

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DENSIDADE DE SEMEADURA PARA MICROVERDES DE REPOLHO-  
ROXO

WELLINGTON MISSIONO PINDOBEIRA

JABOTICABAL-SP  
2º Semestre/2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DENSIDADE DE SEMEADURA PARA MICROVERDES DE REPOLHO-ROXO

WELLINGTON MISSIONO PINDOBEIRA

Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho

Trabalho apresentado à Faculdade  
de Ciências Agrárias e Veterinárias -  
UNESP, Câmpus de Jaboticabal, para  
graduação em ENGENHARIA  
AGRONÔMICA.

JABOTICABAL-SP

2º Semestre/2025

P648d Pindobeira, Wellington Missiano  
Densidade de semeadura para microverdes de repolho-roxo  
/ Wellington Missiano Pindobeira. -- Jaboticabal, 2025  
26 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia  
Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho

1. Fitotecnia. 2. Olericultura. 3. Agricultura urbana. I. Título.

**Wellington Missiano Pindobeira**

**Densidade de semeadura para microverdes de repolho-roxo**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em **Engenharia Agrônômica**.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho

Coorientador (se houver):

Área de Concentração: Fitotecnia/Olericultura

Trabalho aprovado em 08/12/2025

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO

Data: 08/12/2025 14:32:22-0300

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

Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho

UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal



Documento assinado digitalmente

FRANCISCO JOSE DOMINGUES NETO

Data: 08/12/2025 21:55:12-0300

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

Prof. Dr. Francisco José Domingues Neto

UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal



Documento assinado digitalmente

FERNANDA ABDUCHE GALVAO PIMENTEL

Data: 08/12/2025 20:53:34-0300

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

Me. Fernanda Abduche Galvão Pimentel

UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal



Documento assinado digitalmente

CIBELE CHALITA MARTINS

Data: 09/12/2025 09:29:54-0300

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

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Cibele Chalita Martins  
Chefe do Departamento

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha família, em especial meus pais, que me apoiaram e tornaram tudo possível. Obrigado pelo apoio, carinho, amor, e por estarem sempre ao meu lado. Também dedico ao meu orientador que me deu essa oportunidade e fez muito além do que um orientador ao me apoiar nessa trajetória, se tornando uma referência não só profissional, mas também pessoal para mim. E à minha namorada que me apoiou e esteve comigo em todos os momentos nessa jornada, me incentivando sempre a prosperar e me tornar melhor.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente meus pais, Adenilson do Rosário Pindobeira e Patrícia Maurício Missiano por terem todo o carinho incondicional durante toda minha vida e por não medirem esforços para que eu chegasse aonde estou hoje. Do mesmo modo agradeço meus irmãos Luiz Otávio Missiano Pindobeira e Ana Julia Missiano Pindobeira por serem crianças incríveis que iluminam toda minha jornada. Agradeço à minha namorada Julia Magalhães Santiago por sempre estar ao meu lado e me apoiar em todos os quesitos da minha vida, me ensinando como é fundamental ter com quem partilhar a vida.

Agradeço, também, ao meu orientador, Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, pela orientação, paciência, pelos valiosos ensinamentos ao longo deste processo, por me mostrar quão valioso é ter experiências extracurriculares e por ser um grande exemplo de profissionalismo, caráter e compreensão. Seus ensinamentos foram de grande valia para meu crescimento. Agradeço, membros do grupo de estudo de hortaliças (GEH) ao contribuírem com as atividades.

Agradeço, ao CNPq e Pro Reitoria de Pesquisa (PROPe) por financiar com bolsa PIBIC o presente trabalho, tornando viável a produção do mesmo. Por fim, agradeço à UNESP FCAV – Jaboticabal-SP, por me proporcionar conhecimento e um ambiente onde pude não somente cursar a graduação, mas também interagir com pessoas e obter conhecimentos além do curricular, conhecimentos esses que levarei por toda vida. Muito obrigado a todos!!

## SUMÁRIO

|     |                                               |    |
|-----|-----------------------------------------------|----|
| 1   | INTRODUÇÃO .....                              | 10 |
| 2   | MATERIAL E MÉTODOS .....                      | 13 |
| 2.1 | Área experimental .....                       | 13 |
| 2.2 | Tratamentos e delineamento experimental ..... | 13 |
| 2.3 | Instalação e condução do experimento .....    | 14 |
| 2.4 | Avaliações .....                              | 14 |
| 2.5 | Análises estatísticas .....                   | 16 |
| 3   | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                  | 17 |
| 4   | CONCLUSÃO .....                               | 22 |
|     | REFERÊNCIA .....                              | 23 |

## RESUMO

Microverdes de repolho-roxo, com valores nutracêutico elevados e características sensoriais próprios, torna-o um dos microverdes mais estudados para cultivo em *plant factory*. No entanto, sob luz branca, é necessário conhecer o efeito da densidade de semeadura em sua fisiologia, produtividade e qualidade, sendo este o objetivo do presente estudo. Cinco densidades de semeadura (60, 120, 180, 240 e 300 gm<sup>-2</sup>) foram avaliadas em ambiente controlado sob densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de 250 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de luz branca + 20 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de luz vermelha e fotoperíodo de 20 horas. O aumento na densidade de semeadura causou maior competição entre as plântulas, o que ocasionou o aumento do comprimento do hipocótilo e reduções na área cotiledonar e massa seca da parte aérea. No entanto, as reduções percebidas na massa individual das plantas foram compensadas por um aumento no número de plantas, o que resultou em maiores produtividades com o aumento da densidade de semeadura. A eficiência do fotossistema II, a fluorescência inicial e a fluorescência máxima não foram influenciadas pela densidade de semeadura. Quanto à qualidade dos microverdes, o aumento da densidade de semeadura resultou em um efeito contrário ao observado para a produtividade e reduziu os teores de cálcio, ferro, pigmentos e ácido ascórbico.

**Palavras-chave:** *Brassica oleracea* var. *capitata* f. rubra; fábrica de plantas; fazenda vertical; superalimento; agricultura urbana



## ABSTRACT

Red cabbage microgreens, with high nutraceutical value and peculiar sensory characteristics, has been one of the most studied microgreens for cultivation in plant factories. However, under white light, it is necessary to know the effect of sowing density on their physiology, yield, and quality, which is the objective of the present study. Five sowing densities (60, 120, 180, 240, and 300 g m<sup>-2</sup>) were evaluated in an indoor environment under photosynthetic photon flux density of 250 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> of white light + 20 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> of red light, and photoperiod of 20 h. Increase in sowing density caused greater competition among seedlings, which increased hypocotyl length and reduced cotyledon area and shoot dry mass of the microgreens. However, the perceived decreases in the individual plant mass were offset by an increase in the number of plants, which resulted in higher yields as sowing density increased. Efficiency of photosystem II, initial fluorescence, and maximum fluorescence were not influenced by sowing density. As for the quality of microgreens, increasing the sowing density resulted in an effect contrary to that observed for yield and reduced contents of calcium, iron, pigments, and ascorbic acid.

**Key words:** *Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*, plant factory, vertical farm, superfood, urban agriculture.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por hábitos mais saudáveis envolve a adoção de uma alimentação balanceada e rica em nutrientes. Entre os alimentos funcionais, destacam-se os microverdes que possuem altas concentrações de fitoquímicos, vitaminas e minerais, além de menor teor de nitrato (Rajan *et al.* 2019) comparativamente à plantas completamente desenvolvidas em estágio vegetativo tradicional de colheita (Brazaitytė *et al.* 2021, Tomas *et al.* 2021, Zhang *et al.* 2021).

Microverdes são plantas colhidas no estágio vegetativo inicial, compostos por cotilédones com (Jambor *et al.* 2022) ou sem (Xiao *et al.* 2012) os conjuntos iniciais de folhas, sem suas raízes, que permanecem no substrato, caracterizando-os como uma opção alimentar mais segura do que os brotos (Reed *et al.* 2018). Os microverdes tem como função principal a composição de saladas ou guarnições comestíveis para sopas, sanduíches e uma variedade de pratos principais devido aos seus sabores distintos, tons atraentes e texturas delicadas (Partap *et al.* 2023). Várias espécies podem ser cultivadas como microverdes, especialmente as que constituem a família *Brassicaceae* (Kyriacou *et al.* 2016; Samuolienė *et al.* 2019). O repolho-roxo, em particular, destaca-se pelas suas ações antioxidantes, anti-inflamatórias, antibacterianas e anticancerígenas, com efeitos positivos na saúde humana, como a redução do colesterol, dos triglicerídeos, das doenças cardiovasculares e dos cânceros (Huang *et al.* 2016).

Os microverdes podem ser produzidos em diferentes ambientes, mas tem se destacado em *plant factory* ou cultivo *indoor*, principalmente porque esses ambientes permitem o melhor manejo de suas características morfofisiológicas e bioquímicas, que impactam no rendimento e na qualidade do alimento produzido (Zhang *et al.* 2021). De acordo com Paraschivu *et al.* (2021), a produção de microverdes cresceu 26% em grandes e 10% em pequenas *plant factory's*, com expectativa de crescimento de 6% ao ano nos próximos anos. Essa condição os coloca como uma estratégia promissora para atingir algumas metas estabelecidas pelo grupo da Nações Unidas (2022), como o combate à fome e à desnutrição. Quando aliados ao sistema de produção de alimentos em sistema *indoor*, que

apresentam alta eficiência no uso de insumos e proteção contra eventos climáticos, podem contribuir para uma agricultura com menor impacto ambiental e maior segurança alimentar (Rosa *et al.* 2025).

A luz é o fator mais estudado para a produção de microverdes em *plant factory*, enquanto a densidade populacional tem sua importância subestimada. No entanto, a otimização da população de plantas é um fator preponderante para obter o máximo de outros fatores de produção, como a própria luz e a estrutura de produção (Silva *et al.* 2016). Consequentemente, o ajuste da densidade de plantas reduz os custos de produção de microverdes (Priti *et al.* 2022) e permite ao produtor competir no mercado, além de promover maior acessibilidade do consumidor aos alimentos produzidos. No entanto, as informações são escassas e inconclusivas, pois diferenças no espectro e intensidade luminosa, fotoperíodo e genótipo, entre outros fatores no cultivo de microverdes em fábricas de plantas, são determinantes para verificar resultados divergentes de densidade ótima de microverdes e, especificamente no presente estudo, de repolho-roxo. Partap *et al.* (2023) mencionaram densidades de 60 a 70 g m<sup>-2</sup> de sementes para microverdes de repolho-roxo e 50 a 60 g m<sup>-2</sup> para rúcula. No entanto, os mesmos autores afirmam que existem poucos estudos realizados para avaliar o efeito da densidade de semeadura na produção de biomassa e na qualidade de microverdes. Em estudos preliminares realizados por nosso grupo de estudo em hortaliças (GEH), foram observados incrementos na produtividade de repolho-roxo com densidades mais altas. (Medelo, 2024)

A densidade populacional de plantas é um fator primordial a ser estudado, visto que afeta tanto as características relacionadas à produtividade (morfofisiológicas e crescimento) (Jones-Baumgardt *et al.* 2021, Mir *et al.* 2017, Partap *et al.* 2023) e características qualitativas (pigmentos, vitaminas e antioxidantes) do microverde produzido. Maiores densidades de semeadura geram mudas com colmos alongados e, devido à alta densidade, favorecem o surgimento de doenças e levam à formação de mudas mais frágeis, propícias ao tombamento (Mir *et al.* 2017). Microverdes de repolho mais altos, com menor diâmetro de hipocótilo e maiores rendimentos, foram observados por Partap *et al.* (2023) à

medida que a densidade de semeadura aumenta. Por outro lado, a menor densidade promove plântulas com hipocótilos mais curtos e robustos e mudas com maior vida útil, mas sem vantagem para a colheita mecanizada (Jones-Baumgardt *et al.* 2021).

Em relação ao efeito da densidade de semeadura na qualidade, Partap *et al.* (2023) observaram que, em geral, maiores teores de ácido ascórbico e compostos fenólicos foram obtidos em menores densidades, enquanto para o teor de glucosinolatos o efeito da densidade de semeadura foi dependente da espécie e do substrato utilizados. Maior teor de clorofila nos cotilédones foi observado na menor densidade (4 sementes por célula), mas com divergência entre as espécies de rabanete, rúcula e repolho nas densidades de 8 e 12 sementes por célula.

Diante do exposto, tem-se a hipótese de que o aumento na população de microverdes promove incremento de produtividade e perda de qualidade do repolho-roxo. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos da densidade de semeadura no crescimento, produtividade e qualidade de microverdes de repolho-roxo, em *plant factory*.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área experimental

O experimento foi conduzido no laboratório de cultivo indoor, com temperatura de 20 a 22°C e umidade relativa de 55 a 70%, localizado no Departamento de Produção Vegetal da Unesp, campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Os microverdes foram cultivados em bandejas dispostas em prateleiras, e cada bandeja recebeu luz artificial de LED branco,  $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , e LED vermelho,  $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , ambos com fotoperíodo de 20 horas por dia. A irradiância e fotoperíodo foram adotados conforme experimento realizado por Medelo (2024). Foram utilizadas lâmpadas de LED branco, 7 W, 48 VDC, modelo GLFS-v.11.7.4.22 (LEDs-Up), compostas de azul (25,4%), verde (23,8%), amarelo/laranja (21,3%), vermelho (27,1%) e vermelho distante (2,3%). As lâmpadas LED vermelhas continham 75,9% de vermelho, 11,0% de infravermelho, 1,3% de amarelo/laranja, 0,2% de verde e 11,7% de azul. A iluminação foi aferida para fornecer irradiância homogênea à bandeja de microverdes, para o que foi utilizado o espectrorradiômetro SpectraPen SN-SP-144 (Photon System Instruments).

### 2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Efetuaram-se cinco tratamentos correspondentes às densidades de semeadura de 60, 120, 180, 240 e 300 g m<sup>-2</sup> de sementes de repolho-roxo (*Brassica oleracea var. capitata f. rubra*), cultivar 'Mammoth Red Rock' (Feltrim Seeds). Um grama contém 275 sementes, e o lote apresentou 96% de germinação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco repetições. Cada unidade experimental foi constituída por duas bandejas de microverdes (20,5 x 13 cm), posicionadas no centro da prateleira, cuja localização foi estabelecida por meio de rigoroso controle de irradiância.

### 2.3 Instalação e condução do experimento

As bandejas de polipropileno foram preenchidas com uma camada de 1,5 cm de altura de substrato organomineral (*Bioplant*), com pH  $6 \pm 0,3$  e condutividade elétrica de  $0,8 \text{ dS m}^{-1} \pm 0,06$ . Para umedecimento do substrato por capilaridade as bandejas detinham furos de 2 mm de diâmetro, com 3 cm de equidistância.

A semeadura foi realizada manualmente, distribuindo-se as sementes de repolho-roxo uniformemente sobre o substrato úmido, sem incorporação. Após a semeadura, as bandejas foram borrifadas com água para umedecer o substrato e as sementes, as bandejas foram empilhadas em número de quatro, colocadas em ambiente escuro para a germinação das sementes, enraizamento das plântulas no substrato, crescimento do hipocótilo e início da abertura dos cotilédones.

Três dias após a semeadura, as bandejas de microverdes foram transferidas para o Laboratório *indoor*, e cada bandeja foi colocada no centro de uma bandeja maior, contendo solução nutritiva. As mudas foram mantidas a 27 cm de distância da fonte de luz. No início da fase de luz, 250 mL de solução nutritiva foram aplicados em cada unidade experimental, com 100 mL adicionais a cada 12 h durante os dois primeiros dias e 150 mL do terceiro ao sexto dia. A solução nutritiva utilizada foi a recomendada para o cultivo de hortaliças folhosas maduras em hidroponia com técnica de filme nutritivo, proposta por Furlani *et al.* (1999), cujas concentrações de nutrientes foram: 174,0 N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 24,0 N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 39,0 P; 183,0 K; 142,0 Ca; 38,0 Mg; 52,0 S; 0,3 B; 0,02 Cu; 2,0 Fe; 0,4 Mn; 0,06 Mo; e 0,06 Zn mg L<sup>-1</sup>. A condutividade elétrica da solução nutritiva foi  $2,1 \text{ dS m}^{-1}$ .

Os microverdes foram colhidos após seis dias de irradiação, quando as mudas estavam com os cotilédones completamente expandidos e com a primeira folha em início de desenvolvimento.

### 2.4 Avaliações

a) Fluorescência da clorofila: 3h antes da coleta, um fluorômetro portátil, modelo OS30p (*Opti-Science*, EUA) foi utilizado para avaliar a eficiência quântica do

fotossistema II. Após 30 minutos de configuração dos cliques, os dados de  $F_0$  (fluorescência inicial),  $F_M$  (fluorescência máxima),  $F_V$  (variação na fluorescência calculada a partir de  $F_0$  e  $F_M$ ) e eficiência quântica ( $F_V / F_M$ ) foram obtidos.

b) Comprimento do hipocótilo (cm): os microverdes foram coletados aleatoriamente de metade da bandeja e os hipocótilos de 50 plântulas foram medidos com um paquímetro digital.

c) Área dos cotilédones ( $\text{cm}^2 \text{ microverde}^{-1}$ ): nas 50 plântulas que tiveram o hipocótilo medido, as áreas dos cotilédones foram quantificadas utilizando um medidor de área eletrônico, modelo LI 3100 (LI-COR).

d) Massa seca da parte aérea ( $\text{mg microverde}^{-1}$ ): os cotilédones e hipocótilos dos 50 microverdes foram secos em estufa de ar forçado com temperatura de  $65^\circ\text{C}$ , e a massa seca foi quantificada após três dias.

e) Rendimento ( $\text{kg m}^{-2}$ ): os microverdes foram colhidos de  $78 \text{ cm}^2$  da bandeja, cortando-se o hipocótilo rente ao substrato e imediatamente pesados em balança com precisão de 0,001 g.

f) Teor de clorofila e carotenoides ( $\mu\text{g g}^{-1}$  massa fresca): um furador foi usado para coletar discos de cotilédones com diâmetro de 0,5 mm, totalizando 0,025 a 0,030 g de massa fresca. Os discos foliares foram colocados em tubos *Eppendorf* com 1,5 mL de solução de acetona a 80%. Os tubos *Eppendorf* foram protegidos da luz e colocados em um refrigerador. Após 48 h, em um espectrofotômetro Du Série 600 (*Beckman*), as leituras foram feitas a 663 nm para clorofila a, 647 nm para clorofila b e 470 nm para carotenoides e os valores de absorbância utilizados nas equações para cálculos dos teores dos pigmentos, conforme Lichtenthaler (1987).

g) Teor de antocianina ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ ): 10 mL de solução de etanol-HCL (1,5 N) foram adicionados a 1g de material vegetal e homogeneizados por 2 min em agitador. Logo após, o conteúdo foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL (sem filtração), e o volume foi medido com etanol-HCL (1,5 N). Em um frasco de vidro, envolto em papel alumínio, o conteúdo foi deixado em repouso por uma noite na geladeira. O material foi filtrado em um béquer de 50 mL, sempre protegido com papel alumínio, e então a leitura foi feita no espectrofotômetro a 535 nm. O teor de

antocianina ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ ) foi calculado pela fórmula: absorbância  $\times$  fator de diluição / 98,2, onde o fator de diluição foi calculado em função do peso da amostra para 15 mL do etanol-HCL utilizado na extração (Francis 1982).

h) Teor de ácido ascórbico ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ ): Para obtenção foram pesados 2 g de microverdes frescos e adicionado 10 mL de solução de ácido oxálico frio a 0,5%. Em seguida, a mistura passou por um filtro de papel e em seguida, 1 mL do extrato filtrado e 4 mL de ácido oxálico a 0,5% foram transferidos para um *erlenmeyer*, misturados e titulados com sal de sódio de 2,6-dicloroindofenol, até o ponto de viragem, conforme descrito por Strohecker e Henning (1967). Para maior precisão as análises foram realizadas em triplicatas.

i) Teores de cálcio ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e ferro ( $\text{mg kg}^{-1}$ ): Realizou-se moagem e digestão nitroperclórica da matéria seca da parte aérea dos microverdes, e foram realizadas leituras em absorção atômica dos teores de Ca e Fe, de acordo com a metodologia de Miyasawa *et al.* (2009).

## **2.5 Análises estatísticas**

Os dados de cada característica foram submetidos à análise de variância (teste F). Foi realizado um estudo de regressão polinomial, escolhendo-se a equação com maior significância e coeficiente de determinação para melhor representar a distribuição das médias de cada característica em resposta à densidade de semeadura. Para isso, utilizou-se o programa AgroEstat (Barbosa e Maldonado Júnior 2015).



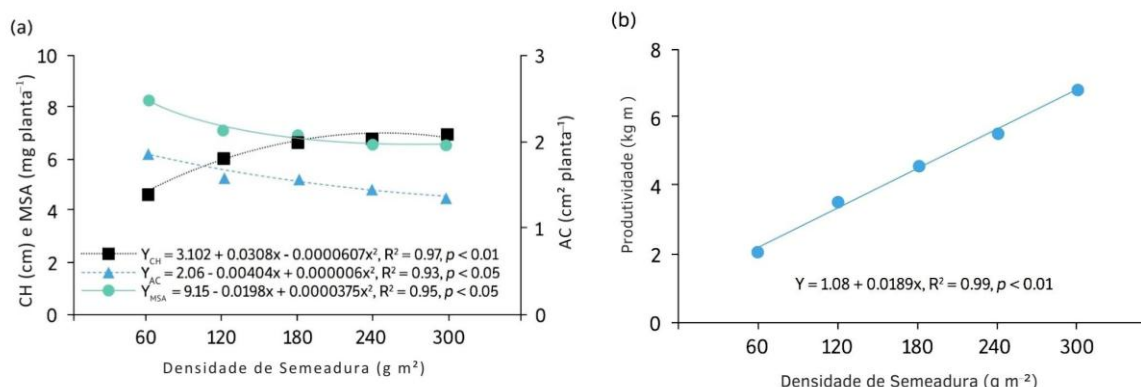
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variância mostraram que a densidade de semeadura influenciou o crescimento, a produtividade e a qualidade dos microverdes de repolho-roxo. Entretanto, não foi observado efeito dos tratamentos na eficiência fotoquímica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ). Portanto, não houve inibição ou dano à transferência de elétrons (Stirbet *et al.* 2018). De acordo com Ahmed *et al.* (2018), a relação  $F_v/F_m$  pode ser um indicador indireto de estresse, resultante de alterações na fotossíntese. Nessa condição,  $F_o$  aumenta e  $F_m$  diminui (Frąszczak e Kleiber 2022), o que não foi observado no presente estudo, uma vez que os valores observados para  $F_v/F_m$  (0,76 a 0,80) nos microverdes em função das densidades de semeadura avaliadas situaram-se na faixa de 0,75 a 0,80, considerada adequada por Bolhár-Nordenkamp e Öquist (1993) e Krause *et al.* (2001).

A densidade de semeadura tem sido um fator pouco estudado na produção de microverdes em *plant factory*. O aprimoramento da população de plantas é um fator essencial para obter o melhor desempenho dos demais fatores de produção. No presente estudo, a área cotiledonar, o comprimento do hipocótilo e a massa seca da parte aérea responderam ao aumento da densidade de semeadura com ajuste de um modelo polinomial de segundo grau, com máximos de 1,84 cm<sup>2</sup>, 7,00 cm e 8,10 mg obtidos com 60, 250 e 60 g m<sup>-2</sup>, respectivamente (Figura 1a).

O aumento do comprimento do hipocótilo é uma resposta morfofisiológica dos microverdes para evitar o sombreamento de plantas ao lado, desencadeando uma alteração em seu crescimento para obter uma vantagem competitiva sobre as plantas próximas (Formisano *et al.* 2022). Plântulas mais alongadas que facilitam a colheita manual foram obtidas com maiores densidades de semeadura (Kyriacou *et al.* 2016). No entanto, Mir *et al.* (2017), Ntsoane *et al.* (2023) e Partap *et al.* (2023) descreveram que maiores densidades de semeadura resultam em plântulas com caules alongados, com diâmetro menor e mais frágeis, propícios ao tombamento. No presente estudo, não foram observados tombamentos de plântulas, mesmo nas maiores densidades, em que foram observados hipocótilos mais compridos, o que talvez seja explicado pelo elevado número de indivíduos por área. Também, o

aumento da densidade de semeadura não propiciou doenças nos microverdes, preocupação reportada por autores (Thuong e Minh 2020; Freitas *et al.* 2024).



**Figura 1.** (a) Comprimento do hipocótilo (CH), área cotiledonar (AC), massa seca da parte aérea (MSA) e (b) produtividade do microverde de repolho-roxo em função da densidade de semeadura.

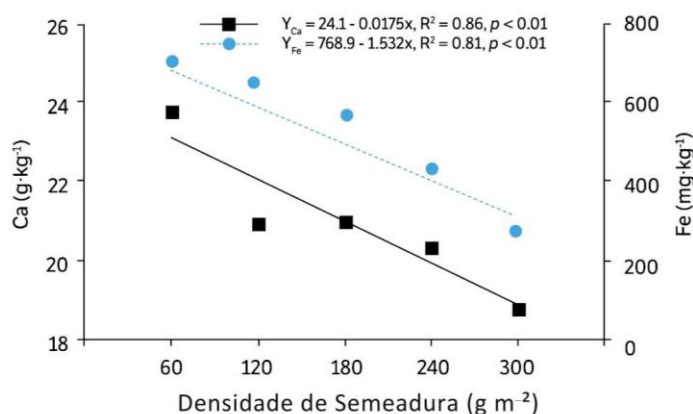
Embora os comprimentos do hipocótilo tenham sido maiores em densidades mais altas, esses incrementos não refletiram positivamente na massa seca da parte aérea, que seguiu o padrão de resposta da área do cotilédone à densidade de semeadura. Li *et al.* (2016) afirmaram que a competição por luz é a principal com relação a fatores acima do solo.

As reduções observadas na área do cotilédone e na massa seca da parte aérea retrataram a maior competição entre plantas. A competição por recursos do ambiente é, geralmente, o mecanismo envolvido para explicar a relação negativa entre tamanho individual e densidade de semeadura, pois, como os recursos são finitos em uma determinada área, aumentar o número de indivíduos implica reduzir seu tamanho (Silvertown e Charlesworth 2001).

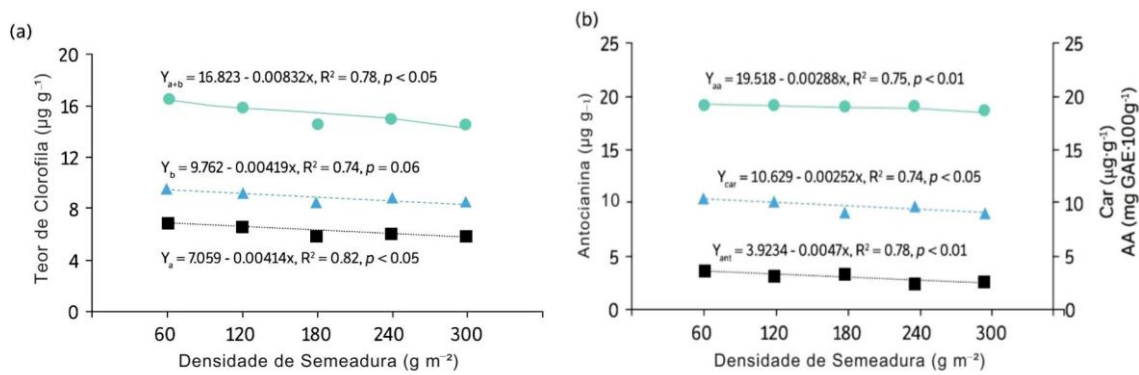
Uma vez garantida a boa aparência comercial, o principal fator que determina a acessibilidade e competitividade do produtor ao mercado é a produtividade, já que otimiza a estrutura e os insumos, reduzindo os custos fixos e variáveis envolvidos na produção de microverdes. Nas condições do cultivo, o aumento da densidade de semeadura promoveu aumento de 205% (6,75 kg m<sup>-2</sup>; 2,21 kg m<sup>-2</sup>) na produtividade de repolho-roxo entre a maior e a menor densidade (Figura 1b). A maior produtividade foi encontrada com a densidade de 300 g m<sup>-2</sup>, sendo superior à faixa

de 60–70 g m<sup>-2</sup>, citada como adequada para repolho-roxo por Partap *et al.* (2023). Freitas *et al.* (2024), ao avaliarem o efeito de densidades de semeadura (50 a 450 g m<sup>-2</sup>) em microverdes de beterraba, observaram que a maior produtividade aconteceu com 300 g m<sup>-2</sup>. Signore *et al.* (2024) observaram aumento na produtividade de microverdes de couve e brócolis com acréscimos na densidade de semeadura de 3 para 5 sementes cm<sup>-2</sup>. Na densidade que promoveu maior produtividade, o comprimento do hipocótilo foi máximo (6,88 cm), enquanto a área do cotilédono e a massa seca da parte aérea foram de 1,39 cm<sup>2</sup> e 6,58 g, respectivamente, o que correspondeu a 75 e 81% de seus máximos obtidos na menor densidade de semeadura, ou seja, foram observadas reduções de 25 e 19% entre as densidades de 60 e 300 g m<sup>-2</sup> (Figura 1a).

Os teores máximos de cálcio (23,90 g kg<sup>-1</sup>), ferro (677 mg kg<sup>-1</sup>) (Figura 2), clorofila *a* (6,81 µg g<sup>-1</sup>), *b* (9,51 µg g<sup>-1</sup>) e *a* + *b* (16,32 µg g<sup>-1</sup>) (Figura 3a), carotenoides (10,31 µg g<sup>-1</sup>), antocianina (3,64 µg g<sup>-1</sup>) e ácido ascórbico (17mg GAE 100g<sup>-1</sup> massa seca da parte aérea) (Figura 3b) foram obtidos com a menor densidade avaliada.



**Figura 2.** Teores de cálcio (Ca) e ferro (Fe) na massa seca da parte aérea do microverde de repolho-roxo em função da densidade de semeadura.



**Figura 3.** (a) Teor de clorofila *a*, *b* e *a + b*, (b) teores de carotenoides (car), antocianinas (ant) e ácido ascórbico (aa) do microverde de repolho-roxo em função da densidade de semeadura.

A redução mais considerável foi observada no teor de ferro (54%), seguido por antocianinas (31%), cálcio (18%), clorofilas (14,3%), carotenoides (12,6%) e ácido ascórbico (3,6%). Partap *et al.* (2023) observaram maiores teores de ácido ascórbico, compostos fenólicos e clorofila nos cotilédones de microverdes de repolho, rabanete e rúcula na menor densidade (4 sementes por célula), em comparação com 8 e 12 sementes por célula. Por outro lado, Freitas *et al.* (2024) não encontraram influência de densidades de semeadura de 50 a 450  $\text{g m}^{-2}$  nos teores de clorofila, carotenoides e betaxantina em microverdes de beterraba. Os resultados divergentes ratificam a resposta diferenciada das espécies ao fator densidade de semeadura e ao ambiente de cultivo, exigindo e justificando estudos específicos. Li *et al.* (2016) apresentam que a luz é o principal fator de competição acima do solo, e apontam que abaixo do solo a maior competição é por nutrientes e água.

Portanto, a hipótese do estudo de que o aumento da densidade de semeadura teria efeito negativo na qualidade dos microverdes de repolho-roxo foi confirmada. A competição por recursos fez com que as plântulas direcionassem sua energia para lidar com a competição em detrimento da síntese de fitoquímicos, conforme relatado por Jones-Baumgardt *et al.* (2021).

Partap *et al.* (2023) observaram maiores teores de ácido ascórbico, compostos fenólicos e clorofila nos cotilédones de microverdes de repolho, rabanete e rúcula na menor densidade (4 sementes por célula), em comparação com 8 e 12

sementes por célula. Por outro lado, Freitas *et al.* (2024) não encontraram influência de densidades de semeadura de 50 a 450 g m<sup>-2</sup> nos teores de clorofila, carotenoides e betaxantina em microverdes de beterraba. Os resultados divergentes ratificam a resposta diferenciada das espécies ao fator densidade de semeadura e ao ambiente de cultivo, justificando o presente estudo.

A alteração morfofisiológica expressa pelo alongamento do caule devido à competição por luz pode justificar a redução da qualidade dos microverdes (Freitas *et al.* 2024). A absorção de nutrientes e a síntese de compostos fitoquímicos estão fortemente associadas ao metabolismo e ao crescimento da planta (Illenseer; Paulilo, 2002). Estes foram comprometidos e retratados pela menor massa seca da planta à medida que a densidade de semeadura aumentava. Certamente, o alongamento do hipocótilo, motivado pela competição por luz, alterou o padrão fisiológico de crescimento dos microverdes de repolho-roxo.

#### 4 CONCLUSÃO

A densidade de semeadura influencia as características morfológicas, fisiológicas, produtivas e qualitativas dos microverdes de repolho-roxo. O aumento da competição entre plantas resulta em plântulas mais altas, porém com menor área cotiledonar e menor massa seca da parte aérea. No entanto, essas reduções são compensadas pela maior densidade de semeadura, que promove incrementos na produtividade, maximizados em  $300 \text{ g m}^{-2}$ . O efeito oposto é observado na qualidade, pois os pigmentos, o ácido ascórbico e os teores de cálcio e ferro na parte aérea diminuem com o aumento da competição entre os microverdes.

## REFERÊNCIAS

- Ahammed, G. J., Xu, W., Liu, A. and Chen, S. (2018). **COMT1 silencing aggravates heat stress-induced reduction in photosynthesis by decreasing chlorophyll content, photosystem II activity, and electron transport efficiency in tomato**. *Frontiers in Plant Science*, 9, 998. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00998>
- Barbosa, J. C. and Maldonado Júnior, W. (2015). **Experimentação Agronômica e Agroestat** – Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal: Multipress.
- Bolhár-Nordenkamp, H. R. and Öquist, G. (1993). **Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research**. In D. O. Hall, J. M. O. Scurlock, H. R. Bolhár Nordenkamp, L. R. C. Leegood (Eds.), *Photosynthesis and production in changing environment: a field and laboratory manual* (p. 193-206). London: Chapman e Hall. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-1566-7>
- Brazaitytė, A., Miliauskienė, J., Vaštakaitė-Kairienė, V., Sutulienė, R., Laužikė, K., Duchovskis, P. and Malek, S. (2021). **Effect of different ratios of blue and red LED light on Brassicaceae microgreens under a controlled environment**. *Plants*, 10, 801. <https://doi.org/10.3390/plants10040801>
- Formisano, L., Miras-Moreno, B., Ciriello, M., Zhang, L., De Pascale, S., Lucini, L. and Rouphael, Y. (2022). **Between light and shading: Morphological, biochemical, and metabolomics insights into the influence of blue photoselective shading on vegetable seedlings**. *Frontiers in Plant Science*, 13, 890830. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.890830>
- Francis, F. J. (1982). **Analysis of anthocyanins**. In P. Markakis (Ed.), **Anthocyanins as food colors** (p. 181-207). New York: Academic Press.
- Frąszczak, B. and Kleiber, T. (2022). **Microgreens biometric and fluorescence response to iron (Fe) biofortification**. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 14553. <https://doi.org/10.3390/ijms232314553>
- Freitas, I. S., Mello, S. C. and Nemali, K. (2024). **Supplemental light quality affects optimal seeding density of microgreens**. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 9, e20064. <https://doi.org/10.1002/uar2.20064>
- Furlani, P. R., Bolonhezi, D., Silveira, L. C. P. and Faquin, V. (1999). **Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas**. *Informe Agropecuário*, 20, 90-98.

Huang, H., Jiang, X., Xiao, Z., Yu, L., Pham, Q., Sun, J., Chen, P., Yokoyama, W., Yu, L. L., Luo, Y. S. and Wang, T. T. (2016) **Red cabbage microgreens lower circulating low-density lipoprotein (LDL), liver cholesterol, and inflammatory cytokines in mice fed a high-fat diet.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64, 9161-9171. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03805>

ILLENSEER, Rafael; PAULILO, Maria Terezinha Silveira. **Crescimento e eficiência na utilização de nutrientes em plantas jovens de Euterpe edulis Mart. Sob dois níveis de irradiância, nitrogênio e fósforo.** Acta Botanica Brasilica, v. 16, n. 4, p. 385-394, 2002.

Jambor, T., Knizatova, N., Valkova, V., Tirpak, F., Greifova, H., Kovacik, A. and Lukac, N. (2022). **Microgreens as a functional component of the human diet: A review.** Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 12, e5870. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5870>

Jones-Baumgardt, C., Ying, Q., Zheng, Y. and Bozzo, G. G. (2021). **The growth and morphology of microgreens is associated with modified ascorbate and anthocyanin profiles in response to the intensity of sole-source light-emitting diodes.** Canadian Journal of Plant Science, 101, 212-228. <https://doi.org/10.1139/cjps-2020-0060>

Krause, G. H., Koroleva, O. Y., Dalling, J. W. and Winter, K. (2001). **Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps.** Plant, Cell and Environment, 24, 1345-1352. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00786.x>

Kyriacou, M. C., Rouphael, Y., Di Gioia, F., Kyrtatzis, A., Serio, F., Renna, M., Pascale, S. and Santamaria, P. (2016). **Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens.** Trends in Food Science & Technology, 57, 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.005>

Li, L., Weiner, J., Wang, Y., Wang, S. and Zhou, D.W. (2016). **Yield–density relationships of above- and belowground organs in Allium cepa var. aggregatum populations.** Plant Ecology, 217, 913-922. <https://doi.org/10.1007/s11258-016-0616-7>

Lichtenthaler, H. K. (1987). **Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes.** Methods in Enzymology, 148, 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

MEDELO, M.J.Y. - **Luz Branca e vermelha sobre a produtividade e qualidade de repolho-roxo microvegetal** - 2025, 99f - Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2024.



Mir, S. A., Shah, M. A. and Mir, M. M. (2017). **Microgreens: production, shelf life, and bioactive components**. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 2730-2736. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1144557>

Ntsoane, L. L. M., Manhivi, V. E., Shoko, T., Seke, F., Maboko, M. M. and Sivakumar, D. (2023). **The phytonutrient content and yield of Brassica microgreens grown in soilless media with different seed densities**. *Horticulturae*, 9, 1218. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111218>

Paraschivu, M., Cotuna, O., Sarațeanu, V., Durau, C. C. and Paunescu, R. A. (2021). **Microgreens-current status, global market trends and forward statements**. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 21, 633-639.

Partap, M., Sharma, D., Deekshith, H. N., Thakur, M., Verma, V., Kashyap, Ujala and Bhargava, B. (2023). **Microgreen: A tiny plant with superfood potential**. *Journal of Functional Foods*, 107, 105697. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105697>

Priti, Sangwan, S., Kukreja, B., Mishra, G. P., Dikshit, H. K., Singh, A., Aski, M., Kumar, A., Taak, Y., Stobdan, T., Das, S., Kumar, R. R., Yadava, D. K., Praveen, S., Kumar, S. and Nair, R. M. (2022). **Yield optimization, microbial load analysis, and sensory evaluation of mungbean (*Vigna radiata* L.), lentil (*Lens culinaris* subsp. *culinaris*), and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) microgreens grown under greenhouse conditions**. *PLoS ONE*, 17, e0268085. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268085>

Rajan, P., Lada, R. R. and MacDonald, M. T. (2019). **Advancement in indoor vertical farming for microgreen production**. *American Journal of Plant Science*, 10, 1397-1408. <https://doi.org/10.4236/ajps.2019.108100>

Reed, E., Ferreira, C. M., Bell, R., Brown, E. W. and Zheng, J. (2018). **Plant-microbe and abiotic factors influencing Salmonella survival and growth on alfalfa sprouts and Swiss chard microgreens**. *Applied and Environmental Microbiology*, 84, e02814-e02817. <https://doi.org/10.1128/AEM.02814-17>

ROSA, Adriano; EDUARDO, Wallace; DIONÍSIO, Rodrigo de Brito; SANTOS, Victor Hugo dos; GATTO, Vanessa. **Do campo às cidades: o potencial das fazendas verticais para segurança alimentar, hídrica e energética**. In: X Simpósio em Gestão do Agronegócio – EcoInovação no Agronegócio: Segurança Hídrica e Energética para um Futuro Sustentável, 2025, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal, 2025. p. 1–15.

Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Viršilė, A., Miliauskienė, J., Vaštakaitė-Kairienė, V. and Duchovskis, P. (2019). **Nutrient levels in Brassicaceae microgreens increase under tailored light-emitting diode spectra**. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1475. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01475>

Signore, A., Somma, A., Leoni, B. and Santamaria, P. (2024). **Optimising sowing density for microgreens production in rapini, kale and cress**. *Horticulturae*, 10, 274. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10030274>

SILVA, Ivando Comandante de Macedo; DANTAS, Maíla Vieira; COSTA, Caciana Cavalcanti; SARMENTO, José Junior Araújo; LOPES, Kilson Pinheiro. **Influência da população de plantas sob o crescimento e produção orgânica de alface no Sertão paraibano**. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 55–59, 2016. DOI: 10.18378/rvads.v11i2.4413. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/4413>. Acesso em: 10 dec. 2025.

Silvertown, J. and Charlesworth, D. (2001). *Introduction to plant population biology*. London: Willey-Blackwell. Stirbet, A., Lazár, D., Kromdijk, J. and Govindjee. (2018). **Chlorophyll a fluorescence induction: Can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses?** *Photosynthetica*, 56, 86-104. <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0770-3>

Strohecker, R. and Henning, H. M. (1967). **Analisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo.

Thuong, V. T. and Minh, H. G. (2020). **Effects of growing substrates and seed density on yield and quality of radish (*Raphanus sativus*) microgreens**. *Research on Crops*, 21, 579-586. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2020.091>

Tomas, M., Zhang, L., Zengin, G., Rocchetti, G., Capanoglu, E. and Lucini, L. (2021). **Metabolomic insight into the profile, in vitro bioaccessibility and bioactive properties of polyphenols and glucosinolates from four Brassicaceae microgreens**. *Food Research International*, 140, 110039. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110039>

United Nations. (2022). **Sustainable Development Goals**. Retrieved May 15, 2023, from <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg2>

Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y. and Wang, Q. (2012). **Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens**. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 60, 7644-7651. <https://doi.org/10.1021/jf300459b>

Zhang, Y., Xiao, Z., Ager, E., Kong, L. and Tan, L. (2021). **Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture**. *Journal of Future Foods*, 1, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.07.001>