houve diferença significativa para a MFR entre as plantas que foram suplementadas com boro (63,36 g em 80% CC; 52,64 g em 50% CC; e 48,34 g em 30% CC) e àquelas não suplementadas (53,59 g em 80% CC; 54,74 g em 50% CC; e 32,36 g em 30% CC); entretanto, na condição de estresse severo (30% CC), as plantas que não receberam aplicação de boro (MFR = 32,36 g) foram as mais prejudicadas (Figura 6A).

Na Figura 6B, observa-se que as plantas de rabanete que receberam boro foliar foram superiores àquelas sem aplicação de boro, em todas as condições hídricas testadas. No entanto, sob condição hídrica de 80 e 50 % CC, observou-se maiores conteúdos de MFPA (34,08 g e 32,50 g, respectivamente), diferindo-se significativamente daquelas que não foram suplementadas. Não houve diferença significativa entre as plantas suplementadas com boro (MFPA = 22,85 g) e as não suplementadas (20,88 g), quando cultivadas sob 30% CC.

Na Figura 6C, observa-se que as plantas suplementadas com boro foliar apresentaram os maiores valores de MFT (97,44 g e 71,19 g) nas condições hídricas de 80 e 30% CC, respectivamente, diferindo-se significativamente dos valores obtidos para as plantas que não foram suplementadas (77,00 g e 53,23 g, respectivamente).

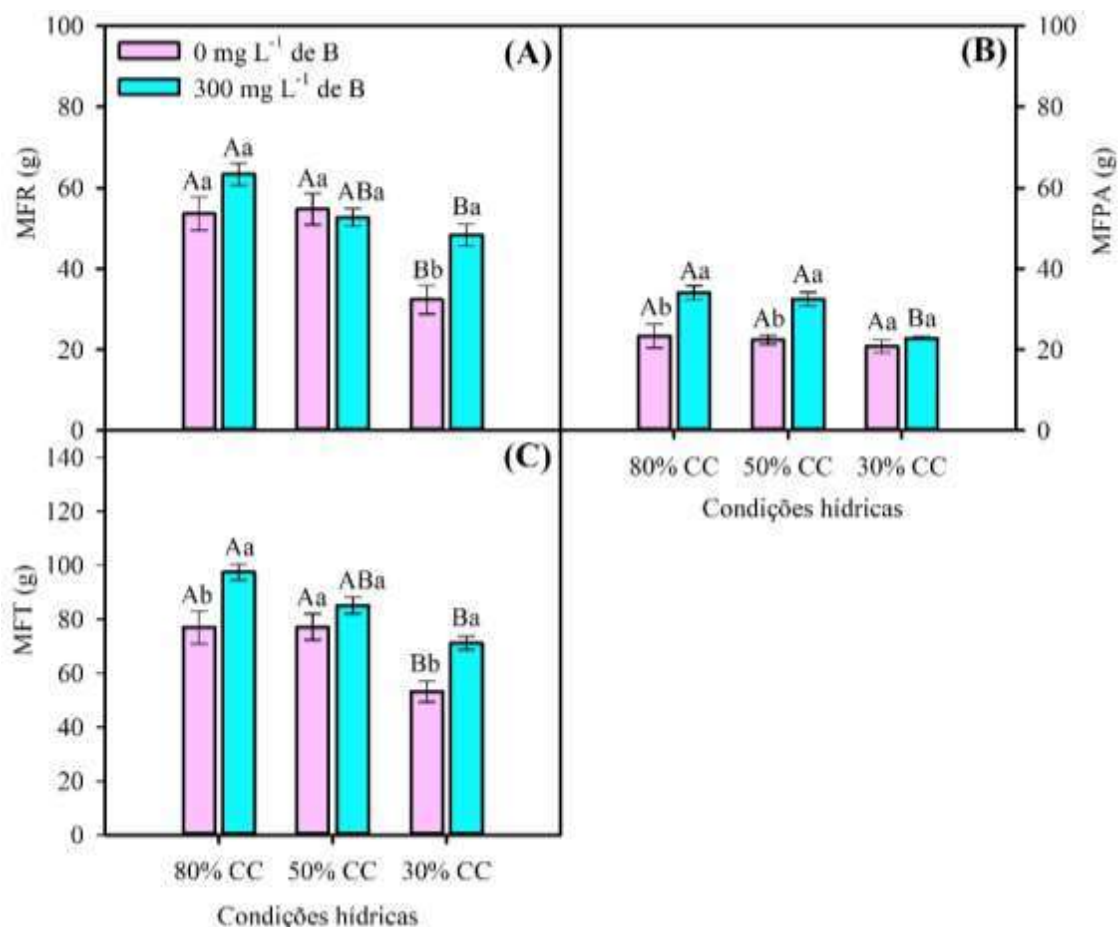


Figura 6. Massa fresca da raiz (MFR, A), da parte aérea (MFPA, B) e total (MFT, C) de plantas de rabanete sob diferentes condições hídricas e aplicação de B foliar. Letras maiúsculas comparam as condições hídricas, de acordo com a capacidade de campo (CC) e as minúsculas comparam a aplicação do B. Médias com mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). As barras representam o erro padrão da média ($n=5$). Catolé do Rocha, PB. Fonte: autor (2024).

Provavelmente, o acréscimo no conteúdo de massa fresca das plantas suplementadas com boro foliar estar relacionado à atuação desse micronutriente na translocação de açúcares (Hryczyna *et al.*, 2021; Souza Júnior *et al.*, 2023). Estudos realizados por Henschel *et al.* (2022) revelaram achados semelhantes, demonstrando que plantas afetadas pela falta de água apresentaram diminuições nas massas de raízes e folhas. Essa queda no desenvolvimento pode estar vinculada à redução da pressão de turgor nas células, provocada pela alteração nos gradientes de potencial hídrico, o que leva a uma menor expansão celular (Mohamed; Latif, 2017; Zargar *et al.*, 2017).

Esses resultados demonstram o impacto do déficit hídrico sobre a cultura do rabanete, e como o boro atua sobre o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais. Em um estudo semelhante a esse, Pereira *et al.* (1999) encontraram melhores resultados para o desenvolvimento da raiz e da parte aérea de rabanete, quando se fez a reposição de água do solo com a suplementação de boro, resultando em 80% a mais da capacidade de campo, independente das condições climáticas.

O B desempenha um papel fundamental na promoção do transporte de açúcares por meio das membranas. Ele também contribui para a formação da base nitrogenada uracila, que é precursora da uridina difosfato glucose (UDPG), uma coenzima vital na produção de sacarose. A uracila é uma base nitrogenada que faz parte do RNA, influenciando a síntese de ácidos nucléicos e, por sua vez, a síntese de proteínas (Faquim, 1994).

A região Nordeste se caracteriza pela escassez hídrica, sendo o uso do boro, de grande importância para suplementar as culturas sob déficit hídrico, uma vez que esse micronutriente promoveu desenvolvimento de raízes e de parte aérea, mesmo com pouca irrigação. Para os produtores nordestinos é válido que utilizem o boro na suplementação, para gerar melhores resultados nas culturas em produção, o que vai integrar uma capacidade de campo maior e mais atenuante para as colheitas, gerando uma maior fonte de renda para produtores da agricultura familiar.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de boro via foliar em plantas de rabanete promove aumento na assimilação líquida de CO₂ (A), na condutância estomática (g_s), na transpiração (E), na eficiência do uso da água (EUA) e na eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i), além de maior conteúdo de massa fresca de raiz (MFR), massa fresca de parte aérea (MFPA) e massa fresca total (MFT).

A suplementação com boro via foliar atenua os efeitos do déficit hídrico em plantas de rabanete, nas condições em que esse estudo foi desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- AKRAM, N. A. *et al.* Trehalose pretreatment induces drought tolerance in radish (*Raphanus sativus* L.) plants: some key physio-biochemical traits. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 38, p. 1-10, 2016.
- ALVES, L. T. O. **Análise do gerenciamento de resíduos sólidos em estabelecimentos de beleza em Catolé do Rocha, PB**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2023.
- AZEVEDO, W. R.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E. Boro em rabanete cultivados em solos de várzea: produção de matéria, seca, níveis críticos no solo e na planta. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, p. 7-14, 2000.
- BANIHANI, A. S. Radish (*Raphanus sativus*) and diabetes. **Nutrients**, v. 9, p. 1014-1023, 2017.
- BASU, S. *et al.* Plant adaptation to drought stress, **F1000Research**, v. 5, p. 1-10, 2016.
- BEGG, J. E. E.; TURNER, N. C. Déficits hídricos nas culturas. **Avanços na agronomia**, v. 28, p. 161-217, 1976.
- BOARETTO, L. F.; CARVALHO, G.; BORGIO, L. Water stress reveals differential antioxidante responses of tolerant and non-tolerant sugarcane genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 74, n. 2, p. 165-175, 2014.
- COSTA, C. C. *et al.* Crescimento, produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos orgânicos. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 118-122, 2006.
- DELL, B.; MALAJCZUK, N. Boron deficiency in eucalypt plantations in China. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, n. 12, p. 2409-2416, 1994.
- DUGGER, W. M. Boron in metabolism. *In: Encyclopedia of Plant Physiology*. New York: SPRINGER-VERLAG, 626p, 1983.
- FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and molecular life sciences**, v. 72, p. 673-689, 2015.
- FAQUIM, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: FAEPE, 1994. 227p.
- FATHI, A.; TARI, D. B. Effect of drought stress and its mechanism in plants. **International Journal of Life Sciences**, n. 10, p. 1-6, 2016.

FERNÁNDEZ, V. *et al.* Foliar iron fertilization of peach (*Prunus persica* (L.) Batsch): effects of iron compounds, surfactants and other adjuvants. **Plant and Soil**, v. 289, p. 239-252, 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4 [S.l.], p. 529-535, 2019.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: **Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 ed. Viçosa. UFV, 2008. 421p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 412p.

GAMBA, M. *et al.* Nutritional and phytochemical characterization of radish (*Raphanus sativus*): A systematic review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 205-218, 2021.

GRESSET, S. *et al.* Stable Carbon Isotope Discrimination Is under Genetic Control in the C4 Species Maize with Several Genomic Regions Influencing Trait Expression. **Plant Physiology**, v. 164, n. 1, p. 131-143, 2013.

HARB *et al.* A. Molecular and physiological analysis of drought stress in arabidopsis reveals early responses leading to acclimation in plant growth. **Plant Physiology**, v. 154, p. 1254-1271, 2010.

HENSCHER, J. M. *et al.* Salicylic acid mitigates the effects of mild drought stress on radish (*Raphanus sativus*) growth. **Functional Plant Biology**, v. 49, p. 822-831, 2022.

HRYCZYNA, A. B. *et al.* Adubação foliar de boro em dois híbridos de canola. **Nativa**, v. 9, n. 5, p. 600-604, 2021.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2017. Censo agropecuário 2017. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://www.censoagro2017.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-1017>. Acesso em: 20 set 2024.

INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. Manual Internacional de Fertilidade do Solo. 2 ed. Piracicaba: **POTAFOS**, 1998.

KEENAN, T. F. *et al.* **Increase in forest water-use efficiency as atmospheric carbon dioxide concentrations rise**. *Nature*, v. 499, n. 7458, p. 324-327, 2013.

LEHTO, T.; RUUHOLA, T.; DELL, B. Boron in forest trees and forest ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 12, p. 2053-2069, 2010.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. Fisiologia vegetal. *In*: MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Nutrição Mineral**. Viçosa: UFV, 2005. cap. 5, p. 249-330.

MARIANO, E. D. *et al.* Níveis críticos de boro em solos de várzea para o cultivo do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1637-1644, 2000.

MARTIN-STPAUL, N.; DELZON, S.; COCHARD, H. Plant resistance to drought depends on timely stomatal closure. **Ecology Letters**, v. 20, p. 1437-1447, 2017.

MATOS, R. M. *et al.* Partição de assimilados em plantas de rabanete em função da qualidade da água de irrigação. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, n. 1, p. 151-164, 2015.

MELO, R. A. C. **Híbrido de rabanete** - Mais lucro no negócio. Campo & Negócio, Uberlândia, MG, 2017.

MELO, V. S.; LIMA, L. M. Caracterização da chuva da microrregião de Catolé do Rocha no estado da Paraíba baseada em estatística aplicada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 1, p. 97-106, 2021.

MINAMI, K.; TESSARIOLI NETTO, J. **Rabanete**: cultura rápida, para temperaturas amenas e solos areno-argiloso. Piracicaba: ESALQ, 1997. 27 p. (Produtor Rural, 4).

MOHAMED, H. I.; LATIF, H. H. Improvement of drought tolerance of soybean plants by using methyl jasmonate. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 23, p. 545-556, 2017.

MORAES, I. V. M. **Dossiê Técnico**: Cultivo de hortaliças. Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2006. 26p.

NEVES, J. M. G. Silicon and boron mitigate the effects of water deficit on sunflower. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 175-182, 2019.

NISHIO, T. Economic and academic importance of radish. **The radish genome**, n. 21, p. 1-10, 2017.

OLIVEIRA, F. R. A. Interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 4, p. 519-526, 2010.

OSAKABE, Y. *et al.* Resposta das plantas ao estresse hídrico. **National Library of Medicine**, v. 5, n. 86. 2014.

PEREIRA, A. J. *et al.* Efeito dos níveis de reposição e frequência de irrigação sobre a produção e qualidade do rabanete. **Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 117-120, 1999.

RODRIGUES, R. R. *et al.* Produção de rabanete em diferentes disponibilidades de água no solo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 2121-2130, 2013.

SANTANA, Í. O. *et al.* Produção de feijão-de-corda sob diferentes doses de nitrogênio aliado à aplicação de boro. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 16, n. 2, p. 75-80, 2020.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SHORROCKS, V. M. The occurrence and correction of boron deficiency. **Plant and Soil, Crawley**, v. 193, n. 2, p. 12-148, 1997.

SOARES, A. Z. **Metil jasmonato na mitigação dos danos morfofisiológicos causados pelo déficit hídrico em plantas de rabanete (*Raphanus sativus* L.)**. 37 fls. il. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Agrárias) - Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras, 2023.

SOUZA JÚNIOR, P. C. *et al.* Título do artigo. Boron foliar supplementation as a strategy to attenuate drought stress in soybean. **Annals of Applied Biology**, p. 1-11, 2023.

SOUZA, L. M. *et al.* Efeito de fontes e doses de fósforo na cultura do rabanete. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 11, p.1-6. 2017.

SOUZA, J. A.; CANESIN, R. C. F. S.; BUZETTI, S. Boron mobility in peach seedlings. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 930-935, 2012.

STAGNARI, F. Responses of radish (*Raphanus sativus*) to drought stress. **Ann Appl Biol**, v. 172, p. 170-186, 2017.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 526 p.

WEIR, R. G.; CRESSWELL, G. C. Plant nutrient disorders 3. **Vegetable crops**. Sydney, 1993. 105p.

YANG, L. *et al.* Seasonal changes in the effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on dry matter production and distribution of rice (*Oryza sativa* L.). **Field Crops Research**, v. 98, p. 12-19, 2006.

YANG, X. *et al.* Response mechanism of plants to drought stress. **Horticulturae**, v. 7, n. 50, p. 3, 2021.

ZARGAR, S. M. *et al.* Impact of drought on photosynthesis: Molecular perspective. **Plant gene**, n. 11, p. 154-159, 2017.

APÊNDICE A – Valores de F para assimilação líquida de CO₂ (*A*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração intracelular de CO₂ (*Ci*), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EUAI), eficiência instantânea de carboxilação (*A/Ci*), massa fresca de raiz (MFR), massa fresca de parte aérea (MFPA) e massa fresca total (MFT) de plantas de rabanete submetidas à diferentes condições hídricas e aplicação de boro foliar. Catolé do Rocha, PB. Fonte: autor (2024).

Fonte de variação	GL	<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>Ci</i>	EUA	EUAI	<i>A/Ci</i>	MFR	MFPA	MFT
Bloco	4	5,99*	2,32 ^{ns}	2,36 ^{ns}	0,84 ^{ns}	2,21 ^{ns}	0,46 ^{ns}	4,95 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Condição hídrica (CH)	2	2,94 ^{ns}	6,13 ^{ns}	4,37 ^{ns}	8,05*	1,09 ^{ns}	5,24 ^{ns}	6,25 ^{ns}	15,32*	8,82*	18,69*
Boro (B)	1	8,21 ^{ns}	8,22 ^{ns}	45,65*	46,34*	4,75 ^{ns}	2,07 ^{ns}	41,62*	8,10 ^{ns}	28,20*	19,65*
CH x B	2	15,61*	1,54 ^{ns}	2,53 ^{ns}	2,26 ^{ns}	4,51 ^{ns}	0,59 ^{ns}	18,14*	3,67 ^{ns}	3,84 ^{ns}	1,20 ^{ns}
CV (%)		9,96	23,01	8,45	7,91	13,66	26,67	13,99	14,93	14,98	12,42

CV = coeficiente de variação; ^{ns} = não significativo, ** e * = significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.