

**EFEITO DA ADUBAÇÃO COM BORO NO DESENVOLVIMENTO DA RÚCULA (*ERUCA SATIVA MILL.*) CULTIVADA A CAMPO EM CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO CERRADO GOIANO**



**Effect of boron fertilization on the development of arugula (*Eruca Sativa Mill.*) cultivated in the municipality of Palmeiras De Goiás**

**Efecto de la fertilización con boro en el desarrollo de la rúcula (*Eruca Sativa Mill.*) cultivada a campo en condiciones ambientales del Cerrado Goiano**

**Heloisa Ribeiro da Mata**

Universidade Estadual de Goiás, Palmeiras de Goiás, Goiás, Brasil  
E-mail: heloisar200@gmail.com

**Cristian Epifânio de Toledo**

Universidade Estadual de Goiás, Palmeiras de Goiás, Goiás, Brasil  
E-mail: cristian.toledo@ueg.br

**Roberto Gomes Vital**

Universidade Estadual de Goiás, Palmeiras de Goiás, Goiás, Brasil  
E-mail: roberto.vital@ueg.br

**Diego Simões Fernandes**

Universidade Estadual de Goiás, Palmeiras de Goiás, Goiás, Brasil  
E-mail: diego.fernandes@ueg.br

**RESUMO**

A rúcula é uma hortaliça folhosa de ciclo curto amplamente cultivada no Brasil, cuja produtividade depende diretamente do manejo adequado da fertilidade do solo, especialmente de micronutrientes como o boro. Considerando a frequência de solos com baixos teores de micronutrientes no Cerrado, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de boro no desenvolvimento vegetativo e produtivo da rúcula cultivada no município de Palmeiras de Goiás. O experimento foi conduzido a campo, em DBC, com cinco doses de boro aplicadas via solo (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 kg h<sup>-1</sup>) e cinco repetições. As mudas foram transplantadas em canteiro irrigado e avaliadas aos 30 dias após o transplante, mensurando-se altura, número de folhas, diâmetro da roseta, massa fresca, massa seca da parte aérea e produtividade. Os dados foram submetidos à análise de variância e ajuste de modelos de regressão. Os resultados indicaram efeito significativo do boro apenas sobre o número de folhas e o diâmetro da roseta, demonstrando que o micronutriente influenciou principalmente a arquitetura da planta. O número de folhas apresentou resposta

quadrática, com máxima estimada em torno de  $1,5 \text{ kg h}^{-1}$ . Já o diâmetro da roseta diminuiu com o aumento das doses, evidenciando maior compactação foliar. Massa fresca, massa seca e produtividade não diferiram estatisticamente entre tratamentos, embora apresentassem tendência de incremento nas maiores doses. Conclui-se que, nas condições avaliadas, o boro promoveu alterações morfológicas relevantes, mas não incrementou o rendimento da cultura, indicando a necessidade de estudos adicionais com faixas mais amplas de doses e diferentes formas de aplicação.

**Palavras-chave:** Ácido bórico. Micronutrientes. Hortaliças folhosas.

### **ABSTRACT**

Arugula is a short-cycle leafy vegetable widely cultivated in Brazil, whose productivity directly depends on appropriate soil fertility management, especially micronutrients such as boron. Considering the frequent occurrence of soils with low micronutrient levels in the Cerrado region of Goiás, this study aimed to evaluate the effect of different boron doses on the vegetative development and yield of arugula grown in the municipality of Palmeiras de Goiás. The experiment was conducted in the field, using a randomized block design with five boron doses applied to the soil ( $0.0, 0.5, 1.0, 1.5,$  and  $2.0 \text{ kg h}^{-1}$ ) and five replicates. Seedlings were transplanted into beds irrigated via drip systems and evaluated 30 days after transplanting. Measurements included plant height, number of leaves, rosette diameter, fresh mass, dry mass of the aerial part, and productivity. Data were subjected to analysis of variance and regression model fitting. Results showed a significant effect of boron only on leaf number and rosette diameter, indicating that the micronutrient primarily influenced plant architecture. The number of leaves exhibited a quadratic response, with an estimated maximum at approximately  $1.5 \text{ kg h}^{-1}$ . Rosette diameter decreased with increasing doses, indicating greater leaf compactness. Fresh mass, dry mass, and productivity did not differ statistically among treatments, although they tended to increase at higher doses. It is concluded that, under the evaluated conditions, boron promoted relevant morphological changes but did not improve yield, highlighting the need for further studies including wider dose ranges and alternative application methods.

**Keywords:** Boric acid, Micronutrients, Leafy vegetables.

### **RESUMEN**

La rúcula es una hortaliza de hoja de ciclo corto ampliamente cultivada en Brasil, cuya productividad depende directamente del manejo adecuado de la fertilidad del suelo, especialmente de micronutrientes como el boro. Considerando la frecuencia de suelos con bajos contenidos de micronutrientes en el Cerrado, este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de boro en el desarrollo vegetativo y productivo de la rúcula cultivada en el municipio de Palmeiras de Goiás. El experimento se llevó a cabo en condiciones de campo, en un diseño de bloques completamente al azar, con cinco dosis de boro aplicadas vía suelo ( $0,0; 0,5; 1,0; 1,5$  y  $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y cinco repeticiones. Las plántulas fueron trasplantadas a un cantero irrigado y evaluadas a los 30 días después del

trasplante, midiéndose altura de planta, número de hojas, diámetro de la roseta, masa fresca, masa seca de la parte aérea y productividad. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y ajuste de modelos de regresión. Los resultados indicaron un efecto significativo del boro únicamente sobre el número de hojas y el diámetro de la roseta, demostrando que el micronutriente influyó principalmente en la arquitectura de la planta. El número de hojas presentó una respuesta cuadrática, con un máximo estimado alrededor de  $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ . Por otro lado, el diámetro de la roseta disminuyó con el aumento de las dosis, evidenciando una mayor compactación foliar. La masa fresca, la masa seca y la productividad no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, aunque mostraron una tendencia de incremento en las dosis más altas. Se concluye que, en las condiciones evaluadas, el boro promovió cambios morfológicos relevantes, pero no incrementó el rendimiento del cultivo, lo que indica la necesidad de estudios adicionales con rangos más amplios de dosis y diferentes formas de aplicación.

**Palabras clave:** Ácido bórico. Micronutrientes. Hortalizas de hoja.

## **INTRODUÇÃO**

A olericultura ocupa posição estratégica na segurança alimentar brasileira porque fornece alimentos de alta densidade nutricional, com ciclos curtos e grande capacidade de gerar renda e trabalho local, sobretudo para a agricultura familiar. O crescimento recente do segmento tem sido explicado pela demanda por produtos frescos, diversificados e com apelo de saudabilidade, o que faz das hortaliças um componente estável dentro do agronegócio, mesmo diante de oscilações de preço e clima. Estudos recentes destacam que a cadeia de hortaliças dinamiza a economia rural, agrega valor e melhora o acesso da população urbana a alimentos de boa qualidade (Santos et al., 2025; Caldas et al. 2023; Nascimento, 2023).

No Brasil, esse avanço vem acompanhado de expansão geográfica da produção e de maior especialização técnica, incluindo o uso de ambientes protegidos, cultivos hidropônicos e manejo mais preciso de solo e água, o que permite produzir o ano todo em regiões de clima mais restritivo. Essa diversificação inclui um grupo de folhosas que ganhou mercado nos últimos anos por unir ciclo rápido, boa aceitação e possibilidade de cultivo em pequenas áreas (Fontes; Vilela, 2003; Melo; Araújo, 2016; De Paiva, 1998). Tais características

reforçam a necessidade de sistemas de produção tecnificados, adaptados ao Cerrado, com foco em qualidade de folha e constância de oferta (Antônio et al., 2024).

Dentro desse conjunto de folhosas, a rúcula (*Eruca sativa L.*), hortaliça de origem mediterrânea e introduzida no Brasil principalmente por imigrantes italianos, consolidou-se como cultura de valor por combinar sabor característico, elevado teor de vitaminas e minerais e ciclo muito curto, que permite várias colheitas por ano. Nas últimas décadas o consumo deixou de ser restrito ao Sul e Sudeste e passou a crescer em outras regiões, impulsionado pelo food service, por saladas prontas e pela adoção da cultura por produtores familiares (Maia et al., 2022; Caixeta et al., 2017; Cunha et al., 2018). Para o Centro-Oeste, em especial para áreas de Cerrado, a rúcula é atrativa porque pode ser cultivada em sistemas intensivos, sob irrigação e até em estruturas simples de proteção, atendendo mercados locais e institucionais.

A expansão da rúcula em ambientes de Cerrado depende, porém, de manejo criterioso da fertilidade do solo. Os solos ácidos, com baixa matéria orgânica e suscetíveis à deficiência de micronutrientes como boro, zinco, cobre, manganês e ferro, elementos decisivos para hortaliças de ciclo curto e elevada extração por unidade de área (Cunha et al., 2018; Ferreira et al., 2022; Santana et al., 2025). A literatura mais recente sobre fertilidade e olericultura aponta que a omissão desses elementos reduz crescimento foliar, qualidade comercial e capacidade de rebrota, o que compromete a viabilidade econômica de cultivos sucessivos (Maia et al., 2022; Ferreira et al., 2022; Hubner et al., 2024).

Ressalta-se que folhosas de ciclo curto extraíam rapidamente elementos como zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu), ferro (Fe) e boro (B), e que solos de baixa fertilidade — como muitos encontrados no Cerrado — demandam correções específicas para evitar deficiências nutricionais, que comprometem tanto rendimento quanto qualidade comercial (Maia et al., 2022; Hubner et al., 2024; Santana et al., 2025). Assim, formular programas de adubação que incluem diagnóstico de solo e, quando necessário, suplementação de

micronutrientes é etapa central para estabilizar a produtividade da rúcula no Cerrado brasileiro.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes dosagens de Boro no cultivo da rúcula (*Eruca sativa Mill.*) no município de Palmeiras de Goiás, região do Cerrado brasileiro.

## **METODOLOGIA**

O experimento foi conduzido a campo, em canteiro localizado na área experimental de Olericultura da Unidade de Palmeiras de Goiás, pertencente à Universidade Estadual de Goiás (UEG). A região, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, é classificada pelo clima tipo Aw, e apresenta duas estações bem definidas: a estação chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro). Destaca-se que outubro (período do experimento) marca o início do período chuvoso, sendo um mês de transição climática fundamental para o desenvolvimento de culturas agrícolas de ciclo curto, como a rúcula.

As temperaturas médias registradas para o mês situam-se em torno de 21° C nas mínimas e 32° C nas máximas, com média térmica diária próxima de 26° C. A precipitação acumulada média é de aproximadamente 105 mm, indicando o retorno gradual das chuvas convectivas típicas da primavera no Cerrado goiano. A umidade relativa do ar apresenta valores médios de 54%, podendo variar conforme a ocorrência de pancadas de chuva ou períodos ainda secos e quentes.

No presente experimento, foi utilizado mudas de rúcula, cultivar Folha Larga, com 15 dias após a emergência (DAE), as quais foram transplantadas para um canteiro em 08 de outubro de 2025, no espaçamento de 30 x 30 cm entre plantas e linhas. No mesmo dia do transplante, realizou-se a adubação de plantio com macronutrientes (NPK) conforme as recomendações de Haag e Minami (1988).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), composto por cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 parcelas

experimentais. Cada parcela foi constituída por 4 plantas úteis, das quais se obteve o valor médio da parcela. Os tratamentos corresponderam às doses crescentes de boro (B), aplicadas via solo na forma de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ), nas seguintes concentrações: 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0  $kg/h^{-1}$ , aplicadas também no momento do transplântio.

A área experimento possuía sistema de irrigação por gotejamento, sendo assim, realizadas lâminas diárias ajustadas para manter o solo próximo a 80% da capacidade de campo, monitorada por observação visual e amostragens de umidade. Durante todo o ciclo de cultivo, o canteiro permaneceu protegido por tela sombrite de 50%, mantida aberta para permitir boa ventilação e luminosidade difusa. Ambas as práticas realizadas para evitar estresse hídrico e térmico, garantindo maior uniformidade no desenvolvimento vegetativo e qualidade das folhas comerciais.

Aos 30 dias após o transplântio (45 DAE) foram realizadas as avaliações morfológicas e produtivas. Foram determinados: Altura de planta (cm): medida do solo até o ápice da maior folha; Número de folhas comerciais por planta (-); e Diâmetro da roseta (cm): distância entre as extremidades das folhas opostas.

Após as medições, as plantas foram coletadas, lavadas e separadas do sistema radicular, sendo determinada a massa fresca da parte aérea ( $g\ ha^{-1}$ ) com balança analítica, a qual, foi extrapolada para produtividade ( $kg\ m^{-2}$ ). Em seguida, o material foi submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas, até atingir peso constante, para obtenção da massa seca da parte aérea ( $g\ ha^{-1}$ ).

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, os modelos de regressão para avaliar o comportamento das variáveis em função das doses de boro aplicadas, conforme procedimentos estatísticos descritos por Ferreira (2019), utilizando nível de significância de 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou efeito significativo das doses de boro apenas sobre o número de folhas por planta e o diâmetro da roseta, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 1). Para altura de planta, massa fresca, massa seca e produtividade, o fator doses de boro não foi significativo ( $p > 0,05$ ), embora o efeito de blocos tenha sido altamente significativo em todas as variáveis, indicando heterogeneidade espacial relevante na área experimental, o que justifica o uso do delineamento em blocos ao acaso.

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) para as características morfológicas e produtivas da rúcula submetida a doses de boro.

Variável	Altura de planta (cm)	Número de folhas	Diâmetro da roseta (cm)	Massa fresca (g)	Massa seca (g)	Produtividade (kg m <sup>-2</sup> )
SQ Trat.	53,82	113,44	36,99	205,71	1,21	2.539
QM Trat.	13,45	28,36	9,25	51,43	0,3	634.854
F	1,03	3,1	8,56	1,9	1,12	1,9
p-valor	0,396	<b>0,019</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,116	0,352	0,116
Média geral	11,82	7,46	2,72	12,47	1,36	43,55
CV (%)	20	20	16	14	18	15

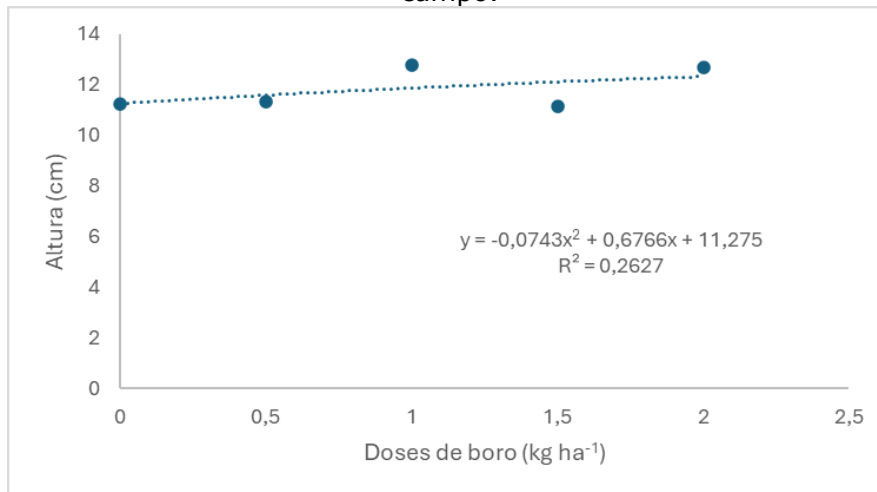
Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Cabe ressaltar, que os resultados foram obtidos com CVs, entre 15 e 20%, o que indicam variabilidade moderada, aceitável para experimentos de hortaliças em campo com plantas individuais, especialmente para massa fresca e seca, que costumam ser mais variáveis.

A altura das plantas apresentou variação modesta entre as doses de boro (Figura 1). Embora haja um ligeiro aumento próximo a 1,0 kg ha<sup>-1</sup>, o baixo valor de R<sup>2</sup> ( $\approx 0,26$ ) indica fraca associação entre a variável e as doses aplicadas. Isso sugere que a altura não é sensível ao B em rúcula, comportamento já relatado em estudos de Hubner et al. (2024), que também observaram ausência de resposta significativa da altura mesmo com aplicação de B ao solo. Assim, a altura

se mostra uma variável de pouca sensibilidade para avaliar resposta ao B, reforçando que outros componentes do crescimento são mais adequados para detectar efeitos do micronutriente.

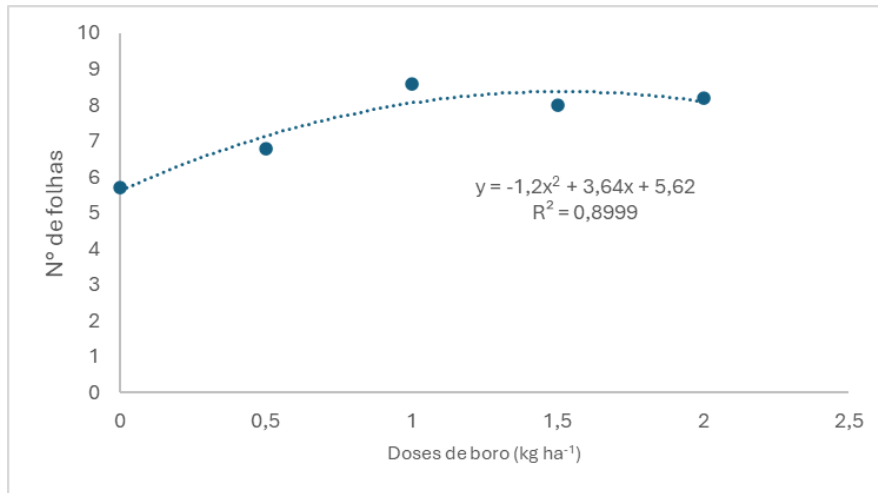
Figura 1. Altura média de plantas de rúcula em função das doses de boro aplicadas cultivada a campo.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Para o número de folhas, observou-se incremento aparente das médias com o aumento das doses de boro, variando de 5,70 folhas ha<sup>-1</sup> na ausência do micronutriente para 8,60 folhas ha<sup>-1</sup> na dose de 1,0 kg ha<sup>-1</sup> e valores próximos a 8 folhas nas doses de 1,5 e 2,0 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2). O ajuste do modelo de regressão quadrático indicou boa aderência dos dados ( $R^2 \approx 0,90$ ), com ponto de máximo estimado em aproximadamente 1,5 kg ha<sup>-1</sup> de boro.

Figura 2. Número de folhas por planta de rúcula submetida a diferentes doses de boro cultivada a campo



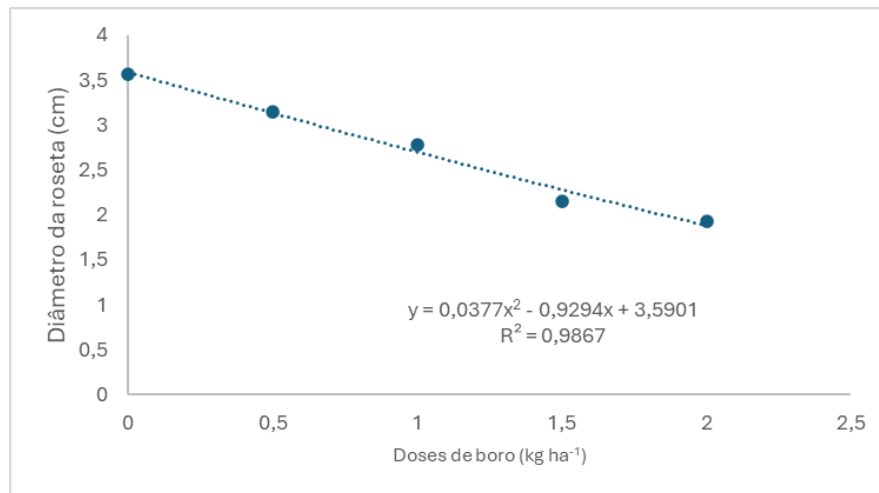
Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Comparação com trabalhos na literatura, temos Hubner et al. (2024) que relataram que a aplicação de boro não alterou o número de folhas em rúcula, embora tenha aumentado a matéria seca aérea. A diferença entre este experimento e o de Hubner et al. (2024) pode refletir níveis iniciais mais baixos de B no solo, fazendo com que a cultura respondesse mais expressivamente ao micronutriente.

Estudos fisiológicos ampliam essa interpretação ao mostrar que o B é essencial para formação de parede celular, integridade dos meristemas e desenvolvimento de tecidos jovens (Marschner, 2012).

No caso do diâmetro da roseta (Figura 3), a resposta foi mais nítida. As médias diminuíram de 3,57 cm na dose 0,0 kg h<sup>-1</sup> para 1,93 cm na dose 2,0 kg h<sup>-1</sup>, evidenciando rosetas mais compactas com o aumento das doses de boro. O modelo quadrático ajustado apresentou coeficiente de determinação elevado ( $R^2 \approx 0,99$ ), indicando excelente ajuste dos dados. Em termos práticos, o incremento de boro promoveu maior compactação da roseta, sem necessariamente reduzir o número de folhas, o que pode alterar o padrão visual e a distribuição de biomassa na planta.

Figura 3. Diâmetro médio da roseta de rúcula em resposta às doses crescentes de boro cultivada a campo

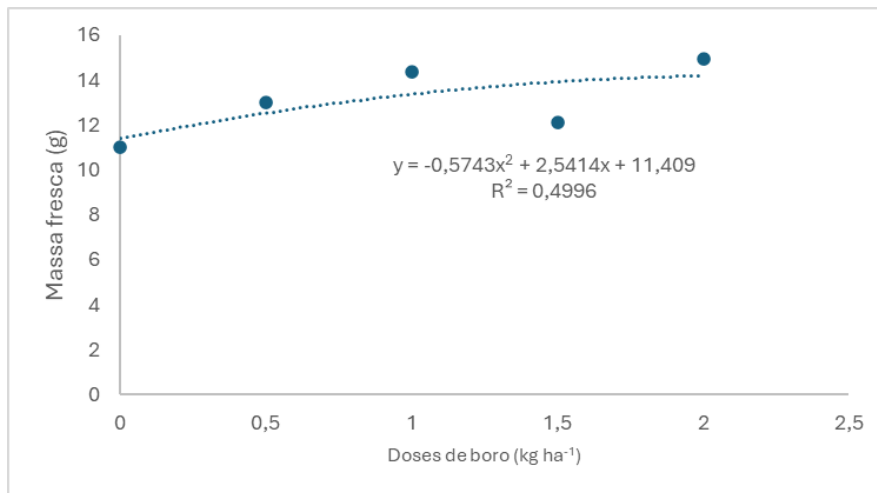


Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Em hortaliças folhosas, características morfológicas como número de folhas e diâmetro da cabeça ou roseta são frequentemente utilizadas para avaliar o crescimento e o desempenho produtivo das plantas. Estudos com alface demonstram que essas variáveis estão relacionadas à arquitetura vegetal e podem variar conforme o manejo nutricional, o ambiente de cultivo e o material genético utilizado (Blat et al., 2011; Brzezinski et al., 2017). Dessa forma, alterações nas condições de cultivo podem modificar o padrão de emissão foliar e a disposição das folhas, influenciando a compactação e o diâmetro final das plantas, comportamento compatível com o observado no presente experimento.

A massa fresca aumentou de forma consistente até a maior dose, variando de 11,0 para 14,9 g, com tendência quadrática e ótimo estimado ligeiramente acima da maior dose testada (Figura 4).

Figura 4. Massa fresca da parte aérea de rúcula em função das doses de boro cultivada a campo

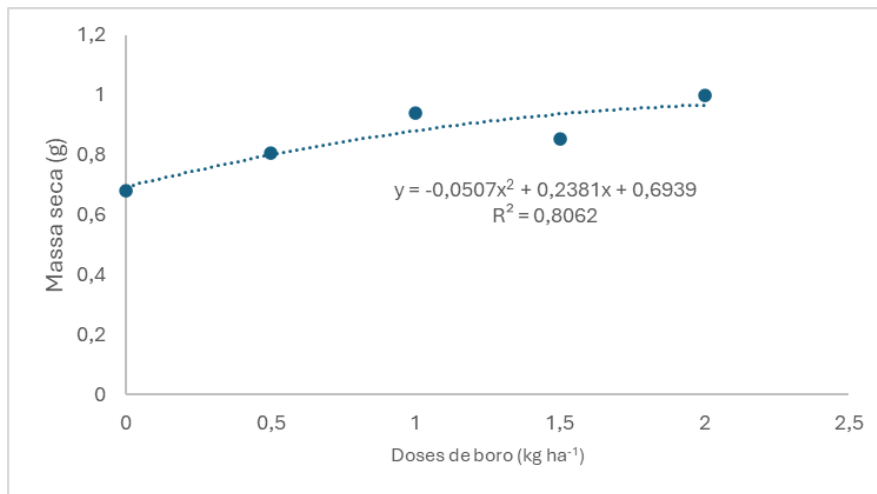


Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

O experimento demonstra que a cultura estava provavelmente em condição de deficiência inicial de B, o que explica a forte resposta positiva até 2,0 kg ha<sup>-1</sup>. Embora o R<sup>2</sup> seja intermediário (R<sup>2</sup> ≈ 0,50), a tendência geral indica resposta positiva ao B. Nesse sentido, Hubner et al. (2024) também observaram aumento de massa seca da parte aérea com aplicação de B. Em alface, vários trabalhos mostram aumento da massa fresca em solos deficientes em B, com resposta típica de curva de suficiência (Silva et al., 2018).

Já a massa seca da parte aérea apresentou incremento consistente em resposta às doses de boro aplicadas ao solo (Figura 5). Os valores médios observados foram de 0,69; 0,80; 0,94; 0,85 e 1,00 g para as doses de 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 kg h<sup>-1</sup>, respectivamente, evidenciando tendência geral de acúmulo crescente de biomassa ao longo das doses. Embora tenha sido registrada leve redução na dose intermediária de 1,5 kg h<sup>-1</sup>, o comportamento global indica resposta positiva ao micronutriente, com a maior média sendo obtida na dose de 2,0 kg h<sup>-1</sup>. O ajuste da regressão quadrática resultou um coeficiente de determinação R<sup>2</sup> = 0,8062, demonstrando que a relação entre massa seca e doses de boro é bem explicada pela equação.

Figura 5. Massa seca da parte aérea de rúcula em função das doses de boro cultivada a campo



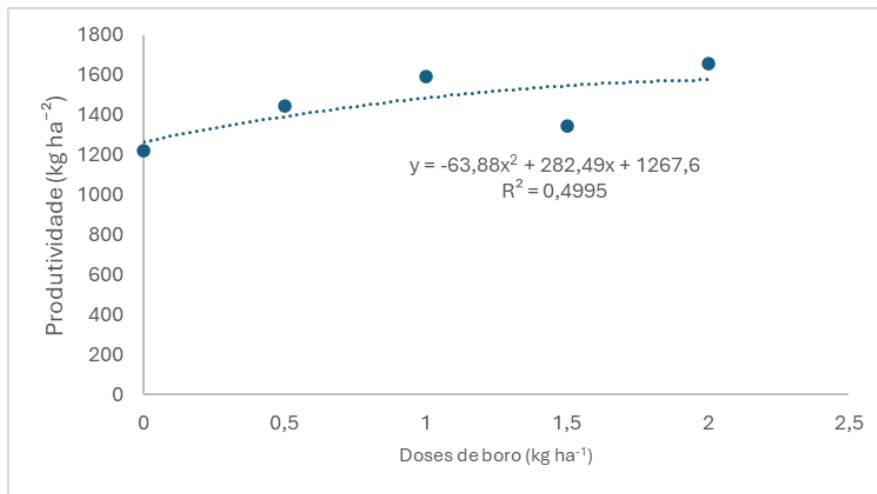
Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Comparando-se com estudos anteriores, nota-se forte convergência. Hubner et al. (2024), avaliando doses de boro em rúcula, também relataram incremento não significativo da massa seca da parte aérea, embora tenham identificado ponto ótimo inferior (1,09 kg ha<sup>-1</sup>) ao encontrado neste trabalho. Essa diferença sugere que o solo utilizado no presente experimento apresentou menor disponibilidade inicial de boro, o que explicaria a resposta mais acentuada até doses mais elevadas.

Em pesquisas realizadas com outras folhosas, como alface, observou-se comportamento semelhante: Silva et al. (2018) registraram aumento expressivo na massa seca quando o boro foi suplementado em solos deficientes, destacando que o micronutriente exerce efeito direto sobre o vigor vegetativo.

A produtividade acompanhou a massa fresca, crescendo de forma consistente até 2,0 kg h<sup>-1</sup> (Figura 6). O modelo sugere que aplicações ligeiramente superiores ainda poderiam aumentar o rendimento, embora exista risco fisiológico de toxicidade em doses maiores. Na literatura trabalhos relatam ganhos de até 40% na produtividade são comuns em folhosas cultivadas em solos deficientes quando se corrige B (Gupta et al., 2018). Em rúcula, respostas tão claras ao B são raras, o que reforça a hipótese de solo com B insuficiente.

Figura 6. Produtividade da cultura da rúcula em relação às doses de boro aplicadas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Esses resultados estão de acordo com o papel fisiológico do boro descrito na literatura, como elemento essencial envolvido na integridade da parede celular, na manutenção de meristemas, na divisão e expansão celular, bem como no transporte de carboidratos (Ahmad et al., 2009). Revisões recentes ressaltam que o boro possui uma faixa muito estreita entre deficiência e toxicidade, de modo que pequenas variações na disponibilidade podem modificar o crescimento de tecidos jovens, sem necessariamente se refletir de forma imediata em ganhos de biomassa total (Gupta, et al, 1985; Ahmad et al., 2009).

Em hortaliças folhosas, tem sido relatado que a adubação com boro pode alterar a morfologia da parte aérea, influenciando o número de folhas, a compactação da cabeça ou roseta e aspectos de qualidade comercial, sobretudo quando o nutriente se encontra em níveis deficientes no solo (Alam; Jahan, 2007). Estudos com alface americana mostraram que doses crescentes de boro alteram rendimento e qualidade das cabeças, com faixa ótima relativamente estreita para evitar sintomas de deficiência ou toxicidade (Yuri et al., 2003).

Para a rúcula, trabalhos recentes enfatizam a importância do manejo adequado da fertilidade do solo e da solução nutritiva (no caso de sistemas sem solo) para maximizar produtividade e qualidade de folhas, embora a maioria das pesquisas foque em macronutrientes, condutividade elétrica e manejo de adubos

organominerais, e menos especificamente em micronutrientes isolados como o boro. Embora haja menos estudos específicos para boro em rúcula, pesquisas com adubação foliar, organomineral e biofortificação em rúcula var. 'Folha Larga' mostram que ajustes finos na nutrição resultam em incrementos significativos de produtividade e qualidade comercial (Godinho et al., 2021).

Já Hubner et al. (2024) avaliando a aplicação de doses de B na cultura da rúcula, em casa de vegetação, concluíram que as doses de boro não influenciaram o comprimento e o número de folhas por planta e a produção de massa seca de raízes da rúcula, mas apresentaram efeito significativo na produção de massa seca da parte aérea e comprimento de raízes. Os autores ainda recomendam a aplicação de 1,09 kg ha<sup>-1</sup> de boro na produção de rúcula

No presente estudo, a ausência de efeito significativo das doses de boro sobre massa fresca, massa seca e produtividade sugere que, nas condições de solo, clima e manejo adotados, o nutriente atuou principalmente sobre a arquitetura da planta, modificando o número de folhas e a compactação da roseta, sem aumento estatisticamente comprovado de rendimento. Comportamentos semelhantes são relatados em outras culturas, em que o fornecimento de boro em níveis adequados estabiliza o crescimento vegetativo, mas a resposta em produtividade depende de condições de maior estresse ou de deficiência mais pronunciada (Gupta, et al, 1985).

Do ponto de vista fisiológico, a maior compactação da roseta observada nas maiores doses de boro é coerente com a atuação do micronutriente em tecidos meristemáticos e na organização estrutural de células recém-divididas. Estudos recentes apontam que a deficiência de boro compromete fortemente o desenvolvimento de meristemas e a arquitetura de raízes e parte aérea, enquanto o suprimento adequado está associado a melhor estruturação de tecidos e distribuição de carboidratos (Srivastava et al., 2025). Dessa forma, o padrão observado em rúcula, com mais folhas e rosetas mais compactas, é compatível com o papel funcional do boro no crescimento de tecidos jovens.

Em termos agronômicos, os resultados indicam que, nas condições deste experimento, doses intermediárias de boro em torno de 1,0 a 1,5 kg ha<sup>-1</sup> tendem a maximizar o número de folhas, enquanto doses mais elevadas tornam a roseta mais compacta. A decisão sobre a dose ótima a ser recomendada deve considerar não apenas o rendimento, mas também a preferência de mercado quanto ao aspecto visual da roseta, além de análises de solo e risco de toxicidade, uma vez que a faixa entre deficiência e excesso de boro é estreita (Gupta, et al, 1985).

Apesar da alteração significativa em variáveis morfológicas (número de folhas e diâmetro da roseta), massa fresca, massa seca e produtividade não diferiram entre doses de B, assim três explicações plausíveis, coerentes com a literatura, são:

1. Nível basal de boro no solo já próximo do adequado: Recomendações recentes para hortaliças indicam que respostas à adubação boratada tendem a ocorrer em solos com teores muito baixos, sendo que níveis próximos à faixa adequada limitam a amplitude de resposta em produtividade, mesmo com alterações em atributos morfológicos (Pizzorno, 2015; Mattiello et al., 2009).

2. Faixa das doses dentro de uma janela “não limitante” para rendimento: Ainda que as doses tenham sido suficientes para alterar arquitetura da planta, possivelmente o intervalo 0–2 kg/h<sup>-1</sup> não foi amplo o bastante para provocar deficiência severa (no zero) ou toxicidade evidente nas doses máximas, resultando em diferenças sutis na biomassa total. Estudos com outras culturas mostram que (p.ex. Bhupenchandra et al., 2025), muitas vezes, o efeito do boro sobre rendimento se manifesta de forma mais marcante em condições de deficiência pronunciada ou em solos arenosos de baixa capacidade de retenção, o que não necessariamente é o caso do presente estudo.

3. Relação entre área foliar, interceptação de luz e conversão em biomassa: A maior quantidade de folhas observada em doses intermediárias de B nem sempre se traduz em maior acúmulo de biomassa total, especialmente se houver sombreamento ou limitação por outros fatores como, N, K, água, etc. Em rúcula cultivada em sistemas intensivos, já foi demonstrado que o manejo

de condutividade elétrica e outros nutrientes pode ser mais determinante para biomassa e produtividade do que ajustes finos em micronutrientes isolados (Yang et al., 2021).

## CONCLUSÃO

Conclui-se que o boro exerceu efeito significativo apenas sobre o número de folhas e o diâmetro da roseta, alterando a arquitetura da planta, porém sem resultar em aumentos estatisticamente comprovados de massa fresca, massa seca ou produtividade. Dessa forma, nas condições de solo e cultivo avaliadas, o manejo de boro demonstrou impactar mais intensamente características morfológicas do dossel do que o rendimento final da cultura.

Em termos de pesquisa, os resultados reforçam a necessidade de estudos complementares com faixas mais amplas de doses de B, diferentes fontes e modos de aplicação (solo vs. foliar) e avaliação conjunta de qualidade pós-colheita e composição nutricional das folhas.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Universidade Estadual de Goiás, por meio do Instituto de Ciências Agrárias e Sustentabilidade e do curso de Agronomia da Unidade de Palmeiras de Goiás e pelo Fomento próprio do Edital UEG Nº 28/2022 - Pró-Laboratórios.

## REFERÊNCIAS

AHMAD, W. et al. Role of boron in plant growth: a review. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 3, p. 329–338, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/235674754\\_Role\\_of\\_boron\\_in\\_plant\\_growth\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/235674754_Role_of_boron_in_plant_growth_a_review). Acesso em: 15 ago. 2025.

ALAM, M. N.; JAHAN, N. Effect of boron levels on growth and yield of cabbage in calcareous soils of Bangladesh. **Research Journal of Agriculture and** *Revista MIRANTE, Anápolis / GO, v. 19, n. 1, maio de 2026.*

**Biological Sciences**, v. 3, n. 6, p. 858–865, 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228667281\\_Effect\\_of\\_boron\\_levels\\_on\\_growth\\_and\\_yield\\_of\\_cabbage\\_in\\_calcareous\\_soils\\_of\\_Bangladesh](https://www.researchgate.net/publication/228667281_Effect_of_boron_levels_on_growth_and_yield_of_cabbage_in_calcareous_soils_of_Bangladesh). Acesso em: 16 ago. 2025.

ANTÓNIO, G. J. Y. et al. Aspectos socioeconômicos na produção e comercialização de hortaliças folhosas no município de Iporá-GO. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 19, n. 1, p. 1–12, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.3-071>

BHUPENCHANDRA, I. et al. Deciphering optimal boron management impact on crop productivity, physiology, calcium-boron ratio, mobility and nutrient dynamics in a vegetable cropping sequence under acidic soil. **Plant Physiology and Biochemistry**, p. 110219, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.110219>

BLAT, S. F. et al. Desempenho de cultivares de alface em diferentes ambientes de cultivo. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 2, p. 205-210, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000100024>

BRZEZINSKI, C. R. et al. Produção de cultivares de alface americana sob dois sistemas de cultivo. **Revista Ceres**, v. 64, n. 1, p. 83-89, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764010012>

CAIXETA, M. M. A. et al. Desempenho da rúcula cultivada em diferentes modos de adubação. **Revista Mirante**, v. 10, n. 2, p. 191–200, 2017. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/mirante/article/view/6419>. Acesso em: 20 ago. 2025.

CALDAS, A. M. J. et al. Olericultura em pequenas propriedades periurbanas no município de Santa Izabel do Pará, Estado do Pará. **Revista Orbis Latina**, v. 14, n. 3, p. 40–68, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12601805>

CUNHA, F. F. et al. Performance of arugula genotypes under irrigation depths on Brazilian Cerrado **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, p. 271–280, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542018423029517>

DE PAIVA, M. C. **Produção de hortaliças em ambiente protegido**. Cuiabá: SEBRAE/MT, 1998.

DOS SANTOS, L. O. et al. A importância da olericultura na dinamização da cadeia produtiva de hortaliças na agricultura familiar no Brasil. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 9, n. 1, p. 1–10, 2025. DOI: <https://doi.org/10.61164/rmnm.v10i1.3913>

FERREIRA, D. F. **Estatística básica e experimental**. Lavras: UFLA, 2019.

FERREIRA, T. et al. **Nutrição organomineral de hortaliças (alface e rúcula): uma revisão de literatura.** 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2512>. Acesso em: 02 out. 2025.

FONTES, R. R.; VILELA, N. J. The current status of Brazilian vegetable crops and future opportunities. **Acta Horticulturae**, n. 607, p. 135–141, 2003. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.607.20>

GODINHO, E. Z. et al. Increase of productivity in arugula variety folha-larga under the application of foliar fertilizers. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 36080–36092, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-191>

GUPTA, U. C. et al. Boron toxicity and deficiency: a review. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 65, n. 3, p. 381–409, 1985. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjss85-044>

GUPTA, U. C.; RAZZAQUE, A. H. M.; KUMAR, S. **Boron: Its Role in Crop Production and Human Health.** Boca Raton: CRC Press, 2018.

HAAG, H. P.; MINAMI, K. Nutrição mineral de hortaliças: LXXVII. demanda de nutrientes por uma cultura de rúcula. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 45, p. 589–595, 1988. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aesalq/a/7xVnm5nnkZyxf7WTJjVypqpwz/?lang=pt>. Acesso em: 21 set. 2025.

HUBNER, V. et al. Doses de boro na cultura da rúcula. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 11, p. e7588–e7588, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv22n11-017>

MAIA, H. M. de C. et al. Cultivo de rúcula (*Eruca sativa* L.) em ambiente protegido sob diferentes concentrações de solução nutritiva. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 29–37, 2022. DOI: <https://doi.org/10.32406/v5n1/2022/29-37/agrariacad>

MARSCHNER, P. Marschner's **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MATTIELLO, E. M. et al. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1281–1290, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500021>

MELO, P. C. T.; ARAÚJO, T. H. **Olericultura: planejamento da produção, do plantio à comercialização.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2016. Disponível

em: [https://sistemaafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/05/PR.0315-Olericultura-Planejamento-da-Producao\\_web.pdf](https://sistemaafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/05/PR.0315-Olericultura-Planejamento-da-Producao_web.pdf). Acesso em: 21 set. 2025.

NASCIMENTO, W. M. **A cadeia produtiva de hortaliças e o valor bruto da produção.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/78089493/artigo---a-cadeia-produtiva-de-hortalicas-e-o-valor-bruto-da-producao>. Acesso em: 21 out. 2025.

PIZZORNO, L. Nothing boring about boron. **Integrative Medicine: A Clinician's Journal**, v. 14, n. 4, p. 35, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26770156/>. Acesso em: 19 out. 2025.

SANTANA, E. C. et al. Aplicação de solução nutritiva na cultura da rúcula (*Eruca vesicaria ssp. sativa*) em diferentes tipos de substratos. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 11, p. e19539–e19539, 2025. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n11-032>

SILVA, J. R. et al. Resposta da alface à adubação com boro em diferentes níveis de disponibilidade no solo. **Revista Brasileira de Horticultura**, v. 36, n. 2, p. 244–252, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.1340>

SRIVASTAVA, A. et al. Functions of boron in plant roots: current insights. **South African Journal of Botany**, v. 177, p. 201–210, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.07.041>

YANG, T. et al. Photosynthesis, biomass production, nutritional quality, and flavor-related phytochemical properties of hydroponic-grown arugula (*Eruca sativa* Mill.) 'standard' under different electrical conductivities of nutrient solution. **Agronomy**, v. 11, n. 7, p. 1340, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11071340>

YURI, J. E. et al. **Adubação foliar de boro para alface americana em cultivo de inverno.** Embrapa Semiárido. 2003. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/153901/adubacao-foliar-de-boro-para-alface-americana-em-cultivo-de-inverno>. Acesso em: 09 ago. 2025.