



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

IRON DHONES DE JESUS SILVA DO CARMO

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA E POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE RÚCULA SOB
ADUBAÇÃO VERDE NO SEMIÁRIDO**

MOSSORÓ

2024

IRON DHONES DE JESUS SILVA DO CARMO

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA E POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE RÚCULA SOB
ADUBAÇÃO VERDE NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita.

Orientadora: Patrícia Ligia Dantas de Moraes,
Prof.^a Dr.^a

Coorientadora: Jailma Suerda Silva de Lima,
Prof.^a Dr.^a

MOSSORÓ

2024

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor.

C71q Carmo, Iron Dhones de Jesus Silva do.
Qualidade pós-colheita e potencial antioxidante de rúcula sob adubação verde no semiárido / Iron Dhones de Jesus Silva do Carmo. - 2024.
71 f. : il.

Orientadora: Patrícia Lígia Dantas de Moraes.
Coorientadora: Jailma Suerda Silva de Lima.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2024.

1. Eruca sativa. 2. horticultura orgânica. 3. compostos bioativos. 4. nutrição de plantas. I. Moraes, Patrícia Lígia Dantas de, orient. II. Lima, Jailma Suerda Silva de, co-orient. III. Título.

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

IRON DHONES DE JESUS SILVA DO CARMO

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA E POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE RÚCULA SOB
ADUBAÇÃO VERDE NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita

Defendida em: 19 / 02 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Patrícia Lígia Dantas de Moraes, Prof.^a Dr.^a (UFERSA)
Presidente

Jailma Suerda Silva de Lima, Prof.^a Dr.^a (UFERSA)
Membro Examinadora

Elizangela Cabral dos Santos, Prof.^a Dr.^a (UFERSA)
Membro Examinadora

Railene Hérica Carlos Rocha Araújo, Prof.^a Dr.^a (UFCEG)
Membro Examinadora

Paulo Cássio Alves Linhares, Prof. Dr. (UEPB)
Membro Examinador

Aos meus estimados avós José da Silva, Maria das Neves da Silva e Raimunda Martins do Carmo (In Memoriam).

Dedico.

A minha mãe, a minha família, aos meus amigos, aos colegas e professores, como fruto do meu esforço a todo apoio, incentivo e orientação. Obrigado por tudo.

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe dona Maria de Jesus da Silva, por ser a minha primeira amizade, apoiadora, professora e admiradora na minha caminhada de vida. Meus mais sinceros de agradecimentos por todo seu amor de mãe, por fazer tanto com tão pouco, por acreditar em meu potencial e por nunca me deixar desistir do caminho da educação.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia (PPGFITO), pela oportunidade de formação profissional e acadêmica, e a todos os docentes, funcionários e discentes que contribuí na construção da educação com excelência acadêmica nas ciências agrárias. A todas as mãos que já contribuíram na construção, avanço e defesa da UFERSA e do PPGFITO.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado, que permitiu minha permanência e conclusão do curso.

A minha Orientadora, Patrícia Lígia, por aceitar a me orientar e contribuir na minha formação, por toda a atenção e disponibilidade na execução deste trabalho, por se preocupar com os detalhes do trabalho e da minha pessoa. Minha gratidão por toda a paciência, aprendizado e acolhimento.

A minha Coorientadora, Jailma Suerda, que para além da contribuição acadêmica me presenteou com sua bela amizade, para cada café, risada, aventura e desafios que passamos juntos, agradeço imensamente por todas as experiências e aprendizados, que foram agradáveis com a sua presença de luz.

Aos membros da Banca Examinadora por aceitar em contribuir com este trabalho, e com meu aprendizado e formação.

Ao Grupo de Estudo e Pesquisa em Práticas Culturais e Pós-colheita para o Semiárido (GEPCS), ao grupo Ciência & Ação, e ao Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita, grupos que tive a oportunidade de participar e que foram essenciais para a realização desta dissertação, em especial a Jéssica Paloma, Cosmildo, Isaac Alves, Douglas Ferreira, Marianne Azevedo, Witor Oliveira, Glenda Justino, Gerson Bruno, Sidney Alves, Naama Melo, Letycia Lima, e Carla Sonale. Ao Grupo de Estudo e Pesquisa em Nutrição e Adubação de Plantas (GENAP) e ao grupo Manejo de Água e Solo na Agricultura Irrigada pela contribuição nas análises de nutrição, em especial aos membros Bruno Fernandes, Dalbert Pereira, Renata Torquato, Romualdo Cortez, e Rafael Rodrigo.

As calorosas amizades de Jéssica Paloma, Isaac Alves, Marianne Azevedo, Douglas Ferreira, Rayanna Campos, Glenda Justino, Antonio Gideilson, Elizangela Cabral, e Éder

Rodrigues, que fui agraciado ao chegar em Mossoró, e que me proporcionaram a vivência e compartilhamento de aventuras, de companheirismo, de resgates e fugas sociais, de momentos de alegrias e risadas, de enfrentamento das dificuldades, de empatia e altruísmo, de sabores e dores, e das conexões e contrastes.

As grandes amizades de Joyce Medeiros, Laercio Barbeiro, Eldimar Cardoso, Stephanny Aylla, Paula Caroline, Gilberta Souto, Jorge Barros, Maria Raimunda, Walter Santos, Ariel Sales, Lucas Fernando, Ana Kézia, e Eliaci Silva, que ganhei ao longo de minha caminhada, e que permaneceram mesmo com as grandes distâncias, e sempre demonstram suas estimas, apoio, carinho e admiração.

A todos aqueles que de certo modo contribuíram para o êxito, seriedade e conclusão deste trabalho. A cada gota de suor, ao cansaço e exaustão, as tentativas e erros, aos questionamentos e dúvidas, e aos imprevistos superados, que me fazem sentir a essência, orgulho e valor da construção deste trabalho.

Com meus humildes e sinceros votos de gratidão.

"Um agricultor orgânico é o melhor pacificador hoje, porque há mais violência, mais morte, mais destruição, mais guerras, através de um violento sistema agrícola industrial. E mudar isso para uma agricultura de paz é o que a agricultura orgânica está fazendo."

Vandana Shiva.

RESUMO

O cultivo de rúcula é uma crescente atividade no Brasil, e a sua qualidade é influenciada por diferentes fatores como o tipo de sistema de cultivo, manejo da adubação e condições edafoclimáticas. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade pós-colheita e o potencial antioxidante da rúcula, em função de diferentes quantidades de biomassa de *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. (Apocynaceae), em experimento de cultivo no ambiente semiárido. Os tratamentos consistiram nas cinco quantidades de 20, 40, 60, 80 e 100 t ha⁻¹ de biomassa de *C. procera* em base seca, e em dois tratamentos adicionais, um sem adubação e outro com adubação mineral. As características da rúcula avaliadas foram: teores dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, Zn, B, Mn e Cu, clorofila A, B e Total e de carotenoides, pH, sólidos solúveis totais, acidez titulável, açúcares totais, vitamina C, antocianina e flavonoides totais, polifenóis extraíveis totais, coloração das folhas (L*, C* e h°), e atividade antioxidante de DPPH. A adubação verde proporcionou acúmulo superiores dos nutrientes minerais de Ca, Zn e Fe na quantidade de 100 t ha⁻¹, e para Mg e Cu em 85,76 e 83,21 t ha⁻¹, respectivamente. Melhorou a características do ângulo hue (tonalidade de cor) verde das folhas de rúcula, atingindo 124,91° com a incorporação de 83,99 t ha⁻¹ de biomassa, dos sólidos solúveis (5,1 %) e a acidez titulável (3,30 mEq100⁻¹) em 100 t ha⁻¹. Também se observou que a adubação verde resultou em concentrações superiores de compostos bioativos de antocianinas (6,77 mg 100g⁻¹), flavonoides amarelos (143,22 mg 100g⁻¹), vitamina C (214,33 mg 100g⁻¹) e polifenóis extraíveis totais (359,20 µg 100 mg⁻¹), nas quantidades de 78,38, 78,23, 20, 100 e 20 t ha⁻¹ de adubo verde incorporado ao solo, respectivamente. A capacidade antioxidante, medida pela porcentagem de inibição (71,94%) e CE₅₀ (1.336,7 g_{folha} g_{DPPH}⁻¹) do radical livre DPPH, foi maximizada nas quantidades de 81,07 e 80,04 t ha⁻¹ de adubação verde. Concluindo o potencial da adubação verde com biomassa de *C. procera* na promoção da qualidade nutricional e antioxidante da rúcula cultivada no semiárido.

Palavras-chave: *Eruca sativa*; horticultura orgânica; compostos bioativos; nutrição de plantas.

ABSTRACT

Arugula cultivation is a growing activity in Brazil, and the quality is influenced by different factors such as the type of cultivation system, fertilizer management and soil and climate conditions. In this sense, the objective of this work was to evaluate the post-harvest quality and antioxidant potential of arugula, depending on different amounts of *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. (Apocynaceae) biomass, in a cultivation experiment in a semi-arid environment. The treatments consisted of five amounts of 20, 40, 60, 80 and 100 t ha⁻¹ of *C. procera* biomass on a dry basis, and two additional treatments, one without fertilization and the other with mineral fertilization. The arugula characteristics evaluated were: contents of nutrients N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, Zn, B, Mn and Cu, chlorophyll A, B and Total and carotenoids, pH, total soluble solids, titratable acidity, total sugars, vitamin C, total anthocyanins and flavonoids, total extractable polyphenols, leaf color (L*, C* and h°), and DPPH antioxidant activity. Green manure provided superior accumulation of mineral nutrients of Ca, Zn and Fe in the amount of 100 t ha⁻¹, and for Mg and Cu in 85.76 and 83.21 t ha⁻¹, respectively. It improved the green hue angle characteristics of arugula leaves, reaching 124.91° with the incorporation of 83.99 t ha⁻¹ of biomass, soluble solids (5.1%) and titratable acidity (3.30 mEq100⁻¹) in 100 t ha⁻¹. It was also observed that green manure resulted in higher concentrations of bioactive compounds such as anthocyanins (6.77 mg 100g⁻¹), yellow flavonoids (143.22 mg 100g⁻¹), vitamin C (214.33 mg 100g⁻¹) and total extractable polyphenols (359.20 µg 100 mg⁻¹), in the amounts of 78.38, 78.23, 20, 100 and 20 t ha⁻¹ of green manure incorporated into the soil, respectively. The antioxidant capacity, measured by the percentage of inhibition (71.94%) and IC₅₀ (1,336.7 g_{leaf} g_{DPPH}⁻¹) of the free radical DPPH, was maximized in the amounts of 81.07 and 80.04 t ha⁻¹ of green manure. Concluding the potential of green manure with *C. procera* biomass in promoting the nutritional and antioxidant quality of arugula cultivated in the semi-arid region.

Keywords: *Eruca sativa*; organic horticulture; bioactive compounds; plant nutrition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área dos experimentos 01 e 02 na UFERSA, Mossoró-RN.	17
Figura 2. Dados diários de temperatura e umidade relativa máxima e mínima, e de radiação solar global (MJ/m ²) durante o período dos experimento 01 (A) e experimento 02 (B), de agosto a dezembro de 2022	18
Figura 3. Representação da parcela experimental da rúcula plantada no espaçamento de 0,20 × 0,05 metros.	20
Figura 4. Teores de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) na rúcula em função da quantidades de biomassa de <i>C. procera</i> incorporadas ao solo	30
Figura 5. Teores de cálcio (A), magnésio (B), enxofre (C) e sódio (D) na rúcula em função da quantidades de biomassa de <i>C. procera</i> incorporadas ao solo	31
Figura 6. Teores de boro (A), zinco (B), ferro (C), manganês (D) e cobre (E) na rúcula em função da quantidades de biomassa de <i>C. procera</i> incorporadas ao solo.	34
Figura 7. Valores de pH (A), acidez titulável (B), sólidos solúveis (C) e açúcares totais (D) de rúcula em função da quantidades de biomassa de <i>C. procera</i> incorporadas ao solo .	37
Figura 8. Valores de luminosidade (A), cromaticidade (B) e ângulo hue (C) em folhas frescas de rúcula em função da quantidades de biomassa de <i>C. procera</i> incorporadas ao solo	40
Figura 9. Teores de pigmentos de carotenoides, clorofilas A, B e total, presentes na massa foliar de rúcula em função da quantidades de biomassa de <i>C. procera</i> incorporadas ao solo	43
Figura 10. Teores de antocianinas (A) e flavonoides amarelos totais (B) presentes na rúcula em função da quantidades de biomassa de <i>C. procera</i> incorporadas ao solo.	46
Figura 11. Teores de vitamina C (A) e polifenóis extraíveis totais (B) na rúcula em função da quantidades de biomassa de <i>C. procera</i> incorporadas ao solo.....	48
Figura 12. Valores de porcentagem de inibição do DPPH (A) e da concentração eficaz que inibe 50% do DPPH (B) em folhas frescas de rúcula em função da quantidades de biomassa de <i>C. procera</i> incorporadas ao solo.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química do solo antes da incorporação do adubo verde na área dos experimentos 01 e 02. UFERSA, Mossoró-RN, 2022.....	19
Tabela 2. Composição química da biomassa de <i>C. procera</i> nos experimentos 01 e 02. UFERSA, Mossoró-RN, 2022.	20
Tabela 3. Valores médios de macronutrientes presentes na rúcula nos dois experimentos.....	27
Tabela 4. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) nos teores de macronutrientes na rúcula	28
Tabela 5. Valores médios dos micronutrientes: boro (B), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu), presentes na rúcula nos dois experimentos.	32
Tabela 6. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) nos teores de micronutrientes na rúcula.	33
Tabela 7. Valores médios nos experimentos para a acidez titulável ($\text{mEq}100^{-1}$), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$) e açúcares totais (%) presentes na rúcula.	35
Tabela 8. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) na acidez titulável ($\text{mEq}100^{-1}$), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$) e açúcares totais (%) presentes na rúcula.....	36
Tabela 9. Valores médios nos experimentos para luminosidade (L^*), cromaticidade (C^*) e ângulo hue ($^{\circ}\text{h}$) na rúcula.....	39
Tabela 10. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) para a luminosidade (L^*), cromaticidade (C^*) e ângulo hue ($^{\circ}\text{h}$) na rúcula.....	39
Tabela 11. Valores médios de pigmentos de carotenoides, clorofila A, B e total, presentes na massa foliar da rúcula.	41
Tabela 12. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) para os pigmentos de carotenoides, clorofila A, B e total presentes na massa foliar de rúcula.	42
Tabela 13. Valores médios de antocianinas e flavonoides amarelos totais presentes na rúcula	44

Tabela 14. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) para antocianinas e flavonoides amarelos totais na rúcula	45
Tabela 15. Valores médios de vitamina C e polifenóis extraíveis totais (PET), presentes na rúcula	46
Tabela 16. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) para a vitamina C e polifenóis extraíveis totais (PET) na rúcula.....	47
Tabela 17. Média para a porcentagem de inibição do DPPH (PI_{DPPH}) e concentração eficaz que inibe 50% do DPPH (CE_{50}) para folhas frescas de rúcula.....	49
Tabela 18. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) para a porcentagem de inibição do DPPH (PI_{DPPH}) e concentração eficaz que inibe 50% do DPPH (CE_{50}) na rúcula	50

APÊNDICES

- Tabela 19. Valores de “F” para as características nutricionais de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Sódio (Na), Boro (B), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Zinco (Zn) na rúcula, em função de diferentes quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo nos dois experimentos. Mossoró-RN, UFERSA, 2022.66
- Tabela 20. Valores de “F” para as características de pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (ATT), açúcares totais (AST), clorofila A (C_A), clorofila B (C_B), clorofila total (CT), carotenoides (Cart), antocianinas (Ant), flavonoides amarelos (FAT), vitamina C (Vit C), e polifenóis extraíveis totais (PET) na rúcula, em função de diferentes quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo nos dois experimentos. Mossoró-RN, UFERSA, 2022.....67
- Tabela 21. Valores de “F” para as características de luminosidade (L^*), cromaticidade (C^*), ângulo hue ($^{\circ}h$), porcentagem de inibição do DPPH (PI_{DPPH}), e concentração eficaz que inibe 50% do DPPH (CE_{50}) da rúcula, em função de diferentes quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo nos dois experimentos. Mossoró-RN, UFERSA, 2022.....68
- Tabela 22. Médias das variáveis de nutrientes minerais da rúcula nos experimentos de cultivo (E1 e E2) e a média dos experimentos (ME). Mossoró-RN, UFERSA, 2022.....69
- Tabela 23. Médias das variáveis físico-químicas e bioquímicas da rúcula nos experimentos de cultivo (E1 e E2) e a média dos experimentos (ME). Mossoró-RN, UFERSA, 2022.70
- Tabela 24. Médias das variáveis de cor e atividade antioxidante pelo DPPH da rúcula nos experimentos de cultivo (E1 e E2) e a média dos experimentos (ME). Mossoró-RN, UFERSA, 2022.....71

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1 Descrição da Localidade do Experimento	17
2.2 Delineamento Experimental e Tratamentos	19
2.3 Manejo e Tratos Culturais	21
2.4 Características Avaliadas	21
2.4.1 Teor de Macronutrientes	21
2.4.2 Teor de Micronutrientes	22
2.4.3 Pigmentos de Folha	22
2.4.4 Acidez titulável, pH, sólidos solúveis e açúcares totais	23
2.4.5 Antocianinas e Flavonoides Amarelos Totais.....	23
2.4.6 Vitamina C e Polifenóis extraíveis totais	24
2.4.7 Atividade antioxidante total do DPPH.....	25
2.4.8 Coloração.....	25
2.5 Análise estatística	25
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3.1 Macronutrientes	27
3.2 Micronutrientes	32
3.3 pH, acidez titulável, sólidos solúveis e açúcares totais	35
3.4 Coloração	38
3.5 Teores de clorofilas e carotenoides na folha	41
3.6 Antocianinas e Flavonoides amarelos totais	44
3.7 Vitamina C e Polifenóis extraíveis totais	46
3.8 Atividade antioxidante total pelo DPPH	49
4 CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS	54
APÊNDICES	65

1 INTRODUÇÃO

A rúcula (*Eruca sativa* Miller) é uma hortaliça da família Brassicaceae cultivada para consumo humano, uma folhosa que tem apresentado aumento crescente de produção no Brasil, o IBGE (2022) registrou um crescimento de 360% de sua produção no território nacional entre os anos de 2006 e 2017, sendo mais conhecida nos estados do sul e sudeste, mas apresentando um crescimento significativo do cultivo e consumo na região nordeste (LANA; TAVARES, 2010). A planta é conhecida por sua qualidade nutricional e alta importância econômica, e amplamente utilizada na culinária (TRIPODI *et al.*, 2021).

Evidências apontam que plantas de rúcula contêm uma variedade de metabólitos secundários, como glucosinolatos, flavonoides e outros fitoquímicos, que contribuem para suas propriedades nutricionais e medicinais (BELL; WAGSTAFF, 2014; AHMED, 2020). Além disso, pesquisas indicaram que essa hortaliça possui propriedades antioxidantes, tornando-a valiosa no contexto de alimentos funcionais e nutracêuticos (SADIQ *et al.*, 2014; AZARENKO *et al.*, 2014). Sendo investigada cada vez mais devido às suas propriedades e potenciais nas atividades antimicrobianas e antibacterianas, indica seu possível papel na medicina tradicional e como agente antimicrobiano natural (ALARAIKH *et al.*, 2014; SALIH *et al.*, 2020).

A cultura da rúcula responde bem às práticas e manejos orgânicos, que visam o aumento de sua produção, essa abordagem tem como objetivo melhorar a qualidade do solo, promover a sustentabilidade agrícola e aumentar a qualidade nutricional dos alimentos produzidos. De acordo com Lichtfouse (2012), a adubação orgânica é uma prática que visa melhorar a fertilidade do solo e a nutrição das plantas, além de reduzir a dependência de fertilizantes químicos. Essas práticas e manejo da agricultura orgânica são um conjunto de técnica e conhecimento agrícola que utiliza materiais de origem natural, como compostos orgânicos, esterco animal e resíduos vegetais, para fornecer nutrientes às plantas (FAO, 1999).

O manejo nutricional a partir da adubação verde é uma fonte de nutrientes para os cultivos agrícolas, principalmente em relação aos micronutrientes, à medida que a matéria orgânica se decompõe, os micronutrientes nela contidos são liberados lentamente no solo, tornando-se disponíveis para as raízes das plantas. Alguns desses micronutrientes presentes são: o ferro (Fe), zinco (Zn), boro (B), enxofre (S), cobre (Cu) e manganês (Mn), que desempenham papéis essenciais no metabolismo vegetal, e cada um desses micronutrientes tem funções específicas e é necessário em quantidades adequadas para o crescimento e o desenvolvimento saudável das plantas (FAGERIA, 2009).

A prática de adubação verde apresenta considerável redução da lixiviação de nutrientes, onde os nutrientes presentes nos materiais orgânicos são liberados gradualmente, o que reduz o risco de lixiviação excessiva de nutrientes do solo, isso ajuda a minimizar a poluição de águas superficiais e subterrâneas por excesso de fertilizantes (BERTOL *et al.*, 2019). Essa prática agrícola de produção orgânica priorizam a saúde do solo e utilizam manejo que promovem a biodiversidade e a ciclagem de nutrientes, o que resulta em solos mais ricos em nutrientes e, conseqüentemente, em alimentos mais nutritivos (LICHTFOUSE, 2012). Estudos comparativos mostraram que os alimentos orgânicos tendem a ter maiores níveis de vitaminas, minerais, antioxidantes e fitonutrientes em comparação com os alimentos convencionais, e o consumo desses alimentos mais nutritivos provenientes da agricultura orgânica contribui para uma dieta equilibrada e pode beneficiar a saúde a longo prazo (HURTADO-BARROSO *et al.*, 2017).

A produção orgânica de hortaliças, particularmente com adubação verde, em especial a partir da biomassa de espécies invasoras, é uma área de interesse agrícola para o semiárido brasileiro. Estudos recentes têm explorado a viabilidade da adubação orgânica no semiárido nordestino, utilizando espécies espontâneas da caatinga, como a *C. procera* conhecida popularmente como flor-de-seda. Sendo uma planta da família Apocynaceae, a flor-de-seda é um subarbusto tropical conhecido por sua resistência e capacidade de produção de fitomassa em ambientes adversos, atingindo 25.000 e 3.000 kg ha⁻¹ de fitomassa verde e seca, respectivamente (LINHARES *et al.*, 2022). Estudos recentes demonstraram que a incorporação de quantidades específicas de biomassa de *C. procera* ao solo resultou em maior desempenho produtivo do coentro, com índices agrônômicos mais altos no outono-inverno. (SOUZA *et al.*, 2017) Esses resultados destacam o potencial dessas espécies para a adubação verde em hortaliças folhosas, embora ainda seja necessário realizar estudos mais aprofundados sobre sua utilização na qualidade nutricional de hortaliças.

Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade nutricional enquanto aos teores de minerais, compostos bioativos, de características físico-químicas, e o potencial antioxidante da rúcula cultivada em função da adubação verde, por meio da aplicação de diferentes quantidades de biomassa de *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. (Apocynaceae) em base seca, incorporadas ao solo no ambiente semiárido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da Localidade do Experimento

O trabalho consistiu na realização de experimento com repetição, caracterizando dois experimentos (E1 e E2), o primeiro no período de 25 de agosto a 14 de outubro do ano de 2022, e o segundo de 01 de novembro a 21 de dezembro do mesmo ano, realizados em área experimental (Figura 1) da Fazenda Experimental Rafael Fernandes, pertencente à Universidade Federal do Rural do Semi-Árido (UFERSA). A mesma fica localizada no distrito de Lagoinha (zona rural), a aproximadamente 20 km do município de Mossoró - RN, com as coordenadas geográficas de latitude de 5° 03' 37" Sul, longitude de 37° 23' 50" Oeste, e altitude média de 80 m.

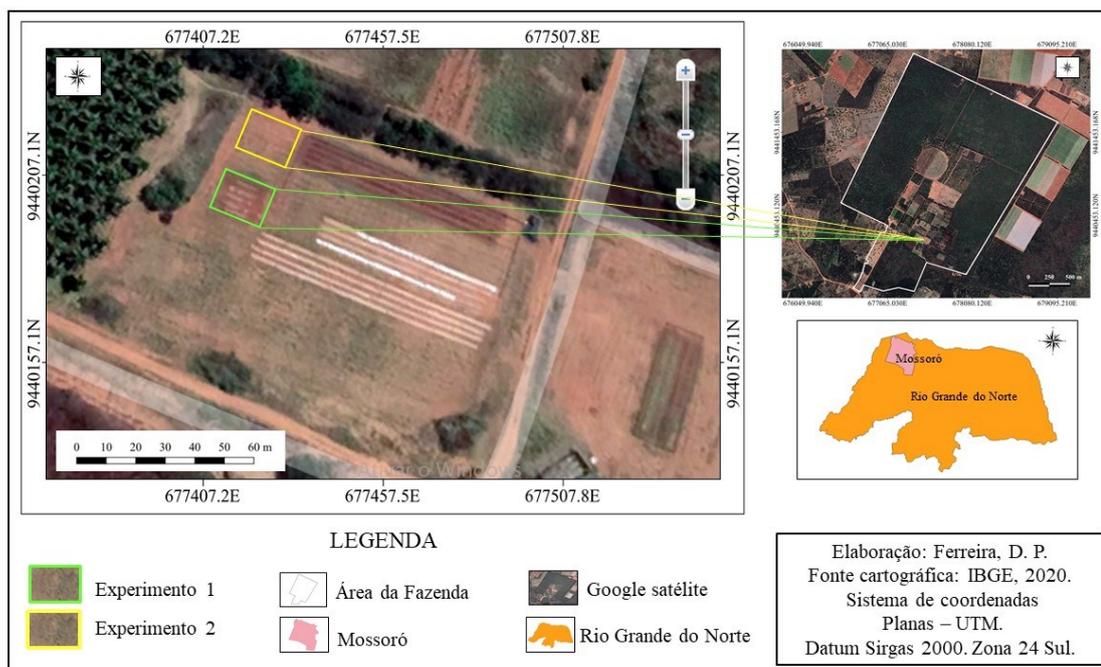


Figura 1. Localização da área dos experimentos 01 e 02 na UFERSA, Mossoró-RN.
Elaboração: Douglas Pereira Ferreira

Segundo a classificação de Köppen Geiger, o perfil histórico do clima da região é o de seco e muito quente (BSh), com definição de duas estações climáticas: uma seca que começa em junho e termina em janeiro e uma estação chuvosa que começa em fevereiro e termina em maio. As médias climáticas de temperatura mínima e máxima, de radiação solar global, umidade relativa do ar mínima e máxima, e acumulado de chuva, para o primeiro experimento foi respectivamente de 22,34 °C, 36,49 °C, 34,95%, 87,51%, 20,75 MJ/m², e 6,35 mm, e para

o segundo experimento foi de 24,17 °C, 35,42 °C, 42,90 %, 91,54 %, 20,18 MJ/m², e 5,08 mm, com registro mínimo e máximo de temperatura de 18,8 °C e 38,32 °C no primeiro experimento, e de 22,38 °C e 38,41 °C no segundo (Figura 2), dados obtidos da Estação Meteorológica Automática (EMA) da UFRSA.

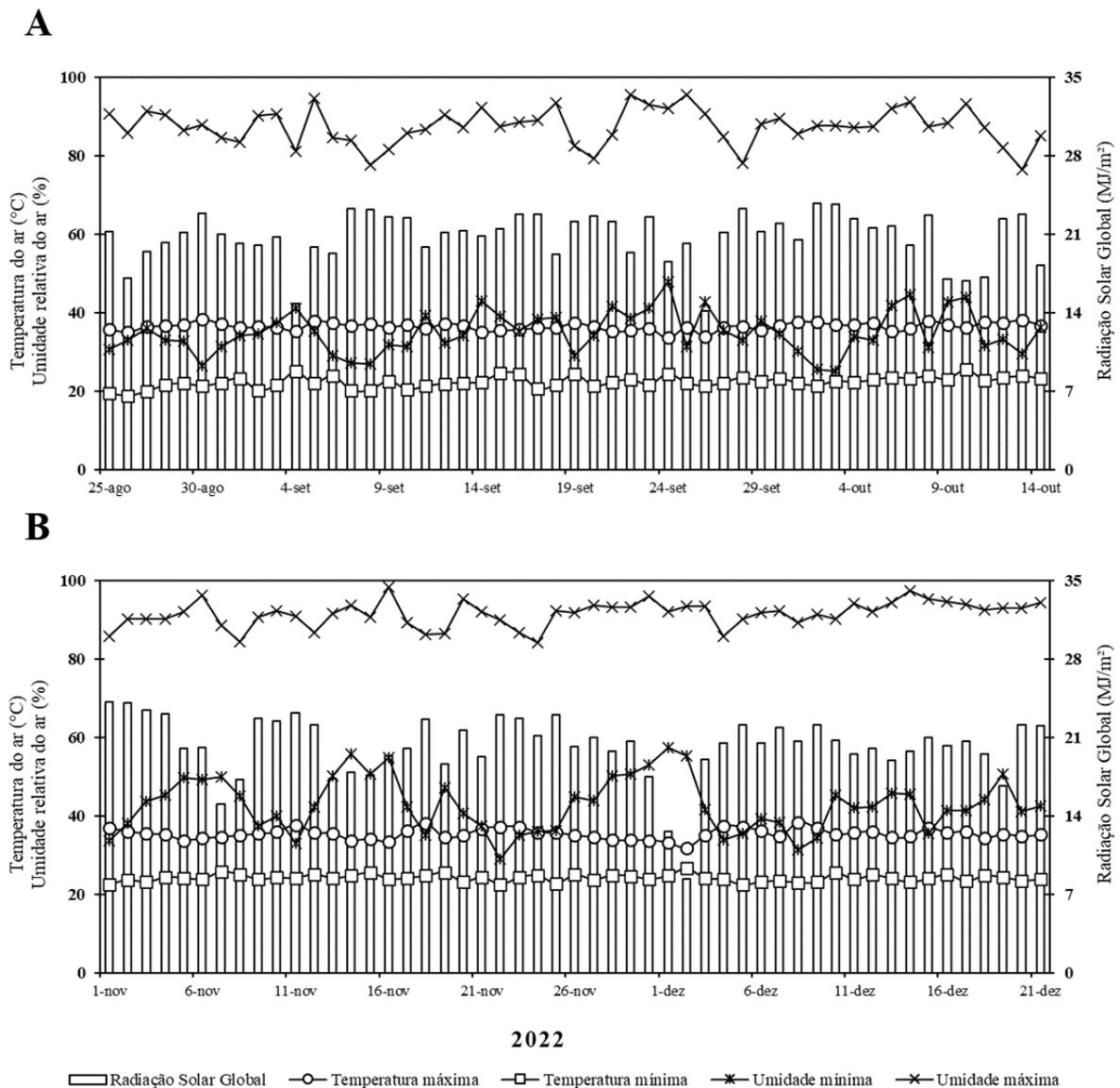


Figura 2. Dados diários de temperatura e umidade relativa máxima e mínima, e de radiação solar global (MJ/m²) durante o período dos experimento 01 (A) e experimento 02 (B), de agosto a dezembro de 2022.

Fonte: LAMBIC (2023).

O solo nas áreas de cultivo experimental foi classificado como típico Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, com textura franco-arenosa. Em cada parcela da área experimental, três amostras simples de solo foram coletadas da camada superficial (0–20 cm)

e homogeneizadas para obter uma amostra composta representativa da área. Segundo metodologia em Teixeira *et al.* (2017), a análise laboratorial do solo apresentou as seguintes características:

Tabela 1. Análise química do solo antes da incorporação do adubo verde na área dos experimentos 01 e 02. UFERSA, Mossoró-RN, 2022.

C	M.O.	pH	C.E.	K	Ca	Mg	Na	P	Cu	Zn	Mn	Fe	B
···g kg ⁻¹ ···		(H ₂ O)	dS m ⁻¹	·····	mmolc dm ⁻³	·····	·····	·····	·····	mg dm ⁻³	·····	·····	·····
4,55	7,84	7,40	0,34	1,32	15,90	5,90	1,74	6,00	0,20	1,10	10,80	5,20	0,34

*C: carbono; pH: potencial Hidrogeniônico; M.O.: Matéria orgânica; CE: condutividade elétrica; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Na: sódio; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; B: boro.

2.2 Delineamento Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, com sete tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos de adubação verde consistiram em cinco quantidades de biomassa de *C. procera*, 20, 40, 60, 80 e 100 t ha⁻¹ para determinar a máxima eficiência da adubação verde nas características analisadas. E os outros dois tratamentos, foram um tratamento sem adubação (controle) e outro adubado com adubação mineral (tratamento referência), para fins de comparação do controle, adubação mineral e a máxima eficiência.

Segundo a recomendação de Trani *et al.* (2014) para a cultura da rúcula, e a partir da análise de solo, o tratamento de adubação mineral ocorreu em dois tipos de aplicação, a adubação de plantio e de cobertura. A adubação de plantio aconteceu sete dias antes do plantio, e consistiu na aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N, 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, e 2 kg ha⁻¹ de B, através da aplicação de fosfato monoamônico, uréia, cloreto de potássio e ácido bórico. E a adubação de cobertura consistiu nas quantidades de 140 kg ha⁻¹ de N, 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, com os mesmos tipo de fertilizantes comerciais, parcelado em três aplicações após a semeadura.

A biomassa de *C. procera* utilizada como adubo verde, foi coletada da vegetação nativa nas proximidades da zona urbana e rural do município de Mossoró-RN, antes do início da sua floração, período que coincide com o maior acúmulo da matéria fresca. Posteriormente, foram levadas para a área da horta didática do Centro de Ciências Agrárias (CCA), onde foram trituradas em máquina forrageira convencional em fragmentos de dois a três centímetros e, posteriormente foram desidratadas sob a luz do sol, por um período de 5 dias, até atingirem um teor de umidade de aproximadamente 10%. Desse material, foram retiradas seis amostras e encaminhadas para análise laboratorial, cujas composições químicas obtidas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química da biomassa de *C. procera* nos experimentos 01 e 02. UFERSA, Mossoró-RN, 2022.

<i>C. procera</i>	N	P	K	Ca	Mg	Na	S
	..... g kg ⁻¹						
E1	13,59	18,29	26,67	14,21	12,40	3,96	3,79
E2	15,41	14,72	24,27	13,75	11,19	3,16	4,70
<i>C. procera</i>	Relação C:N	Fe	Cu	Mn	Zn	B	
	..... mg kg ⁻¹						
E1	30	86,62	5,34	27,23	70,06	4,53	
E2	26	104,06	6,76	26,99	79,44	5,33	

*C: carbono; N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; B: boro; Fe: ferro; Cu: cobre; Mn: manganês; Zn: zinco.

Cada parcela experimental dos experimentos foi composta por seis fileiras de rúcula, com 24 plantas por fileira plantadas no espaçamento de 0,05 m × 0,20 m, para uma população estimada de 1.000.000 plantas/ha (FREITAS *et al.*, 2009). A área total da parcela experimental foi de 1,44 m², com área útil de 0,80 m² (Figura 3).

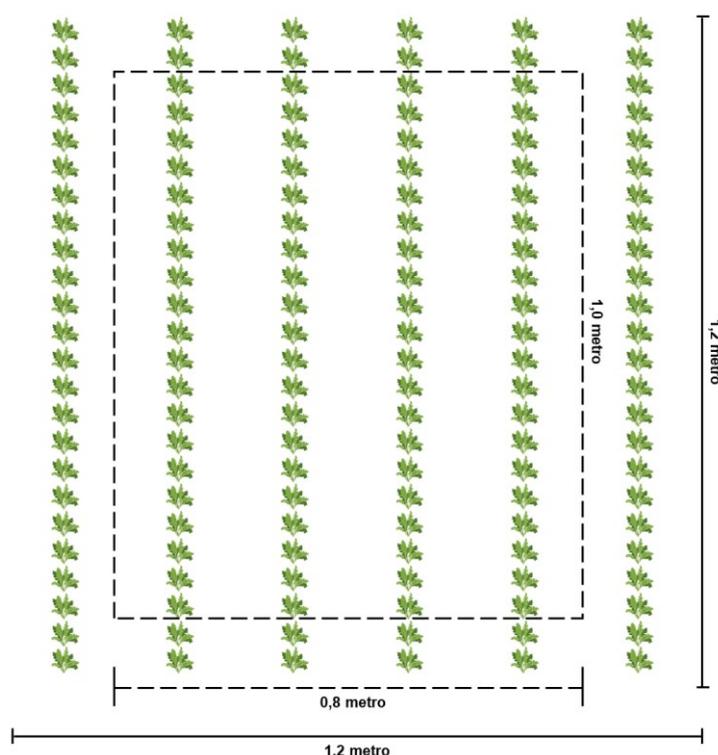


Figura 3. Representação da parcela experimental da rúcula plantada no espaçamento de 0,20 × 0,05 metros.

2.3 Manejo e Tratos Culturais

Antes da instalação dos experimentos, foi realizado o preparo do solo, que consistiu na limpeza mecânica da área com aração e gradagem, seguida do levantamento dos canteiros com o auxílio de um rotoncanteirador. Realizou-se também a solarização em pré-plantio durante 30 dias, utilizando plástico transparente de 30 μm (Vulca Brilho Bril Fles[®]), com o objetivo de combater nematoides, fitoparasitas e plantas daninhas na camada de 0-10 cm do solo, que poderiam prejudicar o desenvolvimento da cultura (AMARAL; ARAUJO, 2021).

Após a solarização, o experimento foi iniciado com a incorporação da biomassa vegetal em base seca (com 20 dias antes da semeadura) em aplicação única, na camada de 0-20 cm do solo, de forma manual com o auxílio de enxadas, em cada parcela, seguindo as quantidades especificadas nos tratamentos testados. O plantio foi realizado por semeadura manual em covas de aproximadamente 2 cm de profundidade, obtidas com o auxílio de marcadores de madeira, colocando-se de quatro a seis sementes por cova. A cultivar de rúcula (*Eruca sativa* Miller) semeada foi a 'Cultivada' (TOPSEED[®], Agristar), que possui folhas verdes escuras, lobuladas e recortadas, com aroma e sabor característicos, ligeiramente picantes e amargos.

A irrigação utilizada foi a de sistema de microaspersão, realizada diariamente com horários fixos em dois turnos, manhã e tarde, durante todo o ciclo do cultivo, fornecendo uma lâmina de água de aproximadamente 8 mm dia⁻¹ (CUNHA *et al.*, 2013), a fim de manter a capacidade de campo do solo, favorecer a atividade dos microrganismos do solo e a mineralização da matéria orgânica. Preventivamente, realizou-se a aplicação fitossanitária com o produto AZAMAX[®] (UPL, Brasil) para controle do pulgão-verde na rúcula.

Para ambos os experimentos, o desbaste foi realizado aos oito e treze dias após o plantio, deixando-se apenas uma planta por cova nas parcelas experimentais. A colheita da rúcula foi realizada em ambos os experimentos aos 30 dias após o plantio, colhendo as 80 plantas da área útil de cada parcela experimental.

2.4 Características Avaliadas

2.4.1 Teor de Macronutrientes

A avaliação nutricional foi realizada a partir da matéria seca da parte aérea (folhas e talos) de 20 plantas de rúcula das fileiras centrais da área útil de cada parcela, obtida por secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até obtenção de peso constante. Em

seguida, a matéria seca foi moída em moinho de aço inoxidável (tipo Willey). Utilizaram-se extratos de digestão sulfúrica para avaliação de nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), e de digestão seca para enxofre (S), sódio (Na) e potássio (K).

Para determinação de N, utilizou-se o método de destilação-titulação (Kjeldahl); para determinação do P, utilizou-se espectrofotometria com azul-de-molibdênio; e do S, por turbidimetria com espectrofotômetro modelo IL-593-S-Bi (Kasuaki Inc., China). Para Na e K, realizou-se leitura em fotômetro de chama modelo DM-62 (Digimed, Brasil); para Ca e Mg, utilizou-se o método de espectrofotometria de absorção atômica com aparelho modelo série AA-7000 (Shimadzu Inc., Japão), métodos descritos por Meneghetti (2018).

2.4.2 Teor de Micronutrientes

Utilizou-se a mesma matéria seca da determinação de macronutrientes para a determinação do teor de micronutrientes, através de extratos de digestão seca da matéria seca para avaliação de boro, cobre, manganês, zinco e ferro. Para a determinação dos teores de cobre, ferro, manganês e zinco, utilizou-se espectrofotômetro de absorção atômica modelo série AA-7000 (Shimadzu Inc., Japão); para a determinação de boro, utilizou-se o método de espectrofotometria com azometina-H através de aparelho modelo IL-593-S-Bi (Kasuaki Inc., China), métodos descritos por Meneghetti (2018).

2.4.3 Pigmentos de Folha

Para determinação dos pigmentos, clorofilas (A, B e Total) e carotenoides, utilizou-se o método proposto por Lichtenthaler e Wellburn (1983). Foram extraídos 0,1 g do peso fresco de discos foliares de seis plantas por parcela experimental, em contato com 6 ml de acetona a 80%. Os tubos de ensaio rosqueados e protegidos da luz foram levados para um ambiente refrigerado (8 °C) por 24 horas, após os teores de clorofila e carotenoides (mg g^{-1} de peso fresco) foram medidos nas absorbâncias de 470, 646 e 663 nm e calculados por meio das equações:

$$\text{Clorofila A} = (12,21 \times \text{Abs}_{663}) - (2,81 \times \text{Abs}_{646})$$

$$\text{Clorofila B} = (20,13 \times \text{Abs}_{646}) - (5,03 \times \text{Abs}_{663})$$

$$\text{Clorofila Total} = 17,32\text{Abs}_{646} + 7,18\text{Abs}_{663}$$

$$\text{Carotenoides} = 1000 \times \text{Abs}_{470} - 3,27 \times C_a - 104 \times C_b / 229$$

2.4.4 Acidez titulável, pH, sólidos solúveis e açúcares totais

Para todas as características bioquímicas e físico-químicas, foram determinadas a partir da polpa/suco das folhas de 20 plantas de rúculas de cada parcela experimental, obtidas pelo processamento do material fresco com extrator de sucos Juiceman modelo JM3000 (Empower Brands Inc., EUA).

A acidez titulável foi determinada por titulação volumétrica com solução de NaOH (IAL, 2008). Aproximadamente 1,0 g da polpa foram diluídos em 49 mL de água destilada e acrescidos de três gotas do indicador fenolftaleína a 1%. Essa mistura foi titulada lentamente com solução de NaOH 0,01 M em amostras duplicatas, e os resultados foram expressos em miliequivalente (mEq) por 100g de massa fresca.

A medição do potencial hidrogeniônico (pH), foi realizada utilizando um medidor de pH de bancada modelo PH-5000 (Instrutherm Ltda, Brasil).

O teor de sólidos solúveis foi determinado na polpa por refratômetro digital portátil modelo SPIN-104-D (SPINLab, Brasil), com correção automática de temperatura, sendo os resultados expressos em porcentagem de °Brix.

O teor de açúcares totais foi determinado pelo método da antrona (solução de antrona $C_{14}H_{10}O$ + ácido sulfúrico H_2SO_4), proposto por Yemm e Willis (1954), a partir de 1,0 g das amostras diluídas em balão volumétrico de 100 mL de álcool 80 %, retirou-se 10 mL da solução para outro balão de 100 mL e completou o volume com água destilada em amostras triplicatas. Depois, foi tomada uma alíquota para realizar a análise; a leitura foi realizada em espectrofotômetro modelo UV-1600PC (PLSUP, China) a 620 nm, e os resultados foram expressos em porcentagem.

2.4.5 Antocianinas e Flavonoides Amarelos Totais

O teor de antocianina e flavonoides amarelos total foi obtido pelo método preconizado por Francis (1982). Em Erlenmeyer de 150 mL coberto de papel alumínio, adicionou-se amostra em triplicata de 1 mL do suco e 30 mL da solução de etanol-HCl (1,5N; 85:15%), previamente preparada. Logo após, foi homogeneizado em agitadora orbital MA 420 (Marconi Ltda, Brasil) por 10 min. Em seguida, o volume da solução foi completado para 50 mL com etanol-HCL e levado para geladeira, onde descansou por 12 horas. Passado o período, o material foi filtrado em filtro Whatman nº 1 e transferido para um Becker de 50 mL envolto com papel alumínio, lendo-se logo em seguida no espectrofotômetro modelo UV-1600PC (PLSUP, China), em um

comprimento de onda de 535 nm para antocianinas e 374 nm para flavonoides. Considerou-se o “branco”, leitura realizada apenas da solução de etanol-HCl (1,5N). A antocianina e flavonoides amarelos total foi calculada em mg 100 g⁻¹, através das fórmulas:

$$\text{Antocianinas} = (\text{Absorbância} \times \text{fator}) / 98,2$$

$$\text{Flavonoides} = (\text{Absorbância} \times \text{fator}) / 76,6$$

2.4.6 Vitamina C e Polifenóis extraíveis totais

A vitamina C foi determinada por titulação com solução Tillman (DFI – 2,6 diclorofenol-indofenol a 0,02%), pesou-se 1,0 g das amostras em duplicatas e diluindo para balão 26 volumétrico de 50 mL com ácido oxálico 0,5%, dessa solução, foi retirada 5 mL e diluída em 45 mL de água destilada. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g⁻¹ de rúcula fresca (IAL, 2008).

Para a determinação de polifenóis, realizou-se o preparo de extratos vegetais, onde foram obtidos pesando-se amostras de 1 g da polpa em um béquer de 100 mL. Adicionaram-se 40 mL de metanol 50%, homogeneizou-se e deixou-se em repouso por 60 minutos à temperatura ambiente. Centrifugou-se a 25.406,55 g (15.000 rpm) durante 15 minutos e transferiu-se o sobrenadante para um balão volumétrico de 100 mL. A partir do resíduo da primeira extração, adicionaram-se 40 mL de acetona 70%, homogeneizou-se e deixou-se em repouso por 60 minutos à temperatura ambiente. Centrifugou-se novamente a 25.406,55 g (15.000 rpm) durante 15 minutos, transferindo o sobrenadante para o balão volumétrico contendo o primeiro sobrenadante e completando o volume para 100 mL com água destilada (LARRAURI *et al.*, 1997).

A determinação dos Polifenóis Extraíveis Totais (PET), aconteceu através do reagente de Folin-Ciocalteu (1927), utilizando-se o ácido gálico como padrão, segundo metodologia descrita por Larrauri *et al.* (1997). Em tubos de ensaio, foi preparado três repetições em triplicata. Em ambiente escuro, adicionou-se 1 mL do extrato, 1 mL do folin ciocalteau (1:3), 2 mL do carbonato de sódio (20%), 2 mL de água destilada e homogeneizou-se. As leituras, em espectrofotômetro modelo UV-1600PC (PLSUP, China) a 700 nm, foram realizadas após 10 minutos. O branco da leitura foi 1 mL de água destilada acrescentando todos os reagentes acima citados. O espectrofotômetro foi zerado com o branco, e os resultados foram expressos em mg de ácido gálico por 100 g de massa fresca.

2.4.7 Atividade antioxidante total do DPPH

A capacidade antioxidante de captura do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) foi determinada conforme o método proposto por Brand-Williams *et al.* (1995) e Sánchez-Moreno *et al.* (1998), para a porcentagem de inibição do radical DPPH (PI_{DPPH}) e a concentração eficaz que inibe 50% da concentração inicial do DPPH (CE_{50}). A partir dos mesmos extratos obtidos para a determinação de polifenóis, foram preparados tubos de ensaio com diferentes diluições, com três repetições cada. A absorbância foi medida a 515 nm. Após 10 minutos de reação, as leituras foram feitas com a ajuda de um espectrofotômetro modelo UV-1600PC (PLSUP, China). O declínio na absorção das amostras resultou na porcentagem de eliminação de radicais livres.

2.4.8 Coloração

Os parâmetros de cor para as folhas de rúcula foram determinados por meio de três leituras com o colorímetro modelo CR-410 (Konica Minolta Inc., Japão), em conjuntos de 5 folhas de cada parcela experimental, com o aparelho calibrado em superfície de porcelana branca, sob condições de iluminação. Os resultados são expressos no módulo de coordenadas L^* , a^* e b^* , que descrevem a uniformidade da cor no espaço tridimensional. A coordenada L^* corresponde a quão claro e quão escuro é o produto analisado (0: preto; 100: branco); a coordenada de a^* corresponde à escala de verde ($-a^*$) a vermelho ($+a^*$); e a coordenada b^* está relacionada à escala do azul ($-b^*$) e amarelo ($+b^*$). Os valores de a^* e b^* foram convertidos para os índices de tonalidade h° (ângulo Hue) e de saturação C^* (MCGUIRE, 1992), conforme as equações para a cor verde:

$$h^\circ = (b^* / a^*) \times (180/\pi) + 180^\circ$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

2.5 Análise estatística

As variáveis das características avaliadas, foram submetidas a uma análise univariada de variância para delineamento de blocos completos casualizados, através do software *SAS System 9.0* (SAS Institute Inc., EUA).

Realizou-se também uma análise conjunta de cada característica, para saber se havia ou não interação entre os tratamentos testados e os experimentos de cultivo. Antes de realizar a análise conjunta, foi verificada a suposição se existe homogeneidade dos quadrados médios dos resíduos dos experimentos, através da relação entre o maior e o menor quadrado médio, sendo este menor que 7.

Em seguida, foi realizado um procedimento de ajuste de curva de regressão utilizando o software *Table Curve 2D*[®] v5.01 (Systat Software Inc., EUA) para estimar o comportamento de cada característica de qualidade em função das quantidades de biomassa de *C. procera* estudadas, com base em os seguintes critérios: Os modelos ajustados foram selecionados baseados nos seguintes critérios: lógica biológica da variável, ou seja, quando se constata que após determinada quantidade máxima de fertilizante não há aumento da variável; na significância do quadrado médio do resíduo da regressão; no alto valor do coeficiente de determinação; e na significância dos parâmetros da equação de regressão (FERREIRA *et al.*, 2022).

O teste F foi utilizado para comparar os valores médios entre os experimentos de cultivos, entre o valor médio de máxima eficiência, entre o valor médio dos tratamentos fertilizados com biomassa de *C. procera* e entre o tratamento fertilizado com adubo mineral e com o tratamento controle (sem adubação).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Macronutrientes

Não foram observadas interações significativas entre os experimentos e as quantidades de biomassa de *C. procera* para nenhum dos macronutrientes avaliados na cultura da rúcula. Houve diferença estatística entre os dois experimentos para os teores de nitrogênio (N) e fósforo (P), sendo P superior no primeiro experimento, e N superior no segundo experimento. Enquanto que para os macronutrientes potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) não houve diferença significativa entre as médias dos experimentos (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de macronutrientes presentes na rúcula nos dois experimentos.

Experimentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
	g kg ⁻¹						
E1	31,06b	14,59a	29,69a	30,18a	6,86a	6,12a	2,61a
E2	33,10a	13,45b	30,35a	29,58a	7,17a	6,30a	2,65a

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em $p < 0,05$.

A composição química da biomassa de *C. procera* em base seca (Tabela 2), é evidente que a proporção de carbono-nitrogênio (C:N) é mais elevada no material utilizado no E1, o que desempenha um papel significativo nas médias dos experimentos. A relação C:N da adubação orgânica/verde exerce um impacto considerável na disponibilidade de nitrogênio para as plantas, e as relações mais elevadas de C:N em resíduos vegetais afetam a formação de compostos orgânicos durante o processo de decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, resultando em uma mineralização mais lenta do nitrogênio (ADAMCZYK, 2021). A assimilação de fósforo pelas plantas não é determinada diretamente pela relação C:N, mas sim pela qualidade intrínseca do material orgânico em relação ao teor de fósforo, e isso influencia diretamente na decomposição da matéria orgânica no solo, resultando na liberação de fosfatos, os quais são então absorvidos pelas plantas de rúcula, influenciando na diferença do teor de fósforo entre os experimentos (SOUZA *et al.*, 2006).

Os valores médios de máxima eficiência (MEF) dos tratamentos que utilizaram adubo verde e tratamento mineral (Tam) apresentaram divergências em relação ao controle (Tnf) no que diz respeito aos macronutrientes. Foi constatada uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos para todos os sete macronutrientes avaliados no cultivo da

rúcula (Tabela 4). Em relação aos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), os valores de MEF foram 1,83, 2,27 e 1,45 vezes maiores do que os valores de Tnf, respectivamente.

Tabela 4. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) nos teores de macronutrientes na rúcula.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
	..... g kg ⁻¹						
Tnf	19,92c	6,87c	22,56c	25,55b	3,19b	9,29a	1,96c
Tam	47,01a	25,07a	37,27a	23,03c	2,57c	2,78c	4,68a
MEF	36,53b	15,59b	33,00b	36,95a	9,48a	7,62b	2,69b
CV (%)	12,98	16,27	7,00	9,87	7,57	11,56	19,16

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F em $p < 0,05$.

Diferença significativa foi observada entre os tratamentos controle, adubação mineral e a MEF para todos os macronutrientes, foi possível verificar que a MEF obteve as maiores médias para o cálcio e magnésio em relação aos tratamentos de adubação mineral e do controle (Tabela 4), sendo 60,44% maior que a adubação mineral e 44,62% maior que o controle para o teor de cálcio, e 3,69 vezes maior que a adubação mineral e 2,97 maior que o controle para o teor de magnésio.

O enriquecimento do teor de cálcio nas plantas, é abordado como positivo para a nutrição da rúcula, se tratando de um nutriente essencial para o metabolismo vegetal, necessário para o crescimento e desenvolvimento, especialmente na raiz e na ponta do caule (TUTEJA; MAHAJAN, 2007). Na saúde humana, o cálcio está relacionado a diversas funções características básicas do coração, como função sistólica e diastólica, em indivíduos hipertensos, destacando seu papel na função cardiovascular (LIND *et al.*, 1992).

O aumento da concentração de magnésio representa uma vantagem significativa para a qualidade nutricional da rúcula. Este mineral, classificado como macronutriente, desempenha funções essenciais na fisiologia vegetal, incluindo a síntese de clorofila, a ativação de enzimas e a manutenção da estabilidade da membrana celular (MAO *et al.*, 2014). Além disso, na perspectiva da alimentação humana, o magnésio está correlacionado com a saúde óssea e o risco de fraturas osteoporóticas, o que sugere uma relação potencial entre a ingestão mineral e a saúde nutricional global (HAYHOE *et al.*, 2015).

Com relação aos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio e sódio, a adubação mineral obteve as maiores médias em relação ao tratamento de máxima eficiência da adubação

verde e o tratamento controle (Tabela 4). Especificamente, em comparação com a máxima eficiência da adubação verde, os teores foram 28,69%, 60,81%, 12,94% e 73,98% maiores para nitrogênio, fósforo, potássio e sódio, respectivamente. Em relação ao tratamento controle, os teores foram 135,99%, 264,92%, 65,20% e 138,78% maiores, respectivamente. Para o enxofre, o tratamento controle obteve as maiores médias, diferindo dos demais, observando que o controle, foi 21,92% superior que o tratamento com adubação verde e 234,17% maior que o tratamento com a adubação mineral, conforme observado na Tabela 4.

Na avaliação dos tratamentos para a concentração de macronutrientes, a rúcula demonstrou sua capacidade de acumulo de N, P, K e Na para o tratamento de adubação mineral (Tabela 4). As hortaliças da família das Brassicaceae como a rúcula, são exigentes em termos de adubação, necessitando de um solo rico em nutrientes para seu viável crescimento (CANTARELLA *et al.*, 2022).

Neste contexto, a adubação mineral oferece vantagens significativas, proporcionando uma alta concentração e disponibilidade imediata dos nutrientes específicos contidos em sua composição. A elevada concentração de sódio pode ser explicada pela aplicação de ureia, fosfato monoamônico, ácido bórico e cloreto de potássio. Estes três primeiros componentes possuem índices elevados de acidez, favorecendo o processo de acidificação do solo. Tal acidificação, por sua vez, aumenta a absorção de cátions altamente solúveis pelas plantas, como é o caso do sódio por meio da difusão. Além disso, outra via de absorção é o fluxo de massa, que, influenciado pela alta concentração dos nutrientes presentes nos fertilizantes sintéticos e pelas condições ambientais, promove um aumento na transpiração vegetal, impulsionando a absorção desses nutrientes (FLOSS, 2011).

Os níveis de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), quando analisados em relação às diferentes quantidades de adubação verde, exibiram uma tendência linear positiva, em correspondência ao aumento das quantidades de adubação com a biomassa de *C. procera* incorporada ao solo (Figura 4). Os resultados indicaram que a adubação verde resultou em teores máximos de nitrogênio, fósforo e potássio de 36,53 g kg⁻¹, 15,59 g kg⁻¹ e 33,00 g kg⁻¹, respectivamente, quando aplicada na quantidade de 100 t ha⁻¹ de biomassa de *C. procera*, conforme observado no comportamento linear dos nutrientes (Figura 4).

Al-Taey e Almusawi (2019) observaram que a rúcula cultivada em clima árido quando adubada com cama aviária (300g m⁻²), apresentou um valor percentual de nitrogênio na matéria seca equivalente ao teor de 44,4 g kg⁻¹. Para fósforo, o trabalho de Al-Taey e Almusawi (2019) encontraram um percentual equivalente ao teor de 10,8 g kg⁻¹, já sendo relativamente inferior a este trabalho. Para potássio, Al-Taey e Almusawi (2019) observaram um percentual equivalente

ao teor de 54,0 g kg⁻¹, já sendo 1,6 vezes maior que o observado neste trabalho. Os resultados da adubação verde demonstraram níveis de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) semelhantes aos observados por Grangeiro *et al.* (2011) no cultivo convencional de rúcula no semiárido brasileiro.

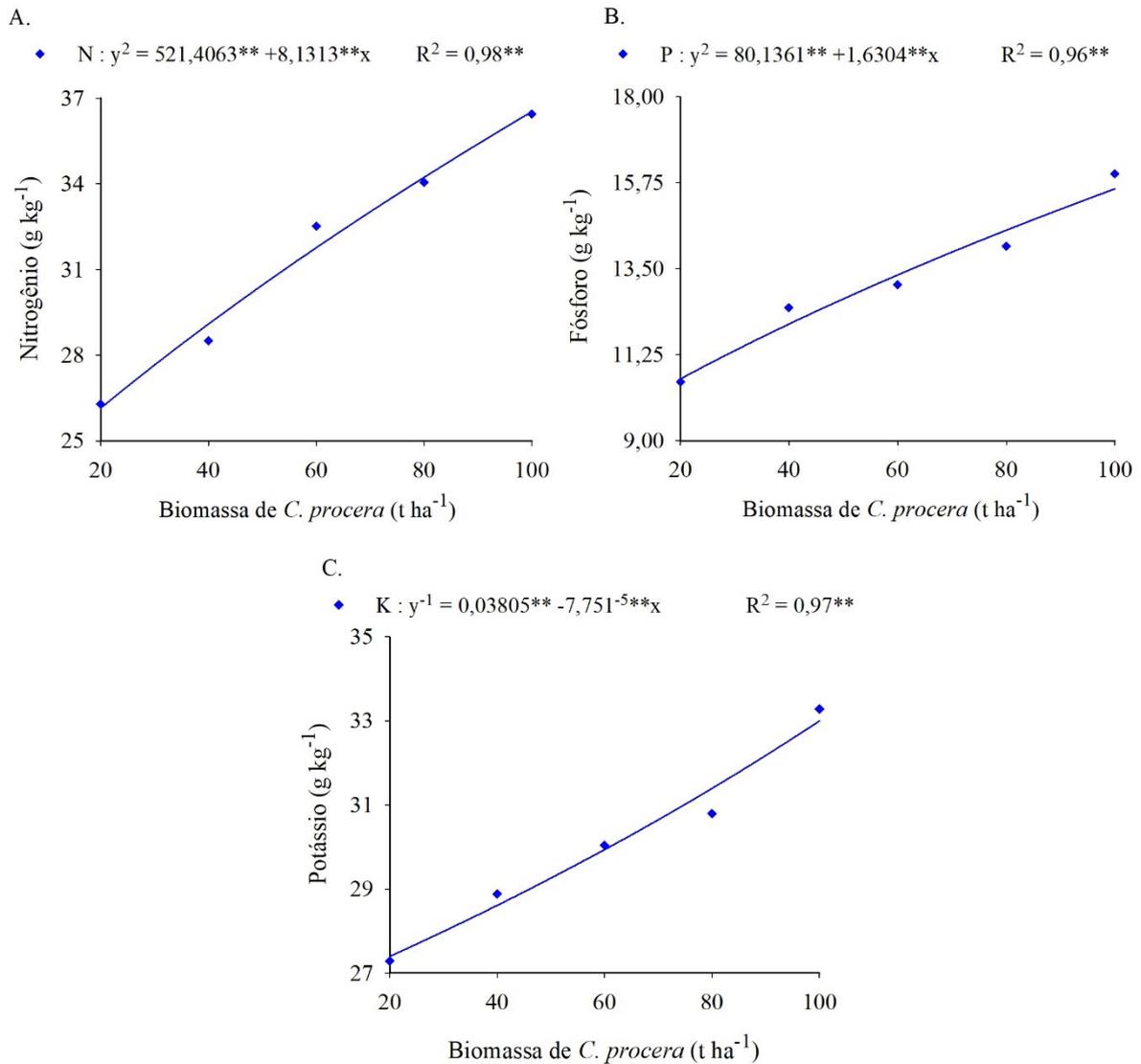


Figura 4. Teores de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) na rúcula em função das quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo.

No comportamento dos teores de magnésio e sódio, foi observado um padrão de variação polinomial, caracterizado por um aumento e subsequente diminuição em resposta ao incremento das quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo (Figuras 5B e D). Por outro lado, os teores de cálcio e enxofre apresentaram uma relação linear crescente e decrescente, respectivamente, em relação ao aumento das quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo (Figuras 5A e C).

A otimização para os teores de magnésio e sódio aconteceu nas quantidades incorporadas de 85,76 t ha⁻¹ e 78,78 t ha⁻¹ respectivamente, onde apresentaram os teores de 9,48 g kg⁻¹ e 2,69 g kg⁻¹, resultado similares ao de Neriman *et al.* (2011) que encontrou percentual máximo em cultivos convencionais de rúcula equivalente ao teor de 7,91 g kg⁻¹ de magnésio, abaixo ao de Swanson *et al.* (2022) que encontrou máxima de 11,37 g kg⁻¹ de sódio em rúcula em cultivo orgânico. Observando o cálcio (Figura 5A), o comportamento linear crescente apresentou na quantidade 100 t ha⁻¹ o teor de 36,95 g kg⁻¹, valor similar ao de Neriman *et al.* (2011) que encontrou um teor máximo de 35,5 g kg⁻¹.

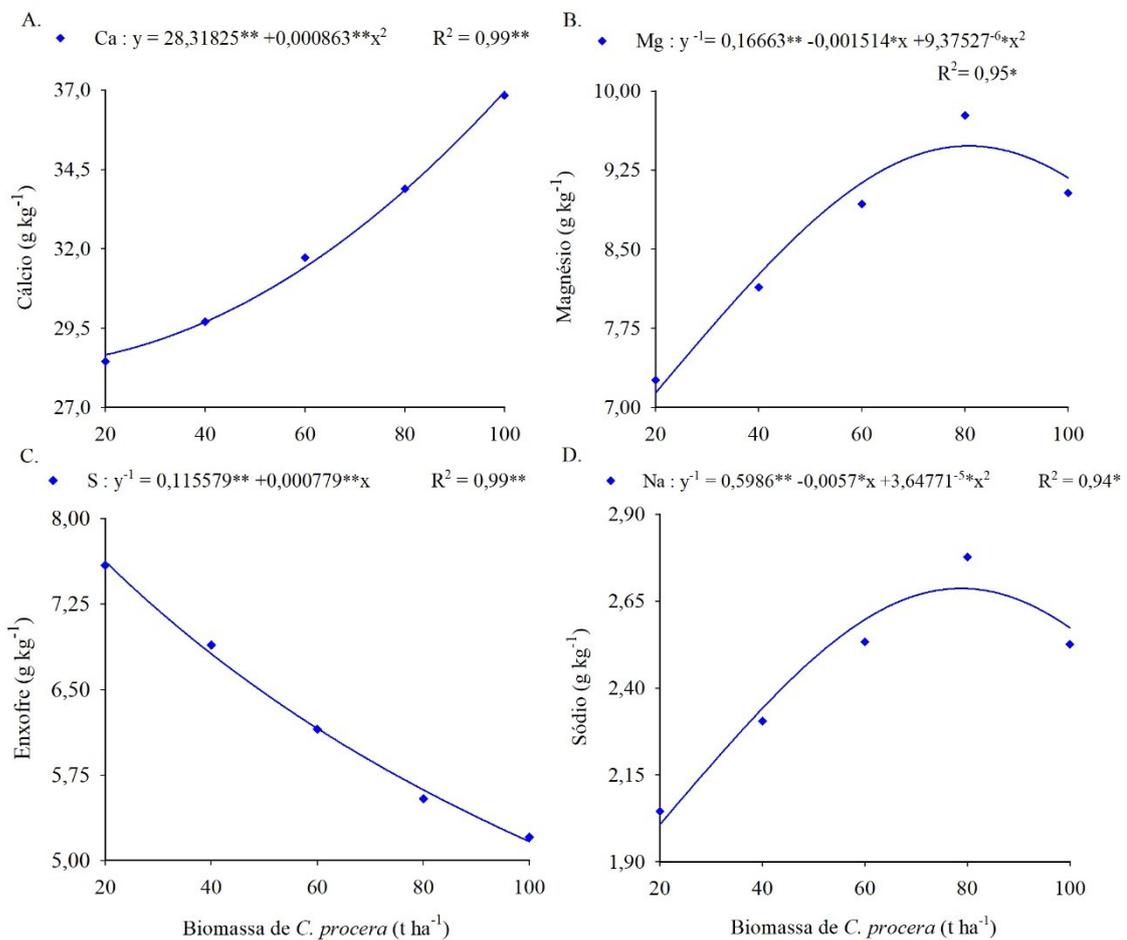


Figura 5. Teores de cálcio (A), magnésio (B), enxofre (C) e sódio (D) na rúcula em função das quantidades de biomassa de *C. prosera* incorporadas ao solo.

A utilização da biomassa de *C. prosera* revelou-se eficaz para aumentar os níveis de cálcio e magnésio durante o cultivo de rúcula em regiões semiáridas. Essa eficiência em comparação com a adubação mineral pode ser atribuída às características do material proveniente da adubação verde (Tabela 2), bem como ao antagonismo entre potássio e magnésio, o qual é induzido pela aplicação de KCl. O grupo controle consistiu no tratamento

com a maior concentração de enxofre na massa seca de rúcula, conforme descrito neste estudo. É sabido que a deficiência nutricional em plantas resulta em estresse oxidativo. O metabolismo do enxofre está intimamente associado ao estresse oxidativo por meio da síntese de compostos sulfatados, como cisteína e glutatona, os quais desempenham um papel crucial na regulação do conteúdo de espécies reativas de oxigênio (DE KOK *et al.*, 2015; BELL *et al.*, 2020).

3.2 Micronutrientes

Não houve interação significativa entre experimentos e quantidades de biomassa de *C. procera* para os micronutrientes. Houve diferença significativa entre os dois experimentos foram observadas para os micronutrientes, com exceção do manganês que não houve diferença. O valores de boro (B) e o cobre (Cu) foram superiores no primeiro experimento, e o zinco (Zn) e ferro (Fe) superior no segundo experimento (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios dos micronutrientes: boro (B), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu), presentes na rúcula nos dois experimentos.

Experimento	B	Zn	Fe	Mn	Cu
	..... mg kg ⁻¹				
E1	20,31a	128,17b	83,26b	19,49a	11,99a
E2	15,39b	156,26a	154,25a	19,46a	9,49b

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em $p < 0,05$.

A composição do material da biomassa de *C. procera* em base seca (Tabela 2) demonstrou maiores concentrações de boro e cobre no material utilizado no experimento 01, e maiores concentrações de zinco e ferro no material utilizado no experimento 02, o que contribui para as diferenças significativas nas médias dos experimentos.

Os valores médios das concentrações de zinco, ferro, cobre e boro provenientes da adubação verde diferiram estatisticamente em comparação com os tratamentos de adubação mineral e do controle (Tabela 6). A análise revelou que a adubação verde proporcionou maiores valores nos teores superiores de zinco, ferro e cobre em comparação com os tratamentos de adubação mineral e controle. No caso do zinco, os teores foram 122,32% e 175,64% superiores em relação à adubação mineral e controle, respectivamente. Para o ferro, observou-se uma diferença de 28,05% em relação à adubação mineral e 114,6% em relação ao controle. Quanto ao cobre, as diferenças foram de 35,33% e 89,03% em relação à adubação mineral e controle, respectivamente. No entanto, não foram identificadas diferenças significativas entre a adubação

mineral e a adubação verde em relação ao boro, sendo que ambas foram superiores ao controle em 62,07% e 69,40%, respectivamente. A adubação mineral destacou-se significativamente em relação aos demais tratamentos apenas no que diz respeito ao teor de manganês, exibindo uma superioridade de 30,66% sobre a adubação verde e de 104,91% em relação ao grupo controle sem adubação, conforme detalhado na Tabela 6.

Tabela 6. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) nos teores de micronutrientes na rúcula.

Tratamentos	B	Zn	Fe	Mn	Cu
	..... mg kg ⁻¹				
Tnf	12,55b	82,23c	75,56c	13,85c	6,93c
Tam	21,26a	101,95b	126,63b	28,38a	9,68b
MEF	20,34a	226,66a	162,15a	21,72b	13,12a
CV (%)	26,24	27,15	30,91	8,58	15,55

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F em $p < 0,05$.

Com esses resultados (Tabela 6), verifica-se que a adubação verde é uma importante fonte de micronutrientes para a rúcula, ao fornecer matéria orgânica que no solo promove condições de maior capacidade de extração dos micronutrientes, e melhora as características físicas e biológicas do solo, aumentando a disponibilidade de micronutrientes através da quelação e formando complexos estáveis com micronutrientes (ZHIJIE *et al.*, 2022; JAYARA *et al.*, 2023).

O processo de acidificação do solo pelos fertilizantes sintéticos, promove o aumento da solubilização de íons manganês, esse por sua vez tem sua absorção eficiente em solo com pH abaixo de 6,5 e acima de 5,0 (CANTARELLA *et al.*, 2022; IPNI, 1998), o que colabora para o valor da concentração de manganês do tratamento de adubação mineral (Tabela 6) ser superior ao tratamento de eficiência máxima de adubação verde, que apresenta ação antagônica com o efeito de tamponamento do pH pela matéria orgânica.

Os minerais zinco, ferro e cobre são elementos essenciais que desempenham um papel fundamental na qualidade nutricional da rúcula, influenciando diversos processos fisiológicos cruciais nas plantas. Tais processos incluem regulação do crescimento, participação no metabolismo energético, síntese de proteínas e enzimas e na resposta fitoprotetora frente a patógenos (PETRY *et al.*, 2015). A presença desses minerais na rúcula contribui significativamente para os benefícios gerais à saúde associados ao consumo de vegetais crucíferos, destacando a importância nutricional desse vegetal (MANCHALI *et al.*, 2012).

Adicionalmente, a rúcula é reconhecida como uma fonte valiosa de ferro, cobre e zinco, elementos cuja presença contribui para seu valor nutricional e a torna uma excelente fonte desses minerais essenciais (KULKARNI *et al.*, 2007).

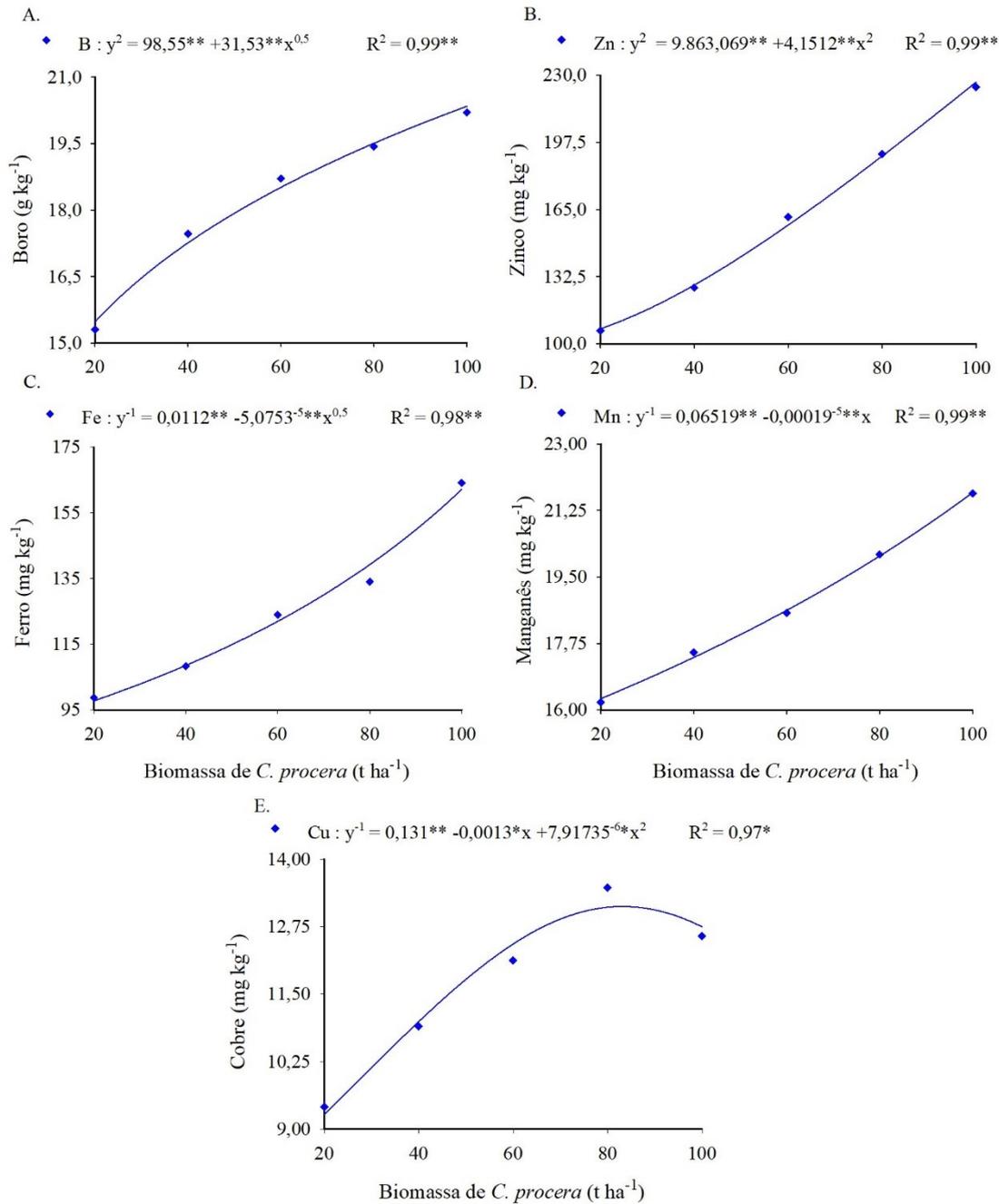


Figura 6. Teores de boro (A), zinco (B), ferro (C), manganês (D) e cobre (E) na rúcula em função das quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo.

Observou-se um aumento progressivo nos teores de boro, zinco, ferro e manganês em resposta ao aumento das quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo (Figura 6A a D). Além disso, constatou-se um padrão de otimização polinomial para o teor de cobre na

cultura da rúcula, conforme apresentado na Figura 6E, em decorrência das diferentes quantidades de biomassa do adubo verde utilizadas.

O teor de boro, em um padrão de crescimento linear ascendente (Figura 6A), atingiu seu pico máximo de 20,34 mg kg⁻¹ em solo tratado com 100 t ha⁻¹, revelando concentrações inferiores às observadas por El-Nwehy *et al.* (2023) em plantas de rúcula fertilizadas com matéria orgânica e submetidas à biofortificação com Zn e B.

Em relação aos teores de zinco, ferro e manganês, verificou-se que, na aplicação de 100 t ha⁻¹, os valores foram de 226,66 mg kg⁻¹, 162,15 mg kg⁻¹ e 21,72 mg kg⁻¹, respectivamente. Embora estudos anteriores tenham reportado resultados menores para o zinco, Neriman *et al.* (2011) e Caruso *et al.* (2020) observaram concentrações superiores para ferro e manganês. Em contrapartida, Rugeles-Reyes *et al.* (2019), ao empregar a biofortificação com zinco em plantas de rúcula, registraram concentrações de até 246,5 mg kg⁻¹ para o teor de zinco.

Dos cinco micronutrientes avaliados, o cobre foi o único que apresentou um comportamento polinomial de otimização de concentração (Figura 6E), observando na quantidade 83,21 t ha⁻¹ de adubação verde uma otimização da concentração de cobre no valor de 13,12 mg kg⁻¹. É possível observar resultados similares de teor de cobre para plantas de rúculas de origem de regiões semiáridas nos trabalhos apresentados por Bozokalfa *et al.* (2009), Neriman *et al.* (2011) e Rugeles-Reyes *et al.* (2019).

3.3 pH, acidez titulável, sólidos solúveis e açúcares totais

As médias dos experimentos apresentaram diferença significativa para sólidos solúveis, enquanto que para acidez titulável, potencial hidrogeniônico e açúcares totais não houve diferença significativa entre os dois experimentos (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios nos experimentos para a acidez titulável (mEq100⁻¹), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis (°Brix) e açúcares totais (%) presentes na rúcula.

Experimentos	pH	Acidez Titulável (mEq100 ⁻¹)	Sólidos Solúveis (°Brix)	Açúcares Totais (%)
E1	5,45a	2,94a	4,46b	0,93a
E2	5,21a	2,91a	5,12a	0,98a

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em p<0,05.

Para essas características físico-químicas, os dois experimentos em contraste com as quantidades de adubação verde, não apresentou interação significativa (Apêndice B).

Para os tratamentos controle, adubação mineral e adubação verde, houve diferença para as quatro características (pH, acidez, sólidos solúveis e açúcares totais). No pH, a adubação mineral e a máxima eficiência não se diferenciam entre si e foram superiores ao tratamento controle (Tabela 8).

Tabela 8. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) na acidez titulável ($\text{mEq}100^{-1}$), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$) e açúcares totais (%) presentes na rúcula.

Tratamentos	pH	Acidez Titulável ($\text{mEq}100^{-1}$)	Sólidos Solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$)	Açúcares Totais (%)
<i>Tnf</i>	5,24b	2,59b	4,62b	1,26a
<i>Tam</i>	5,32a	1,94c	3,86c	0,51b
MEF	5,45a	3,30a	5,10a	1,41a
CV (%)	1,64	9,21	8,58	25,22

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F em $p < 0,05$.

A adubação verde não diferiu da adubação mineral para o pH das folhas de rúcula (Tabela 8). Cardoso *et al.* (2011) enfatiza a importância da fertilização orgânica no cultivo de hortaliças, relacionando-se indiretamente com o potencial impacto no pH das folhas de Brassicaceae. O pH dos vegetais folhosos também está ligado à sua qualidade pós-colheita (PEREIRA *et al.*, 2015).

Para acidez titulável houve diferença entre os três tratamentos (Tabela 8), onde a adubação verde apresentou valores respectivamente de 27,41% e 70,10% maiores que os valores do controle e da adubação mineral. A acidez titulável é um indicador da quantidade de ácidos presentes nos alimentos, sendo um dos fatores determinantes do sabor e da conservação dos alimentos. Canuto *et al.* (2010) verificou que a acidez titulável de frutos tropicais está correlacionada com a atividade antioxidante, o que ressalta a importância dessa variável na caracterização físico-química para hortaliças. Para esse trabalho, a estatisticamente demonstra a capacidade superior da adubação verde em influenciar a qualidade de acidez da rúcula, frente ao tratamento convencional com adubação mineral.

Nos resultados relativos aos sólidos solúveis, foram identificadas discrepâncias significativas entre os três tratamentos analisados. A aplicação de adubação verde resultou em incrementos de 32,12% e 10,39% em relação aos teores observados nos tratamentos com adubação mineral e controle, respectivamente. Estes achados indicam um desempenho superior da adubação verde na promoção de sólidos solúveis na rúcula cultivada em condições de

semiárido. A concentração de sólidos solúveis totais e açúcares totais é um fator de importância primordial na avaliação da qualidade de hortaliças, uma vez que diretamente influencia o sabor, textura e valor nutricional dos vegetais (RÊGO *et al.*, 2023).

Quanto aos teores de açúcares totais, a adubação verde e o controle diferenciam-se da adubação mineral, apresentando valores de 176,47% e 147,06% maiores, respectivamente que os valores do tratamento convencional (Tabela 8). O impacto do estresse nutricional na acumulação de açúcares solúveis em plantas pertencentes à família Brassicaceae, como a rúcula (SADDHE *et al.*, 2020), tem sido amplamente documentado.

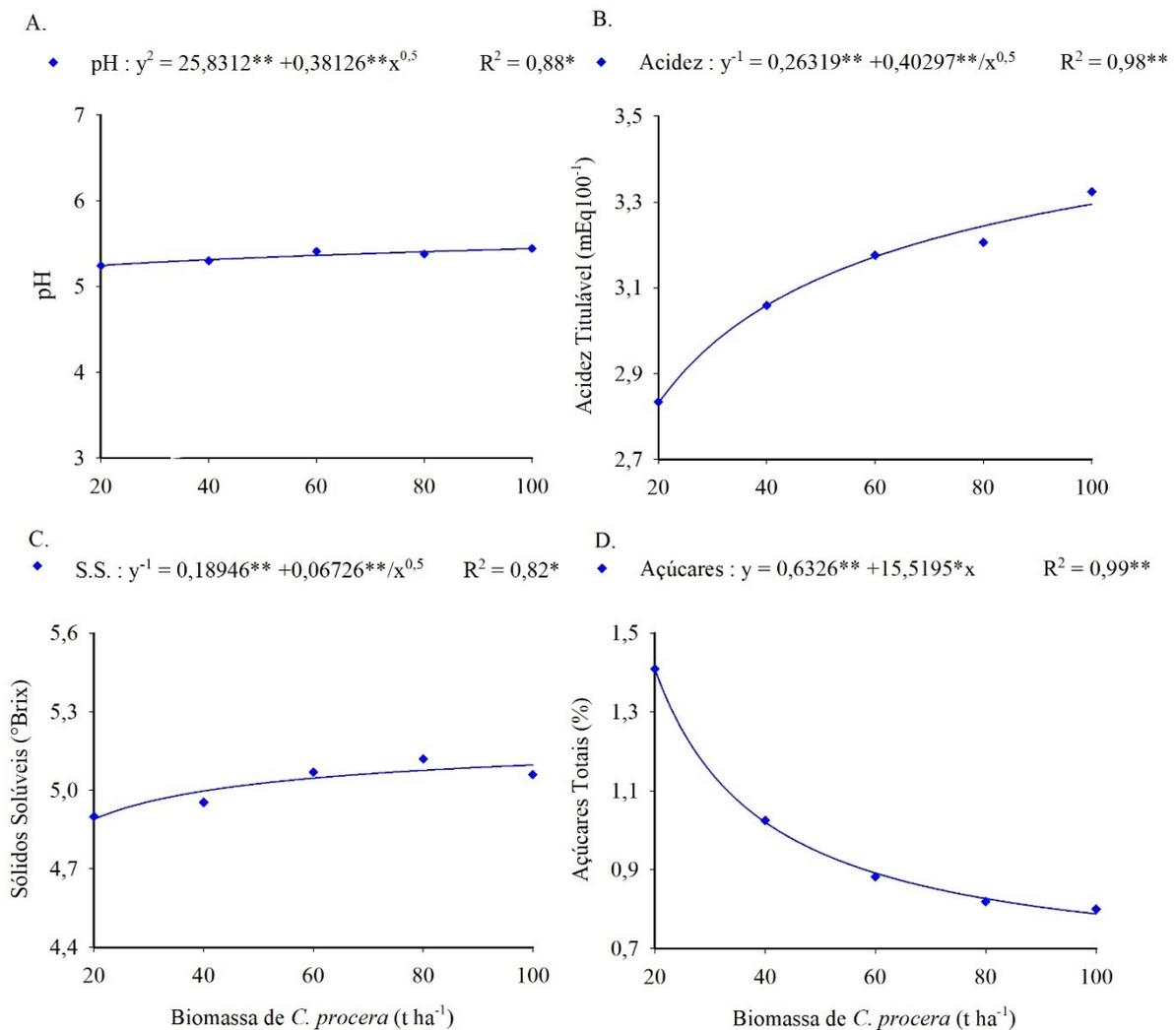


Figura 7. Valores de pH (A), acidez titulável (B), sólidos solúveis (C) e açúcares totais (D) de rúcula em função das quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo.

Para as distintas quantidades de adubação verde, constatou-se que o pH da rúcula exibiu uma tendência de elevação gradual (Figura 7A) conforme aumentaram as quantidades de adubação verde, registrando valores oscilantes entre 5,25 e 5,44. Da mesma forma, os teores de

sólidos solúveis manifestaram um padrão de incremento discreto (Figura 7C), evidenciado o percentual máximo de 5,1% constatado na aplicação de 100 t ha⁻¹ de adubação verde.

A acidez titulável apresentou um comportamento polinomial crescente (Figura 7B), onde na maior quantidade de 100 t ha⁻¹ apresentou o valor de 3,30 mEq100⁻¹ de acidez. Enquanto, que para a concentração de açúcares totais (Figura 7D) nas diferentes quantidades da adubação verde, apresentou um comportamento polinomial decrescente, onde o valor máximo de 1,41% foi observado na quantidade 20 t ha⁻¹ e o mínimo de 0,79% foi observado na quantidade 100 t ha⁻¹.

Observa-se que a adubação verde favorece o acúmulo de ácidos orgânicos na rúcula, à medida que os teores de açúcares totais diminuem com o aumento da aplicação da adubação verde. Isso acompanha a redução mínima do estresse de nutrientes e promove a biossíntese de fitoquímicos relacionados à acidez da rúcula, incluindo o ácido ascórbico, essencial para a saúde humana e influenciado por diferentes práticas agrônômicas (KATHI *et al.*, 2022). Além disso, os ácidos orgânicos contribuem para as propriedades sensoriais e a aceitabilidade da rúcula pelo consumidor, conforme demonstrado em um estudo que avaliou o gosto geral e a intensidade do sabor da rúcula cultivada orgânica e convencionalmente (ZHAO *et al.*, 2007). Do mesmo modo, os ácidos orgânicos, incluindo o ácido ascórbico, são nutrientes vitais que podem ser aumentados através de práticas culturais, aumentando assim o valor nutricional da rúcula (KATHI *et al.*, 2022). A presença de ácidos orgânicos na rúcula, como os ácidos ascórbico e gálico, contribuem para suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, essenciais para a saúde humana (OBOH; AKINDAHUNSI, 2004).

3.4 Coloração

A luminosidade (L*) representa o brilho da cor, enquanto a cromaticidade (C*) indica a saturação da cor, e o ângulo hue (h°) define a tonalidade da cor de acordo com o espaço de cores de 360°, com ângulos específicos representando diferentes tonalidades (MCGUIRE, 1992; PILLI; LOPRIORE, 2018). Para as variáveis de cor, luminosidade (L*), ângulo de matiz (h°) e cromaticidade (C*), constatou-se que as médias dos experimentos divergiram significativamente apenas no que concerne à luminosidade, enquanto para a cromaticidade e o ângulo de matiz não se observou diferença estatisticamente significativa (Tabela 9). Para os dois experimentos em contraste com as quantidades de adubação verde, não houve interação significativa (Apêndice C).

Tabela 9. Valores médios para luminosidade (L*), cromaticidade (C*) e ângulo hue (°h) na rúcula nos experimentos.

Experimentos	L*	C*	°h
E1	47,54a	27,75a	124,35a
E2	46,45b	28,83a	124,87a

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em $p < 0,05$.

Os tratamentos estudados não apresentaram diferença significativa (Tabela 10) para a variável de cor da cromaticidade (C*), mas houve diferenças para ângulo hue (°h) e luminosidade (L*). Para o ângulo hue, o tratamento de adubação mineral se diferenciou da adubação verde e do controle respectivamente, em 1,12 e 2,05% na tonalidade da cor verde. Estudos demonstraram que o ângulo hue quantifica a tonalidade de cor em vegetais, com 0° representando vermelho/roxo, 90° representando amarelo e 180° representando azulado/verde (LEWALLEN; MARINI, 2003).

Tabela 10. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) para a luminosidade (L*), cromaticidade (C*) e ângulo hue (°h) na rúcula.

Tratamentos	L*	C*	°h
<i>Tnf</i>	47,76a	28,54a	123,77b
<i>Tam</i>	45,85b	27,70a	126,31a
MEF	48,20a	29,04a	124,91b
CV (%)	3,96	8,60	1,13

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F em $p < 0,05$.

O ângulo hue ou ângulo de matriz de uma folha verde, pode variar de 50 a 150°, fornecendo uma faixa específica para identificação da cor verde (WALDAMICHAEL *et al.*, 2021). Além disso, as matrizes únicas que são usadas para definir os eixos a* e b* no espaço CIECAM02, para o ângulo hue foi definido o verde puro em 164,25° (HUANG *et al.*, 2018). Contudo, a luminosidade da adubação verde e o tratamento controle se diferenciam da luminosidade do tratamento de adubação mineral, com uma diferença de 5,13 e 4,17% respectivamente (Tabela 10), o que resulta em folhas com aparências mais brilhosas, isto indicaria que a adubação verde produz um efeito positivo no brilho das folhas. Amagai *et al.* (2021) explicaram que a luminosidade (L*) das folhas verdes de Brassicaceae é determinada

negativamente pela concentração de clorofila e positivamente pela concentração de carotenoides.

Observando as diferentes quantidades da adubação verde, um comportamento decrescente linear para a luminosidade (Figura 8A), um comportamento decrescente para a croma (Figura 8B), e um comportamento crescente para o ângulo hue das folhas de rúcula (Figura 8C). Na cromaticidade, observou 29,04 e 27,99 para valores máximo e mínimo, respectivamente para as quantidades 20 e 100 t ha⁻¹ de adubação verde, apresentando uma leve diminuição na saturação da tonalidade verde das folhas, mas não sendo em nível significativo.

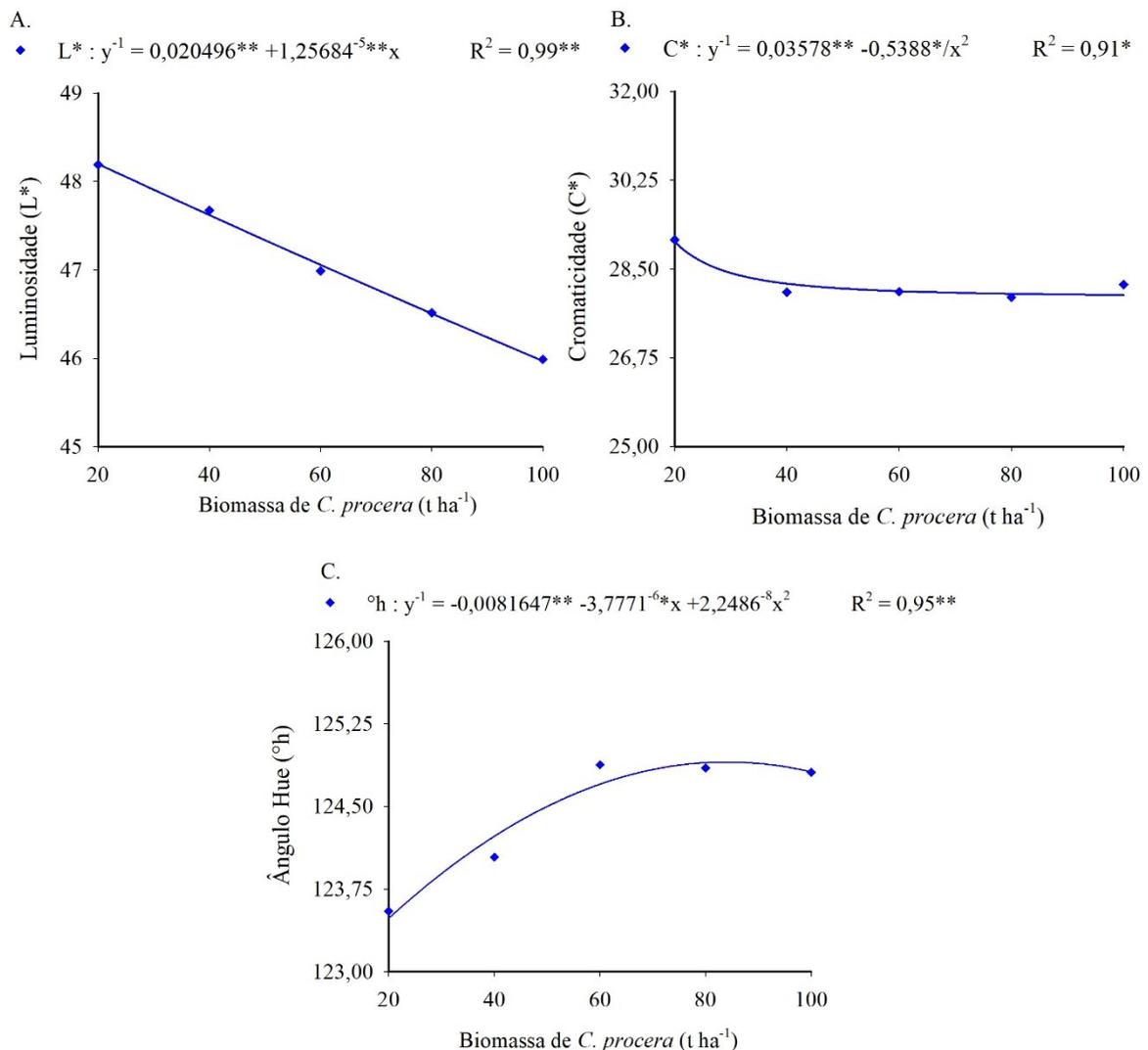


Figura 8. Valores de luminosidade (A), cromaticidade (B) e ângulo hue (C) em folhas frescas de rúcula em função das quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo.

Para luminosidade, observou-se os valores máximo e mínimo de 48,20 e 45,97 nas quantidades respectivas de 20 e 100 t ha⁻¹ de adubação verde (Figura 8A), evidenciando um escurecimento das folhas com o aumento da adubação. Enquanto, que para o comportamento

observado do ângulo hue, foi apresentado nas quantidades de 83,99 e 20 t ha⁻¹ de adubação verde, os respectivos valores de 124,91 e 123,49°.

Esses resultados demonstram que com o aumento da adubação verde, as folhas demonstraram ganhar mais tonalidade em direção ao verde puro, com aspectos de luminosidade levemente mais escuros, características desejáveis pelo consumidor, com essas características sendo mais acentuada a partir da quantidade de 62,00 t ha⁻¹ de adubação verde, ao observar o comportamento das regressões (Figura 8). Além disso, os parâmetros de cor têm sido usados para correlacionar com pigmentos em frutas e vegetais, como carotenoides, e têm mostrado fortes correlações com compostos específicos como a luteína (ITLE; KABELKA, 2009).

3.5 Teores de clorofilas e carotenoides na folha

Os carotenoides e clorofilas são os pigmentos que dão à rúcula sua cor verde característica. A clorofila desempenha um papel crucial da fotossíntese, o processo pelo qual as plantas convertem a luz em energia. A clorofila e os carotenoides trabalham juntos para absorver a luz em grande parte do espectro fotossintético. Para os pigmentos de carotenoides e clorofilas A, B e Total, os dois experimentos apresentaram diferença significativa somente para clorofila B, uma diferença de 11,76% a mais para o experimento 02 em relação ao 01, como observado na tabela 11. Para os dois experimentos em contraste com as quantidades de adubação verde, não houve interação significativa (Apêndice B).

Tabela 11. Valores médios de pigmentos de carotenoides, clorofila A, B e total, presentes na massa foliar da rúcula.

Experimentos	Carotenoides	Clorofila A	Clorofila B	Clorofila Total
	..... mg g ⁻¹			
E1	0,20a	0,53a	0,17b	0,66a
E2	0,21a	0,52a	0,19a	0,71a

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em p<0,05.

A presença de clorofila e carotenoides afeta a qualidade nutricional da rúcula, contribuindo para sua estabilidade fitoquímica, biodisponibilidade e conteúdo de nutrientes essenciais como polifenóis, glucosinolatos e ácido ascórbico (ŠAMEC *et al.*, 2018).

Os tratamentos não apresentaram diferença significativa entre si para os pigmentos fotossintéticos (Tabela 12), demonstrando que para as condições deste estudo, os

tratamentos de adubação não demonstraram influência significativa para a concentração dos pigmentos de clorofilas A, B e total e de carotenoides em monocultivo de rúcula no semiárido brasileiro.

Tabela 12. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) para os pigmentos de carotenoides, clorofila A, B e total presentes na massa foliar de rúcula.

Tratamentos	Carotenoides	Clorofila A	Clorofila B	Clorofila Total
	..... mg g ⁻¹			
<i>Tnf</i>	0,27a	0,46a	0,15a	0,53a
<i>Tam</i>	0,19a	0,55a	0,19a	0,67a
MEF	0,21a	0,56a	0,20a	0,76a
CV (%)	23,86	17,55	13,23	22,52

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F em p<0,05.

Trabalhos com adubação orgânica que demonstraram influência significativa na concentração de pigmentos fotossintéticos em plantas de forma positiva, como os de Ahmed e Nagib (2018), Petrovic *et al.* (2020), Bileva *et al.* (2020), e Kusvuran e Ellialtioglu (2021), se utilizaram da combinação de diferentes materiais para composição mais eficiente e diversa da adubação orgânica.

No trabalho de Kusvuran e Ellialtioglu (2021) relataram que o aumento do acúmulo de clorofila por meio da aplicação de fertilizantes orgânicos pode ser o resultado dos efeitos cooperativos do consórcio, o que facilita melhor a absorção de N, P e K pelas plantas, resultando em aumento do acúmulo de clorofila.

Os carotenoides são antioxidantes poderosos e desempenham um papel importante na saúde humana, protegendo as células e tecidos dos efeitos prejudiciais dos radicais livres e do oxigênio singlete (UENOJO *et al.*, 2007). Conhecidos por serem os principais micronutrientes alimentares na dieta humana e têm um papel protetor na alimentação humana (MAIANI *et al.*, 2009). Ademais, os carotenoides afetam indiretamente o sabor como precursores de compostos aromáticos, enquanto as clorofilas contribuem para a produção de açúcar através da fotossíntese (AONO *et al.*, 2021).

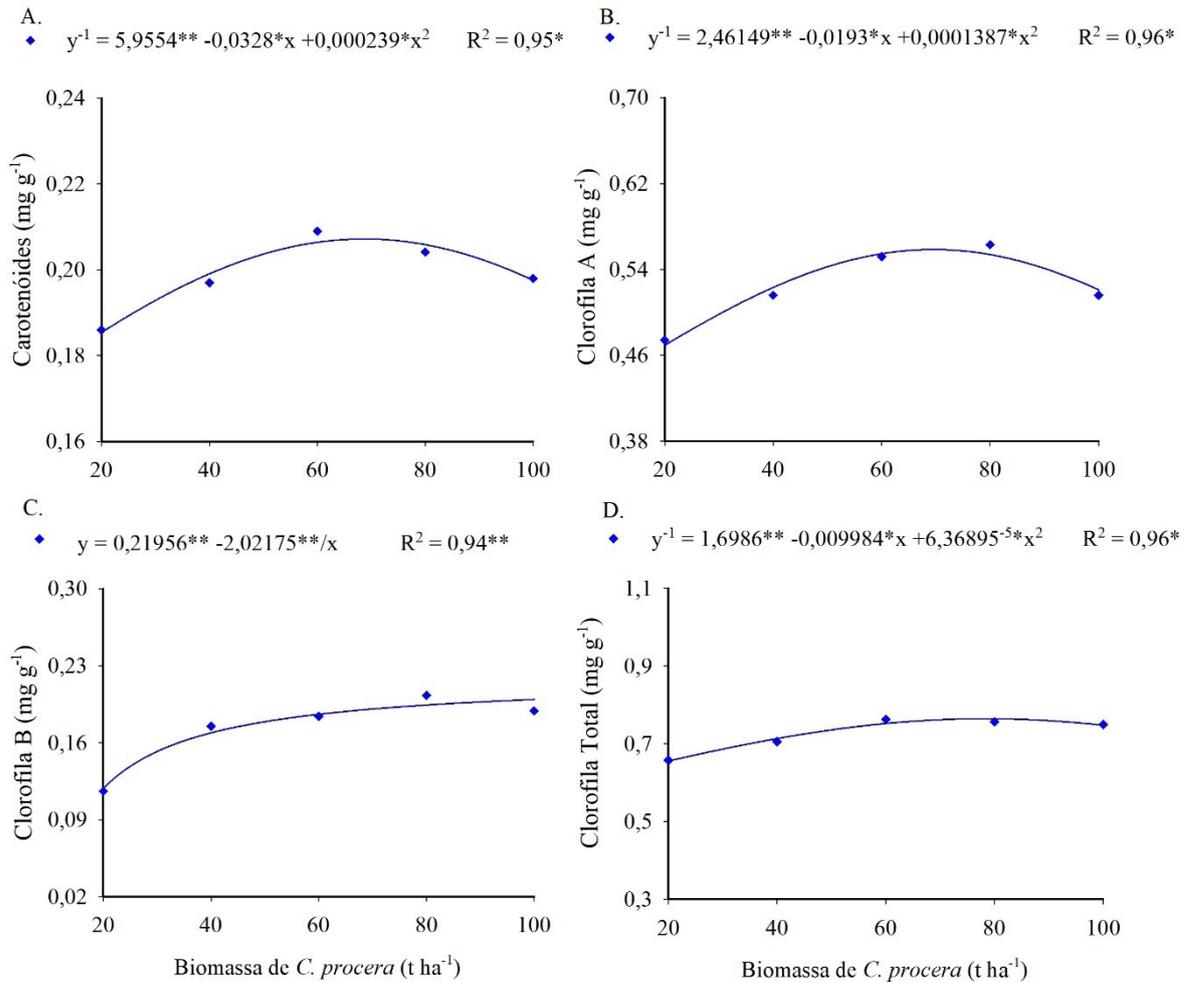


Figura 9. Teores de pigmentos de carotenoides, clorofilas A, B e total, presentes na massa foliar de rúcula em função da quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo.

Na aplicação de diferentes quantidades de biomassa de *C. procera* (Figura 9) para o cultivo de rúcula, observou-se que os pigmentos apresentaram um comportamento polinomial para carotenoides, clorofila A e total. Houve otimização de 0,21, 0,56 e 0,76 mg g⁻¹, respectivamente, nas quantidades de biomassa de 68,66, 69,54 e 78,38 t ha⁻¹ (Figuras 9A, B e D).

Quanto à concentração de clorofila B, verificou-se um aumento sutil ao longo da aplicação das diferentes quantidades de adubação verde, alcançando a concentração de 0,20 mg g⁻¹ na massa foliar da rúcula na quantidade de 100 t ha⁻¹ (Figura 9C). A biossíntese de clorofilas e carotenoides é influenciada por diversos fatores ambientais e genéticos, onde os estímulos ambientais, como muita luz, nutrição, seca, salinidade, estresse por frio e temperatura, impactam significativamente nessa biossíntese (DALAL; TRIPATHY, 2012; ZHAO *et al.*, 2020).

3.6 Antocianinas e Flavonoides amarelos totais

As antocianinas, são subgrupo de pigmentos dos flavonoides, responsáveis pela coloração de azul, roxa e vermelha de muitas frutas, flores e folhas (FANG, 2014). Eles são importantes compostos para o metabolismo secundário, bem como para o crescimento e desenvolvimento (SU *et al.*, 2022). Para as médias dos experimentos não apresentaram diferenças significativas para as variáveis de antocianinas e flavonoides amarelos totais, como observado na tabela 13. Para os dois experimentos em contraste com as quantidades de adubação verde, não houve interação significativa (Apêndice B).

Tabela 13. Valores médios de antocianinas e flavonoides amarelos totais presentes na rúcula.

Experimentos	Antocianinas	Flavonoides amarelos
	..... mg 100g ⁻¹ .....	.....
E1	6,27a	123,83a
E2	6,49a	121,06a

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em $p < 0,05$.

As antocianinas, são pigmentos responsáveis pela coloração vermelha a roxa nos frutos, importantes indicadores do amadurecimento dos frutos e influenciam significativamente a qualidade dos frutos e seus produtos derivados (LIU *et al.*, 2021). Da mesma forma, os flavonoides, incluindo as antocianinas, foram identificados como fatores influentes na discriminação entre variedades de rúcula com base em características sensoriais e nutricionais (NASSAR *et al.*, 2015).

Para os tratamentos controle, adubação mineral e a adubação verde, foi observado diferença significativa para as características de antocianinas e flavonoides amarelos totais. Em que a adubação verde se diferenciou da adubação mineral e do controle para as concentrações de antocianinas, onde apresentou valores de concentração (Tabela 14) 31,45 e 7,63% maiores respectivamente que a adubação mineral e o controle para antocianinas, apresentando resultados da adubação como melhor tratamento para a concentração de pigmentos de antocianinas para a rúcula. As antocianinas têm sido sugeridas como compostos dietéticos promissores, com um papel importante na saúde humana (SHIPP; ABDEL-AAL, 2010)

Para a concentração de flavonoides amarelos, os três tratamentos se diferenciaram significativamente entre si, onde a adubação verde apresentou resultados (Tabela 14) 99,42 e 9,78% maiores que a adubação mineral e o controle respectivamente. Evidenciando, a adubação verde como melhor tratamento para concentração de flavonoides amarelos totais na rúcula. Os

flavonoides têm sido associados a vários benefícios para a saúde, incluindo saúde cardiovascular, efeitos neuroprotetores e potenciais ações antidiabéticas (PRASAIN *et al.*, 2010; PASCUAL-TERESA *et al.*, 2010; BABU *et al.*, 2013). Sendo assim, os flavonoides são componentes essenciais que contribuem para a qualidade nutricional das folhas de rúcula, e a adubação verde promove seu acúmulo, enriquecendo nutricionalmente as plantas de rúcula.

Tabela 14. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) para antocianinas e flavonoides amarelos totais na rúcula.

Tratamentos	Antocianinas	Flavonoides amarelos
	..... mg 100g ⁻¹	
<i>Tnf</i>	6,29b	130,46b
<i>Tam</i>	5,15b	71,82c
MEF	6,77a	143,22a
CV (%)	13,94	7,91

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F em $p < 0,05$.

Ao longo do aumento das quantidades de adubação verde aplicadas, foi observado um comportamento polinomial crescente para a concentração de antocianinas (Figura 10A) na rúcula. A análise revelou uma otimização para a concentração de antocianinas na quantidade de 78,23 t ha⁻¹, alcançando 6,77 mg 100g⁻¹ na massa verde da rúcula. Por outro lado, a concentração de flavonoides amarelos (Figura 10B) apresentou um comportamento decrescente contínuo ao longo das diferentes quantidades de adubação verde. Na quantidade de 20 t ha⁻¹, a concentração de flavonoides amarelos atingiu seu máximo valor, registrando 143,22 mg 100g⁻¹, enquanto na quantidade de 100 t ha⁻¹, observou-se sua menor concentração, atingindo 113,81 mg 100g⁻¹. A observação dessa relação antagônica entre as concentrações de antocianinas e flavonoides amarelos é esclarecida pela síntese das antocianinas na via dos flavonoides, onde compartilham intermediários metabólicos com as proantocianidinas, estas últimas são também biossintetizadas por vias metabolicamente afins dos flavonoides (ABEYNAYAKE *et al.*, 2011).

A síntese de antocianinas está intrinsecamente ligada ao metabolismo dos flavonoides, e a utilização de uma maior variedade de substratos na via de síntese de antocianinas influencia os fluxos metabólicos dos flavonoides (YAO *et al.*, 2019). Ademais, estudos revelaram que o metabolismo das antocianinas compartilha muitas semelhanças com o metabolismo dos flavonoides, evidenciando uma estreita interconexão entre ambos os processos (FELGINES *et*

al., 2005). Portanto, à medida que se aumenta a aplicação de adubação verde, observa-se um incremento na biossíntese de antocianinas, juntamente com uma redução na concentração de flavonoides nas plantas de rúcula (Figura 10).

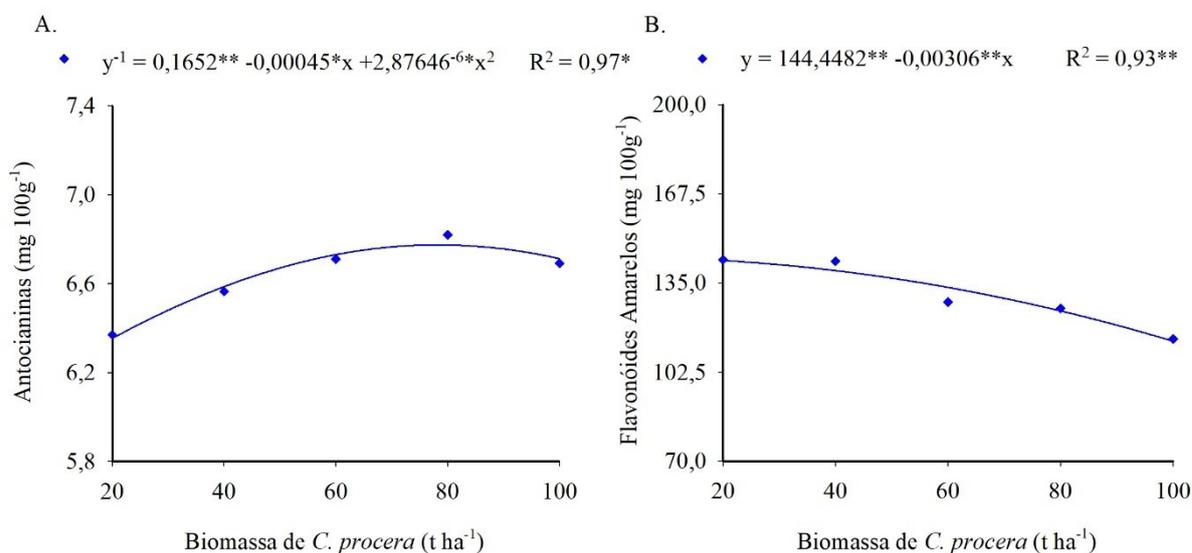


Figura 10. Teores de antocianinas (A) e flavonoides amarelos totais (B) presentes na rúcula em função das quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo.

3.7 Vitamina C e Polifenóis extraíveis totais

A presença da vitamina C e dos polifenóis se mostra essencial para a manutenção da qualidade nutricional da rúcula como alimento, uma vez que contribuem significativamente para sua capacidade antioxidante e desempenham o papel de fitoquímicos promotores da saúde em geral (NASSAR *et al.*, 2015; FLORES-CÓRDOVA *et al.*, 2017; HE *et al.*, 2022). Os polifenóis são um grupo de fitoquímico encontrado na rúcula, que também contém carotenoides e glucosinolatos (SCHMIDT; ZINKERNAGEL, 2021; GARCÍA-GURROLA *et al.*, 2021).

Tabela 15. Valores médios de vitamina C e polifenóis extraíveis totais (PET), presentes na rúcula.

Experimentos	Vitamina C (mg 100g ⁻¹)	PET (μg 100 mg ⁻¹)
E1	174,08a	294,30a
E2	181,81a	301,57a

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em $p < 0,05$.

As médias dos experimentos não apresentaram diferenças significativas para as variáveis de vitamina C e polifenóis extraíveis totais (PET), como observado na tabela 15. Para

essas características, quando observado os dois experimentos em contraste com as diferentes quantidades de adubação verde, não houve interação significativa (Apêndice B).

Para os tratamentos controle, adubação mineral e a adubação verde, foi observado diferença significativa para as variáveis de vitamina C e polifenóis extraíveis totais (PET). Em que a adubação verde se diferenciou da adubação mineral e do controle para as concentrações de PET, onde apresentou valores de concentração 99,74 e 2,14% maiores que a adubação mineral e o tratamento controle (Tabela 16).

Tabela 16. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) para a vitamina C e polifenóis extraíveis totais (PET) na rúcula.

Tratamentos	Vitamina C (mg 100g ⁻¹)	PET (µg 100 mg ⁻¹)
<i>Tnf</i>	116,47c	351,66b
<i>Tam</i>	159,68b	179,83c
MEF	214,38a	359,20a
CV (%)	9,16	13,02

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F em $p < 0,05$.

Os resultados (Tabela 16) demonstram que a adubação verde é uma prática promotora da qualidade de compostos polifenólicos em rúcula. Os polifenóis extraíveis totais são um componente essencial da rúcula, contribuindo para a sua qualidade nutricional e potenciais benefícios para a saúde. Estes polifenóis são importantes devido as seus potenciais propriedades promotoras da saúde, tais como efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios (GARCÍA-GURROLA *et al.*, 2021).

Para as concentrações de vitamina C, os três tratamentos se diferenciam significativamente entre si, onde a adubação verde apresentou resultados os melhores resultados, que foram 34,26 e 84,06% maiores que a adubação mineral e o controle respectivamente, como observado na tabela 16. A vitamina C (ácido ascórbico), é um nutriente essencial para o ser humano, pois não pode ser sintetizada endogenamente e deve ser obtida através da alimentação (CARR *et al.*, 2012), e desempenha um importante papel em várias funções fisiológicas, incluindo saúde da pele, síntese de colágeno, proteção antioxidante e prevenção de cicatrizes (PULLAR *et al.*, 2017; VIVCHARENKO *et al.*, 2021).

Para as diferentes quantidades de adubação verde, observou que ao longo do aumento da quantidade de biomassa de *C. procera* aplicada ao solo, um comportamento polinomial

crecente para vitamina C (Figura 11A), e um comportamento decrescente para polifenóis extraíveis totais (Figura 11B). Em que, o comportamento de regressão da vitamina C seguiu a mesma tendência de comportamento da acidez titulável (Figura 7B), o ácido ascórbico (vitamina C) demonstrou sua estreita relação paralela de concentração com os demais ácidos orgânicos (acidez titulável), e apresentou na quantidade de 100 t ha⁻¹ valor de concentração de 214,38 mg 100g⁻¹ de vitamina C na massa verde da rúcula.

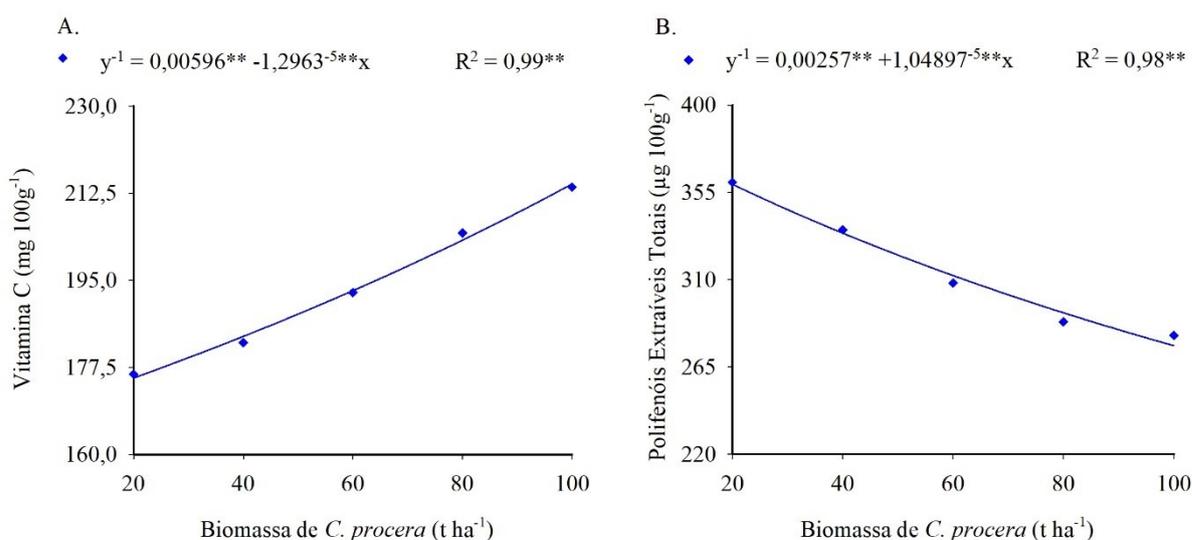


Figura 11. Teores de vitamina C (A) e polifenóis extraíveis totais (B) na rúcula em função das quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo.

O aumento da adubação verde, demonstrou-se como um fator de enriquecimento dos teores de ácidos orgânicos na rúcula, em especial o ácido ascórbico (vitamina C), que tem sido estudado as suas diferentes propriedades benéficas à saúde humana, como os efeitos imunomoduladores, afetando as respostas imunológicas e inibindo a ativação das células T (HONG *et al.*, 2016), aumentando a capacidade de resposta da IL-2 nas células T reguladoras, afetando assim a diferenciação celular e a epigenética (YUE *et al.*, 2021), seu uso no manejo de quadros inflamatórios induzidos por infecções bacterianas (MEDEIROS *et al.*, 2021), sua atuação como um filtro solar fisiológico, protegendo o olho dos danos oxidativos induzidos pelos UV (EMMA-OKON *et al.*, 2021), e seu papel potencial na terapia do cancro, com estudos que exploram os seus efeitos citotóxicos seletivos nas células cancerígenas (LI, 2016).

Enquanto, que PET apresentaram um comportamento decrescente contínuo similar ao comportamento de flavonoides amarelos (Figura 10B), e na quantidade 20 e 100 t ha⁻¹ apresentou os respectivos valores de 359,20 e 276,07 µg 100 mg⁻¹ para sua maior e menor concentração observada. Esse comportamento do PET (Figura 11B) e dos flavonoides (Figura

10B) de redução, é uma resposta a redução do stress nutricional (abiótico), que quando acontece com os vegetais, aumentam a síntese de polifenóis, como ácidos fenólicos e flavonoides, para lidar com as restrições ambientais (SHARMA *et al.*, 2019).

3.8 Atividade antioxidante total pelo DPPH

A média dos experimentos para a atividade antioxidante total pelo método do DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), não apresentaram valores com diferenças significativas para os dois experimentos (Tabela 17). Essa atividade eliminadora de radicais DPPH é influenciada pela presença de vitamina C e compostos fenólicos em frutas e vegetais, enfatizando ainda mais a sua importância na avaliação do potencial antioxidante de alimentos (ALAM *et al.*, 2023). Para os dois experimentos em contraste com as quantidades de adubação verde, não houve interação significativa (Apêndice C).

Tabela 17. Média para a porcentagem de inibição do DPPH (PI_{DPPH}) e concentração eficaz que inibe 50% do DPPH (CE_{50}) para folhas frescas de rúcula.

Experimentos	PI_{DPPH} (%)	CE_{50} (g/folha g_{DPPH}^{-1})
E1	61,52a	1.824,07a
E2	61,64a	1.707,98a

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em $p < 0,05$.

A porcentagem de inibição do DPPH refere-se à capacidade de uma substância neutralizar o radical livre estável DPPH, enquanto que CE_{50} representa a concentração da substância necessária para inibir 50% da atividade do DPPH. A porcentagem de inibição do DPPH mede diretamente a extensão da atividade de eliminação de radicais de um composto numa concentração específica, enquanto o CE_{50} proporciona uma medida quantitativa da potência do composto na inibição do DPPH, e embora a porcentagem de inibição do DPPH proporcione uma compreensão imediata da capacidade de eliminação de radicais de um composto, o valor CE_{50} permite a comparação das atividades antioxidantes entre diferentes compostos e concentrações (MISHRA *et al.*, 2012; OLIVEIRA, 2015; MARTINEZ-MORALES *et al.*, 2020). Portanto, neste trabalho optou por ambos os parâmetros para avaliação da eficácia da adubação verde em aprimorar a rúcula como alimento antioxidante.

O ensaio pelo método do radical livre DPPH é amplamente difundido na avaliação da capacidade antioxidante de diversas matrizes alimentares e bebidas, emergindo como uma

ferramenta de inestimável valor na análise do potencial antioxidante de produtos alimentícios (ROMANET *et al.*, 2019). Esta metodologia destaca-se pela estabilidade do radical DPPH, que é comumente empregado na avaliação da atividade antioxidante de extratos vegetais (ALUÇ, 2022). A determinação da atividade de eliminação de radicais DPPH é reconhecida internacionalmente como um ensaio vital na investigação da atividade antioxidante, evidenciando-se uma correlação significativa entre o conteúdo fenólico e a capacidade de eliminação de radicais livres por meio deste ensaio (AL-KURAIIEF; ALSHAWI, 2020).

Para os tratamentos de controle, adubação mineral e a adubação verde, na porcentagem de inibição do DPPH, os três tratamentos se diferenciam significativamente entre si (Tabela 18). Para a concentração eficaz de inibição de 50% de DPPH (CE₅₀), a adubação verde diferenciou significativamente dos tratamentos controle e adubação mineral. Para essa característica do CE₅₀ se avalia o desempenho pela menor quantidade apresentada, ou seja, quanto menor o valor de grama, menos quantidade de massa verde é necessária para inibir o radical DPPH. A adubação verde, para a porcentagem de inibição, se diferenciou em 24,85 e 35,61 pontos percentuais, respectivamente dos tratamentos controle e adubação mineral. Para a característica do CE₅₀, o tratamento controle e a adubação mineral se diferenciam da adubação verde em 88,84 e 93,55% respectivamente (Tabela 18).

Tabela 18. Valores médios do tratamento controle (Tnf), do tratamento com adubo mineral (Tam) e do tratamento de máxima eficiência (MEF) para a porcentagem de inibição do DPPH (PI_{DPPH}) e concentração eficaz que inibe 50% do DPPH (CE₅₀) na rúcula.

Tratamento	PI _{DPPH} (%)	CE ₅₀ (g _{folha} g _{DPPH} ⁻¹)
Tnf	47,09b	2.524,2b
Tam	36,33c	2.587,2b
MEF	71,94a	1.336,7a
CV (%)	10,73	22,90

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F em p<0,05.

Para ambos parâmetros de atividade redox do radical DPPH, a adubação verde se demonstrou como melhor tratamento para o enriquecimento da capacidade antioxidante da rúcula, confirmando que a presença dos compostos bioativos de antocianinas, flavonoides amarelos, vitamina C e polifenóis estudados na atividade antioxidante pelo DPPH. Esses parâmetros são indicativos da capacidade antioxidante dos alimentos, essencial para proteger o organismo contra o estresse oxidativo e doenças relacionadas (PRIOR *et al.*, 2005). E o ensaio

redox do DPPH é um método amplamente utilizado para determinar a capacidade antioxidante de alimentos e suplementos dietéticos (PRIOR *et al.*, 2005).

Para o comportamento das diferentes quantidades de adubação verde incorporadas ao solo (Figura 12), observa a formação de parábola (polinomial) para a porcentagem de inibição do DPPH (PI_{DPPH}) e para a concentração eficaz que inibe 50% do DPPH (CE_{50}), onde os melhores desempenhos expressos nos valores de 71,94% e 1.336,7 ($g_{folha} g_{DPPH}^{-1}$), foram observados nas respectivas quantidades de 81,07 e 80,04 t ha^{-1} de biomassa de *C. procera* (Figura 12). Nesse caso, é demonstrado uma relação paralela de ambos parâmetros em resposta ao aumento das quantidades de adubação verde na rúcula.

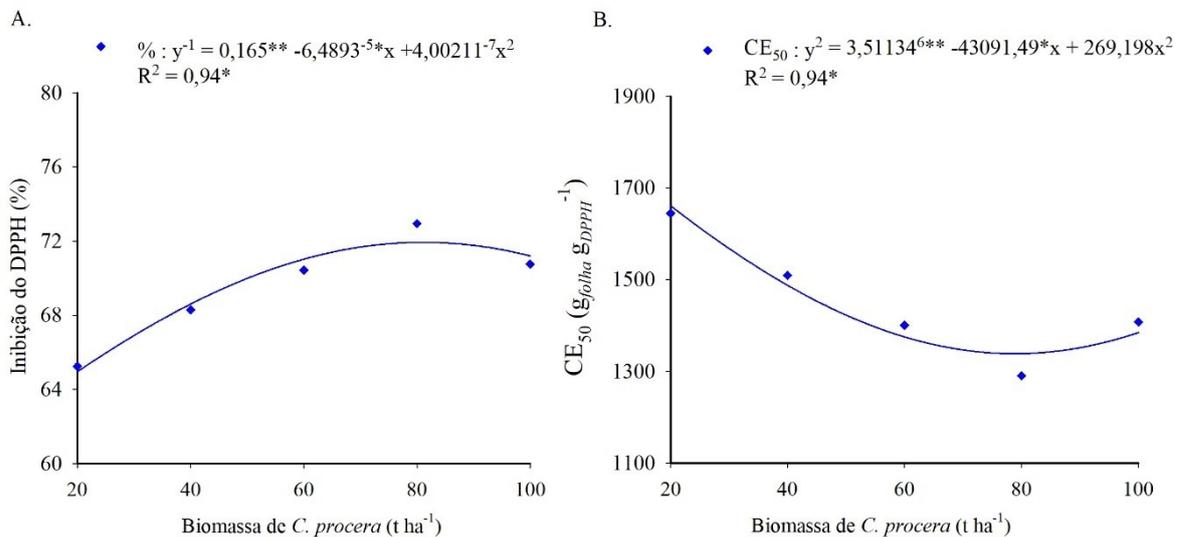


Figura 12. Valores de porcentagem de inibição do DPPH (A) e da concentração eficaz que inibe 50% do DPPH (B) em folhas frescas de rúcula em função das quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo.

Esse comportamento (Figura 12) acompanha os comportamentos de concentrações dos compostos de carotenoides (Figura 9A), de antocianinas (Figura 10A), e de vitamina C (Figura 11A). As antocianinas foram identificadas como contribuintes significativos para atividades antioxidantes, conforme evidenciado pela sua capacidade de capturar radicais DPPH (LIU *et al.*, 2022). Os carotenoides também têm sido associados a atividades antioxidantes, conforme demonstrado pelas correlações positivas significativas entre o conteúdo total de carotenoides e as atividades antioxidantes medidas por ensaios DPPH (PARK *et al.*, 2018). Gil *et al.* (2002) destaca que as contribuições dos compostos fenólicos para a atividade antioxidante eram muito maiores do que as da vitamina C e dos carotenoides.

Da mesma forma, indica-se que a vitamina C não é o principal antioxidante, e os polifenóis são os principais responsáveis pela atividade de eliminação do radical DPPH (CI *et*

al., 2017). Por outro lado, foi demonstrado que a atividade antioxidante do extrato de casca de rizoma de *Fallopia japonica* estava na faixa da atividade antioxidante do ácido ascórbico (vitamina C) (NAUMOSKA *et al.*, 2022). Também é destacado que a vitamina C exibiu alta atividade antioxidante com valores de CE_{50} comparáveis às capacidades dos controles positivos no ensaio radical DPPH (EL-FAYOUMY *et al.*, 2021). Estes resultados sugerem que em certos extratos vegetais, a vitamina C desempenha um papel significativo na atividade antioxidante, como evidenciado pelo seu desempenho comparável aos antioxidantes conhecidos em ensaios redox do DPPH.

Esse comportamento (Figura 12) acompanha o padrão respostas nas variações das concentrações dos minerais Mg e Cu e dos compostos antioxidantes carotenoides, antocianinas e vitamina C. Estudos anteriores identificaram as antocianinas e os carotenoides como contribuintes significativos para as atividades antioxidantes, enquanto os polifenóis foram destacados como os principais responsáveis pela atividade de eliminação do radical DPPH. Embora a vitamina C não seja o principal antioxidante em alguns contextos, em certos extratos vegetais, ela desempenha um papel significativo na atividade antioxidante, demonstrando desempenho comparável a antioxidantes conhecidos em ensaios redox do DPPH. Sendo assim, esses resultados destacam a complexidade das interações entre diferentes compostos antioxidantes presentes nos extratos vegetais dos tratamentos, e sugerem que a eficácia antioxidante da rúcula pode depender da quantidade de adubação verde incorporada ao solo.

Os resultados evidenciam que a qualidade nutricional da rúcula é significativamente influenciada pela adubação verde com biomassa de *C. procera* em base seca, sob diferentes quantidades incorporadas de biomassa nas condições ambientais do semiárido brasileiro. Portanto, recomenda-se a prática de adubação verde para a cultura da rúcula por horticultores da região nordeste, uma vez que apresenta caráter de sustentabilidade e segurança alimentar na agricultura orgânica, desempenhando papel crucial na determinação do conteúdo mineral e de compostos bioativos da rúcula, capacidade antioxidante do radical livre DPPH e, em última análise, na sua qualidade nutricional.

4 CONCLUSÕES

A adubação verde com biomassa de *C. procera* influenciou positivamente na qualidade nutricional da rúcula cultivada no semiárido.

As maiores concentrações dos minerais Ca, Zn, Fe e B na rúcula foram observadas na quantidade de 100 t ha⁻¹ da adubação verde, enquanto para Mg e Cu foram nas quantidades de 85,76 e 83,21 t ha⁻¹, respectivamente.

A tonalidade verde (ângulo hue) das folhas e a concentração dos compostos bioativos como antocianinas, flavonoides, vitamina C e polifenóis, aumentaram com o uso de adubação verde incorporada ao solo. A atividade antioxidante, medida pela porcentagem de inibição e CE₅₀ pelo DPPH, foi maximizada na quantidade de 81,07 e 80,04 t ha⁻¹ de adubação verde.

REFERÊNCIAS

- ABEYNAYAKE, S. W. *et al.* Biosynthesis of Proanthocyanidins in White Clover Flowers: cross talk within the flavonoid pathway. **Plant Physiology**, [S.L.], v. 158, n. 2, p. 666-678, 13 dez. 2011. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1104/pp.111.189258>.
- ADAMCZYK, B. How do terrestrial plants access high molecular mass organic nitrogen, and why does it matter for soil organic matter stabilization? **Plant and Soil**, [S.L.], v. 465, n. 1-2, p. 583-592, 10 jun. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-021-05022-8>.
- AHMED, D. Determination of the effects of eruca sativa oil, sodium carbonate, lavender oil and aloe vera oil on lipid profile and breast tumour markers in breast cancer-induced doxorubicin treated female albino rats. **Annual Research & Review in Biology**, p. 1-14, 2020. <https://doi.org/10.9734/arrb/2019/v34i430157>
- AHMED, M.; NAGIB, M. Improved Productivity of Superior Seedless Grapevines Using Irradiated Compost and Bio-Fertilization in the Desert Land. **Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications**, [S.L.], v. 51, n. 3, p. 94-103, 1 jul. 2018. Egypts Presidential Specialized Council for Education and Scientific Research. <http://dx.doi.org/10.21608/ajnsa.2017.2230.1019>.
- ALAM, A. *et al.* Effect of Ultrasound and Thermal Pasteurization on Physicochemical Properties and Antioxidant Activity of Juice Extracted from Ripe and Overripe Pineapple. **Food and Nutrition Sciences**, [S.L.], v. 14, n. 04, p. 300-314, 2023. Scientific Research Publishing, Inc. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2023.144020>.
- AL-KURAIIEEF, A. N.; ALSHAWI, A. H. The effect of gamma irradiation on the essential oils and antioxidants in dried thyme. **International Journal of Food Studies**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 203-212, 13 abr. 2020. ISEKI Food Association. <http://dx.doi.org/10.7455/ijfs/9.1.2020.a6>.
- AL-TAEY, D. K. A.; ALMUSAWI, Z. J. M. Effect of nano-fertilizers, salicylic acid, and organic matter in growth and yield of rocket (*Eruca sativa* Mill) under Salt stress. **International Journal of Botany Studies**, Deli, v. 4, n. 3, p. 77-81, maio 2019.
- ALARAIIDH, I. *et al.* Evaluation of green synthesis of ag nanoparticles using eruca sativa and spinacia oleracea leaf extracts and their antimicrobial activity. **Iranian Journal of Biotechnology**, 12(1). p. e12392, 2014. <https://doi.org/10.5812/ijb.12392>
- ALUÇ, Y. *et al.* Carotenoid Composition and Investigation of the Antioxidant Activity of Phormidium sp. **Marine Science and Technology Bulletin**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 212-220, 24 jun. 2022. Marine Science and Technology Bulletin. <http://dx.doi.org/10.33714/masteb.1106896>.
- AMAGAI, Y. *et al.* External green light as a new tool to change colors and nutritional components of inner leaves of head cabbages. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 269-280, 13 set. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11694-021-01150-y>.

AMARAL, L. S.; ARAUJO, E. O. **Biocontrole de fitonematóides: atualidades e perspectivas**. São Paulo: Editora Dialética, 2021. 264 p.

AONO, Y. *et al.* High-Throughput Chlorophyll and Carotenoid Profiling Reveals Positive Associations with Sugar and Apocarotenoid Volatile Content in Fruits of Tomato Varieties in Modern and Wild Accessions. **Metabolites**, [S.L.], v. 11, n. 6, p. 398, 18 jun. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/metabo11060398>.

AZARENKO, O. *et al.* Erucin, the Major Isothiocyanate in Arugula (*Eruca sativa*), Inhibits Proliferation of MCF7 Tumor Cells by Suppressing Microtubule Dynamics. **Plos One**, [S.L.], v. 9, n. 6, p. e100599, 20 jun. 2014. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0100599>.

BABU, P. V. A. *et al.* Recent advances in understanding the anti-diabetic actions of dietary flavonoids. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, [S.L.], v. 24, n. 11, p. 1777-1789, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnutbio.2013.06.003>.

BELL, L. *et al.* The *Eruca sativa* Genome and Transcriptome: a targeted analysis of sulfur metabolism and glucosinolate biosynthesis pre and postharvest. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 11, p. 1-26, 27 out. 2020. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2020.525102>.

BELL, L.; WAGSTAFF, C. Glucosinolates, Myrosinase Hydrolysis Products, and Flavonols Found in Rocket (*Eruca sativa* and *Diplotaxis tenuifolia*). **Journal Of Agricultural and Food Chemistry**, [S.L.], v. 62, n. 20, p. 4481-4492, 8 maio 2014. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf501096x>.

BERTOL, I.; MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. (ed.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Lavras: SBCS, 2019. 1355 p.

BILEVA, T. *et al.* Influence of Organic Fertilization on Nutritional Characteristics and Antioxidant Capacity of Melon Fruits. **Bulletin UASVM Food Science and Technology**, [S.L.], v. 77, n. 2, p. 17, 18 nov. 2020. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. <http://dx.doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:2020.0013>.

BOZOKALFA, M.K. *et al.* Genetic variability for mineral concentration of *Eruca sativa* L. and *Diplotaxis tenuifolia* L. accessions. **Cropp Breeding and Applied Biotechnology**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 372-381, 31 dez. 2009. Byte Systems - Soluções Digitais. <http://dx.doi.org/10.12702/1984-7033.v09n04a12>.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensm. Wiss. Technol.**, 22, 25-30, 1995.

CANTARELLA, H. *et al.* (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 3. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 2022. 500 p. Boletim, n.º 100.

CANUTO, G. A. B. *et al.* Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 1196-1205, 26 nov. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452010005000122>.

- CARDOSO, A. I. I. *et al.* Alterações em propriedades do solo adubado com composto orgânico e efeito na qualidade das sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 594-599, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362011000400025>.
- CARR, A. C. *et al.* Bioavailability of vitamin C from kiwifruit in non-smoking males: determination of 'healthy' and 'optimal' intakes. **Journal of Nutritional Science**, [S.L.], v. 1, e14, out. 2012. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/jns.2012.15>.
- CARUSO, G. *et al.* Shading Affects Yield, Elemental Composition and Antioxidants of Perennial Wall Rocket Crops Grown from Spring to Summer in Southern Italy. **Plants**, [S.L.], v. 9, n. 8, p. 933, 23 jul. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/plants9080933>.
- CI, Z. *et al.* DPPH Radical Scavenging Activity and Polyphenols in the Pods of 3 Common Beans. **Journal Of Food and Nutrition Research**, [S.L.], v. 5, n. 12, p. 900-907, 21 nov. 2017. Science and Education Publishing Co., Ltd. <http://dx.doi.org/10.12691/jfnr-5-12-4>.
- CUNHA, F. F. *et al.* Irrigação de diferentes cultivares de rúcula no nordeste do Mato Grosso do Sul. **Water Resources And Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 2, n. 3, p. 131-141, 20 dez. 2013.
- DALAL, V. K.; TRIPATHY, B. C. Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis*. **Plant, Cell & Environment**, [S.L.], v. 35, n. 9, p. 1685-1703, 17 maio 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02520.x>.
- DE KOK, L. J. *et al* (ed.). **Molecular Physiology and Ecophysiology of Sulfur**. Switzerland: Springer Cham, 2015. 265 p. (Proceedings of the International Plant Sulfur Workshop). doi.org/10.1007/978-3-319-20137-5.
- EL-FAYOUMY, E. A. *et al.* Evaluation of antioxidant and anticancer activity of crude extract and different fractions of *Chlorella vulgaris* axenic culture grown under various concentrations of copper ions. **Bmc Complementary Medicine and Therapies**, [S.L.], v. 21, n. 1, 51, 5 fev. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12906-020-03194-x>.
- EL-NWEHY, S. S. *et al.* Improvement of (*Eruca sativa* Mill) yield, oil, chemical constituents and antioxidant activity utilizing a by-product of yeast production (CMS) with zinc and boron under salinity stress conditions. **Oil Crop Science**, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 218-227, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocsci.2023.09.007>.
- EL-WAKEEL, M. A. *et al.* Allelopathic efficiency of *Eruca sativa* in controlling two weeds associated with *Pisum sativum* plants. **Journal Of Plant Protection Research**, [S.L.], v. 59, n. 2, p. 170-176, 26 jul. 2023. Polish Academy of Sciences Chancellery. <http://dx.doi.org/10.24425/jppr.2019.129283>.
- EMMA-OKON, B. O. *et al.* Crystalline Lens Vitamin C Levels in Cataract Surgical Patients. **Open Journal of Ophthalmology**, [S.L.], v. 11, n. 02, p. 134-142, 2021. Scientific Research Publishing, Inc. <http://dx.doi.org/10.4236/ojoph.2021.112010>.

- FAGERIA, N.K. **The use of nutrients in crop plants**. Boca Raton: CRC Press, 2009. 430 p. Taylor & Francis Group.
- FANG, J. Bioavailability of anthocyanins. **Drug Metabolism Reviews**, [S.L.], v. 46, n. 4, p. 508-520, 27 out. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.3109/03602532.2014.978080>.
- FAO/WHO. Codex Alimentarius Commission. **ITEM 8 OF THE PROVISIONAL AGENDA: ORGANIC AGRICULTURE**. Fifteenth Session ed. Rome: Committee on Agriculture, 1999. <https://www.fao.org/3/X0075e/X0075e.htm>.
- FELGINES, C. *et al.* Blackberry Anthocyanins Are Mainly Recovered from Urine as Methylated and Glucuronidated Conjugates in Humans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S.L.], v. 53, n. 20, p. 7721-7727, 10 set. 2005. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf051092k>.
- FERREIRA, R. C. *et al.* Biomass use of *merremia aegyptia* and *calotropis procera* in coriander cultivation in semiarid environment. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 595-605, set. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252022v35n310rc>.
- FLORES-CÓRDOVA, M. A. *et al.* Efecto del jugo de brócoli y cambios químicos en la inhibición de *Alternaria* en arúgula mínimamente procesada. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, [S.L.], v. 6, n. 6, p. 1163-1176, 24 nov. 2017. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v6i6.564>.
- FLOSS, E. L. **Fisiologia das Plantas Cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê o estudo do que está por trás do que se vê**. 5. ed. Passo Fundo: UPF, 2011. 733 p.
- FOLIN, C.; CIOCALTEAU, V. Tyrosine and tryptophan determination in proteins. **J. Biol. Chem.** v. 73, p. 627- 650, 1927.
- FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (ed.). **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p.181-207.
- FREITAS, K. K. C. *et al.* Desempenho agrônômico de rúcula sob diferentes espaçamentos e épocas de plantio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 449-454, 2009.
- GARCÍA-GURROLA, A. *et al.* Succinylated Starch Nanocapsules Loaded with the Polyphenolic Extract from Arugula (*Eruca sativa*) Leaves: colloidal, chemical, and structural properties. **Starch - Stärke**, [S.L.], v. 73, n. 11-12, 2100059, 13 set. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/star.202100059>.
- GIL, M. I. *et al.* Antioxidant Capacities, Phenolic Compounds, Carotenoids, and Vitamin C Contents of Nectarine, Peach, and Plum Cultivars from California. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S.L.], v. 50, n. 17, p. 4976-4982, 17 jul. 2002. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf020136b>.
- GRANGEIRO, L. C. *et al.* Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 11-16, 31 mar. 2011. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i1a634>.

HAYHOE, R. P. *et al.* Dietary magnesium and potassium intakes and circulating magnesium are associated with heel bone ultrasound attenuation and osteoporotic fracture risk in the EPIC-Norfolk cohort study. **The American Journal of Clinical Nutrition**, [S.L.], v. 102, n. 2, p. 376-384, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.3945/ajcn.114.102723>

HE, J. *et al.* Root-Zone Heat Priming Effects on Maximum Quantum Efficiency of PSII, Productivity, Root Morphology and Nutritional Quality of Two Aeroponically Grown Leafy Greens in a Tropical Greenhouse. **Plants**, [S.L.], v. 11, n. 13, p. 1684, 25 jun. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/plants11131684>.

HONG, J. M. *et al.* Vitamin C is taken up by human T cells via sodium-dependent vitamin C transporter 2 (SVCT2) and exerts inhibitory effects on the activation of these cells *in vitro*. **Anatomy & Cell Biology**, [S.L.], v. 49, n. 2, p. 88, 2016. Korean Association of Anatomists. <http://dx.doi.org/10.5115/acb.2016.49.2.88>.

HUANG, H. P. *et al.* Unique hue judgments using saturated and desaturated Munsell samples under different light sources. **Color Research & Application**, [S.L.], v. 44, n. 3, p. 419-425, 20 dez. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/col.22340>.

HURTADO-BARROSO, S. *et al.* Organic food and the impact on human health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [S.L.], v. 59, n. 4, p. 704-714, 30 nov. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2017.1394815>.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. Secretaria de Estado da Saúde. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4. ed. São Paulo: Núcleo de Informação e Tecnologia - NIT/IAL, 2008. 1020 p. 1ª Edição Digital.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agropecuária: produção de rúcula**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em: 01 fev. 2024.

IPNI. International Plant Nutrition Institute. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177 p. Tradução de Alfredo Scheid Lopes.

ITILE, R. A.; KABELKA, E. A. Correlation Between L*a*b* Color Space Values and Carotenoid Content in Pumpkins and Squash (*Cucurbita* spp.). **HortScience**, [S.L.], v. 44, n. 3, p. 633-637, jun. 2009. American Society for Horticultural Science. <http://dx.doi.org/10.21273/hortsci.44.3.633>.

JAYARA, A. S. *et al.* Micronutrients: role in plants, their spatial deficiency and management in indian soils. **Agricultural Reviews**, [S.L.], v. 44, n. 2, p. 199-206, jun. 2023. Agricultural Research Communication Center. <http://dx.doi.org/10.18805/ag.r-2162>.

KATHI, S. *et al.* Increasing vitamin C through agronomic biofortification of arugula microgreens. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 12, n. 1, 13093, 30 jul. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-17030-4>.

KULKARNI, A. P. *et al.* Chemical Composition and Antioxidant Activity of Sapota (*Achras sapota* Linn.) Fruit. **Journal of Food Biochemistry**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 399-414, jun. 2007. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4514.2007.00122.x>.

KUSVURAN, S.; ELLIALTIOGLU, S. S. Assessment of Different Organic Matters on Antioxidative Enzyme Activities and Nutritional Components Under Salt Stress in Salad Rocket (*Eruca Sativa*). **The Journal of Animal and Plant Sciences**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1319-1328, 21 jan. 2021. Pakistan Agricultural Scientists Forum. <http://dx.doi.org/10.36899/japs.2021.5.0333>.

LABIMC. Laboratório de Instrumentação Meteorologia e Climatologia. **Estação Meteorológica Automática (EMA)**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), 2023. Disponível em: <<https://siemu.ufersa.edu.br/>>. Acesso em: 19 de abril de 2023.

LANA, M. M.; TAVARES, S. A. (Ed.). **50 Hortaliças: como comprar, conservar e consumir**. 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 209 p.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 1390-1393. 1997.

LEWALLEN, K. S.; MARINI, R. P. Relationship between Flesh Firmness and Ground Color in Peach as Influenced by Light and Canopy Position. **Journal of The American Society for Horticultural Science**, [S.L.], v. 128, n. 2, p. 163-170, mar. 2003. American Society for Horticultural Science. <http://dx.doi.org/10.21273/jashs.128.2.0163>.

LI, Y. R. Vitamin C, a Multi-Tasking Molecule, Finds a Molecular Target in Killing Cancer Cells. **Reactive Oxygen Species**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 141-156, fev. 2016. American Innovative Medical Sciences and Technologies (AIMSCI) Inc. <http://dx.doi.org/10.20455/ros.2016.829>.

LICHTENTHALER, H. K.; WELLBURN, A. R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 591-592, 1 out. 1983. Portland Press Ltd. <http://dx.doi.org/10.1042/bst0110591>.

LICHTFOUSE, E. (ed.). **Organic Fertilisation, Soil Quality and Human Health**. 9. ed. New York - London: Springer Dordrecht, 2012. 354 p. (1). Sustainable Agriculture Reviews.

LIND, L. *et al.* Fasting insulin, calcium metabolism and the electrocardiogram in hypertensive subjects. **Journal of Internal Medicine**, [S.L.], v. 232, n. 4, p. 335-339, out. 1992. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2796.1992.tb00594.x>.

LINHARES, P. C. F. *et al.* **Adubação verde com flor-de-seda {*Calotropis procera* (Aiton) W. T. Aiton} em culturas olerícolas na região semiárida**. Nova Xavantina: Pantanal Editora, 2022. 91 p.

LIU, H. *et al.* Regulatory Mechanisms of Anthocyanin Biosynthesis in Apple and Pear. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 22, n. 16, p. 8441, 6 ago. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms22168441>.

LIU, M. *et al.* Robust Electrospinning-Constructed Cellulose Acetate@Anthocyanin Ultrafine Fibers: synthesis, characterization, and controlled release properties. **Polymers**, [S.L.], v. 14, n. 19, 4036, 27 set. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym14194036>.

MAIANI, G. *et al.* Carotenoids: actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. **Molecular Nutrition & Food Research**, [S.L.], v. 53, n. 2, p. 194-218, set. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/mnfr.200800053>.

MANCHALI, S. *et al.* Crucial facts about health benefits of popular cruciferous vegetables. **Journal of Functional Foods**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 94-106, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2011.08.004>.

MAO, D. *et al.* Arabidopsis Transporter MGT6 Mediates Magnesium Uptake and Is Required for Growth under Magnesium Limitation. **The Plant Cell**, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 2234-2248, 1 maio 2014. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.114.124628>.

MARTINEZ-MORALES, F. *et al.* Use of standardized units for a correct interpretation of IC50 values obtained from the inhibition of the DPPH radical by natural antioxidants. **Chemical Papers**, [S.L.], v. 74, n. 10, p. 3325-3334, 23 abr. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11696-020-01161-x>.

MCGUIRE, R. G. Reporting of Objective Color Measurements. **HortScience**, [S.L.], v. 27, n. 12, p. 1254-1255, dez. 1992. American Society for Horticultural Science. <http://dx.doi.org/10.21273/hortsci.27.12.1254>.

MEDEIROS, P. M. C. *et al.* Vitamin C, Hydrocortisone, and the Combination Thereof Significantly Inhibited Two of Nine Inflammatory Markers Induced by Escherichia Coli But Not by Staphylococcus Aureus – When Incubated in Human Whole Blood. **Shock**, [S.L.], v. 57, n. 1, p. 72-80, 7 jul. 2021. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.1097/shk.0000000000001834>.

MENEGHETTI, A. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise química de plantas, solo e fertilizantes**. Curitiba: EDUTFPR, 2018. 252 p.

MISHRA, K. *et al.* Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: a critical review and results. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 130, n. 4, p. 1036-1043, fev. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.127>.

NASSAR, A. M. K. *et al.* High-Throughput Screening of Sensory and Nutritional Characteristics for Cultivar Selection in Commercial Hydroponic Greenhouse Crop Production. **International Journal of Agronomy**, [S.L.], v. 2015, p. 1-28, 2015. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/376417>.

NAUMOSKA, K. *et al.* Antioxidant and Antimicrobial Biofoil Based on Chitosan and Japanese Knotweed (*Fallopia japonica*, Houtt.) Rhizome Bark Extract. **Antioxidants**, [S.L.], v. 11, n. 6, 1200, 18 jun. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox11061200>.

NERIMAN, T. B. *et al.* Mineral content of the rocket plant (*Eruca sativa*). **African Journal of Biotechnology**, [S.L.], v. 10, n. 64, p. 14080-14082, 19 out. 2011. Academic Journals. <http://dx.doi.org/10.5897/ajb11.2171>.

OBOH, G.; AKINDAHUNSI, A. A. Change in the Ascorbic Acid, Total Phenol and Antioxidant Activity of Sun-dried Commonly Consumed Green Leafy Vegetables in Nigeria. **Nutrition And Health**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 29-36, jul. 2004. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/026010600401800103>.

OLIVEIRA, G. L. S. Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais in vitro pelo método do DPPH•: estudo de revisão. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 36-44, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/1983-084x/12_165.

PARK, W. *et al.* Two Classes of Pigments, Carotenoids and C-Phycocyanin, in Spirulina Powder and Their Antioxidant Activities. **Molecules**, [S.L.], v. 23, n. 8, 2065, 17 ago. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules23082065>.

PASCUAL-TERESA, S. *et al.* Flavanols and Anthocyanins in Cardiovascular Health: a review of current evidence. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 1679-1703, 13 abr. 2010. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms11041679>.

PEREIRA, E. M. *et al.* Qualidade pós-colheita de frutas e hortaliças cultivadas de forma orgânica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 56, 8 jun. 2015. Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v10i2.3441>.

PETROVIC, B. *et al.* Biofertilizers Enhance Quality of Onion. **Agronomy**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 1937, 9 dez. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10121937>.

PETRY, N. *et al.* Review: the potential of the common bean (*phaseolus vulgaris*) as a vehicle for iron biofortification. **Nutrients**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 1144-1173, 11 fev. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nu7021144>.

PILLI, T.; LOPRIORE, G. Ripeness stage effects on quality characteristics of smoothies made up of sweet cherries (*P. avium*L., cv. 'Lapins'). **Emirates Journal of Food and Agriculture**, [S.L.], v. 11, n. 30, p. 959-967, 21 dez. 2018. Pensoft Publishers. <http://dx.doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i11.1861>.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

PRASAIN, J. K. *et al.* Flavonoids and age-related disease: risk, benefits and critical windows. **Maturitas**, [S.L.], v. 66, n. 2, p. 163-171, jun. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.maturitas.2010.01.010>.

PRIOR, R. L. *et al.* Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. **Journal Of Agricultural and Food Chemistry**, [S.L.], v. 53, n. 10, p. 4290-4302, 26 abr. 2005. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf0502698>.

PULLAR, J. *et al.* The Roles of Vitamin C in Skin Health. **Nutrients**, [S.L.], v. 9, n. 8, 866, 12 ago. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nu9080866>.

RÊGO, E. R. *et al.* (org.). **Fisiologia e manejo pós-colheita de flores, frutos e hortaliças**. João Pessoa: Editora UFPB, 2023. 451 p. E-book.

ROMANET, R. *et al.* The Antioxidant Potential of White Wines Relies on the Chemistry of Sulfur-Containing Compounds: an optimized dpph assay. **Molecules**, [S.L.], v. 24, n. 7, 1353, 5 abr. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules24071353>.

RUGELES-REYES, S. M. *et al.* Foliar application of zinc in the agronomic biofortification of arugula. **Food Science and Technology**, [S.L.], v. 39, n. 4, p. 1011-1017, dez. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/fst.12318>.

SADDHE, A. A. *et al.* Plant sugars: homeostasis and transport under abiotic stress in plants. **Physiologia Plantarum**, [S.L.], v. 171, n. 4, p. 739-755, dez. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ppl.13283>.

SADIQ, A. *et al.* Qualitative and Quantitative Determination of Secondary metabolites and Antioxidant Potential of *Eruca sativa*. **Natural Products Chemistry & Research**, [S.L.], v. 2, n. 4, p. e1000137, 22 maio 2014. OMICS Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.4172/2329-6836.1000137>.

SALIH, A. H. *et al.* Antibacterial activity of *Italic* leaves Aqueous Extract Against Two Pathogenic Bacteria. **Annals Of Tropical Medicine and Public Health**, [S.L.], v. 23, n. 01, p. 171-175, 2020. Africa Health Research Organization. <http://dx.doi.org/10.36295/asro.2020.23123>.

SÁNCHEZ-MORENO, C. *et al.* A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. **Journal of The Science of Food and Agriculture**, [S.L.], v. 76, n. 2, p. 270-276, fev. 1998. Wiley. [http://dx.doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0010\(199802\)76:23.0.co;2-9](http://dx.doi.org/10.1002/(sici)1097-0010(199802)76:23.0.co;2-9).

SCHMIDT, L.; ZINKERNAGEL, J. For a Better Understanding of the Effect of N Form on Growth and Chemical Composition of C3 Vascular Plants under Elevated CO₂—A Case Study with the Leafy Vegetable *Eruca sativa*. **Horticulturae**, [S.L.], v. 7, n. 8, 251, 17 ago. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae7080251>.

SHARMA, A. *et al.* Response of Phenylpropanoid Pathway and the Role of Polyphenols in Plants under Abiotic Stress. **Molecules**, [S.L.], v. 24, n. 13, 2452, 4 jul. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules24132452>.

SHIPP, J.; ABDEL-AAL, E. S. M. Food Applications and Physiological Effects of Anthocyanins as Functional Food Ingredients. **The Open Food Science Journal**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 7-22, 17 mar. 2010. Bentham Science Publishers Ltd. <http://dx.doi.org/10.2174/1874256401004010007>.

SOUZA, R. F. de *et al.* Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 30, n. 6, p. 975-983, dez. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832006000600007>.

SOUZA, E. G. F. *et al.* Green manuring with *Calotropis procera* for the production of coriander in two growing seasons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 5, p. 533-542, 2017.

SU, M. *et al.* MdJa2 Participates in the Brassinosteroid Signaling Pathway to Regulate the Synthesis of Anthocyanin and Proanthocyanidin in Red-Fleshed Apple. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 13, 830349, 9 maio 2022. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2022.830349>.

SWANSON, E. O. *et al.* Nutrient and Nitrate Composition of Greenhouse-Grown Leafy Greens: a trial comparison between conventional and organic fertility treatments. **Frontiers In Sustainable Food Systems**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 1-15, 30 mar. 2022. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fsufs.2022.811995>.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2017. 574 p.

TRANI, P. E. *et al.* **Calagem e adubação da alface, almeirão, agrião d'água, chicória, coentro, espinafre e rúcula**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2014. 16 f.

TRIPODI, P. *et al.* Breeding Advances and Prospects in Rocket Salad (*Eruca vesicaria* ssp. *sativa* Mill.) Cultivation. In: AL-KHAYRI, Jameel Mohammed *et al.* (ed.). **Advances in Plant Breeding Strategies: vegetable crops**. Cham: Springer, 2021. Cap. 3. p. 95-113. (Volume 10: Leaves, Flowerheads, Green Pods, Mushrooms and Truffles). https://doi.org/10.1007/978-3-030-66969-0_3.

TUTEJA, N.; MAHAJAN, S. Calcium Signaling Network in Plants. **Plant Signaling & Behavior**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 79-85, mar. 2007. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.4161/psb.2.2.4176>.

UENOJO, M. *et al.* Carotenoides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Química Nova**, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 616-622, jun. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422007000300022>.

VIVCHARENKO, V. *et al.* Highly Porous and Superabsorbent Biomaterial Made of Marine-Derived Polysaccharides and Ascorbic Acid as an Optimal Dressing for Exuding Wound Management. **Materials**, [S.L.], v. 14, n. 5, 1211, 4 mar. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma14051211>.

WALDAMICHAEL, F. G. *et al.* Coffee disease detection using a robust HSV color-based segmentation and transfer learning for use on smartphones. **International Journal of Intelligent Systems**, [S.L.], v. 37, n. 8, p. 4967-4993, 19 nov. 2021. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1002/int.22747>.

YAO, P. *et al.* Diverse biological effects of glycosyltransferase genes from Tartary buckwheat. **BMC Plant Biology**, [S.L.], v. 19, n. 1, 339, 5 ago. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12870-019-1955-z>.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, [S.L.], v. 57, n. 3, p. 508-514, 1 jul. 1954. Portland Press Ltd. <http://dx.doi.org/10.1042/bj0570508>.

YUE, X. *et al.* Whole-genome analysis of TET dioxygenase function in regulatory T cells. **Embo Reports**, [S.L.], v. 22, n. 8, e52716, 21 jul. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.15252/embr.202152716>.

ZHAO, Y. *et al.* Effect of Low Temperature on Chlorophyll Biosynthesis and Chloroplast Biogenesis of Rice Seedlings during Greening. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 1390, 19 fev. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms21041390>.

ZHAO, X. *et al.* Consumer Sensory Analysis of Organically and Conventionally Grown Vegetables. **Journal of Food Science**, [S.L.], v. 72, n. 2, p. 87-91, mar. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00277.x>.

ZHIJIE, W. U. *et al.* Origin, Present Situation and Development Trend of Green Fertilizer. **Scientia Agricultura Sinica**, [S. L.], v. 53, n. 16, p. 2530-2546, out. 2022.

ŠAMEC, D. *et al.* Comparative analysis of phytochemicals and activity of endogenous enzymes associated with their stability, bioavailability and food quality in five Brassicaceae sprouts. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 269, p. 96-102, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.133>.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 19. Valores de “F” para as características nutricionais de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Sódio (Na), Boro (B), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Zinco (Zn) na rúcula, em função de diferentes quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo nos dois experimentos. Mossoró-RN, UFERSA, 2022.

Fontes de Variação	N	P	K	S
Blocos (Experimentos)	1,60 ^{ns}	2,77 [*]	1,29 ^{ns}	1,77 ^{ns}
Experimentos (E)	1,37 ^{ns}	4,39 [*]	1,69 ^{ns}	1,05 ^{ns}
Quantidades da Adubação Verde (A)	40,25 ^{**}	61,74 ^{**}	48,41 ^{**}	81,31 ^{**}
E × A	0,14 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,85 ^{ns}
Controle vs Adubação Verde	32,12 ^{**}	33,53 ^{**}	54,44 ^{**}	57,71 ^{**}
Mineral vs Adubação Verde	155,17 ^{**}	299,18 ^{**}	165,29 ^{**}	301,83 ^{**}
Controle vs Mineral	29,82 ^{**}	79,40 ^{**}	18,01 ^{**}	57,35 ^{**}
CV (%)	12,98	16,26	6,99	11,56
Fontes de Variação	Ca	Mg	Na	Zn
Blocos (Experimentos)	1,71 ^{ns}	0,85 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,12 ^{ns}
Experimentos (E)	0,73 ^{ns}	5,86 [*]	0,12 ^{ns}	9,26 ^{**}
Quantidades da Adubação Verde (A)	25,96 ^{**}	309,00 ^{**}	35,26 ^{**}	18,25 ^{**}
E × A	0,96 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,53 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Controle vs Adubação Verde	46,49 ^{**}	69,74 ^{**}	2,62 ^{ns}	45,81 ^{**}
Mineral vs Adubação Verde	44,72 ^{**}	719,50 ^{**}	194,97 ^{**}	5,68 [*]
Controle vs Mineral	109,44 ^{**}	742,36 ^{**}	91,43 ^{**}	50,26 ^{**}
CV (%)	9,87	7,57	19,16	27,14
Fontes de Variação	B	Cu	Fe	Mn
Blocos (Experimentos)	0,56 ^{ns}	2,29 [*]	1,02 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Experimentos (E)	19,30 [*]	39,21 ^{**}	65,42 ^{**}	0,01 ^{ns}
Quantidades da Adubação Verde (A)	4,18 ^{**}	18,77 ^{**}	5,88 ^{**}	78,70 ^{**}
E × A	0,15 ^{ns}	1,90 ^{ns}	0,37 ^{ns}	2,27 ^{ns}
Controle vs Adubação Verde	4,67 [*]	11,80 ^{**}	19,38 ^{**}	59,30 ^{**}
Mineral vs Adubação Verde	7,91 ^{**}	2,46 ^{ns}	2,12 ^{ns}	370,85 ^{**}
Controle vs Mineral	0,25 ^{ns}	15,02 ^{**}	5,21 [*]	80,14 ^{**}
CV (%)	26,24	15,55	30,91	8,57

** = p < 0,01; * = p < 0,05; ns = não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

APÊNDICE B

Tabela 20. Valores de “F” para as características de pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (ATT), açúcares totais (AST), clorofila A (CA), clorofila B (CB), clorofila total (CT), carotenoides (Cart), antocianinas (Ant), flavonoides amarelos (FAT), vitamina C (Vit C), e polifenóis extraíveis totais (PET) na rúcula, em função de diferentes quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo nos dois experimentos. Mossoró-RN, UFERSA, 2022.

Fontes de Variação	pH	SS	ATT	AST
Blocos (Experimentos)	0,75 ^{ns}	0,82 ^{ns}	2,44 [*]	0,87 ^{ns}
Experimentos (E)	135,47 ^{**}	46,62 ^{**}	0,30 ^{ns}	0,71 ^{ns}
Quantidades da Adubação Verde (A)	8,29 ^{**}	12,17 ^{**}	35,10 ^{**}	15,58 ^{**}
E × A	1,31 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,70 ^{ns}
Controle vs Adubação Verde	4,75 [*]	0,88 ^{ns}	16,44 ^{**}	11,09 ^{**}
Mineral vs Adubação Verde	0,01 ^{ns}	55,95 ^{**}	135,63 ^{**}	45,53 ^{**}
Controle vs Mineral	3,10 ^{ns}	42,54 ^{**}	147,91 ^{**}	7,00 [*]
CV (%)	1,64	8,58	9,21	25,21
Fontes de Variação	CA	CB	CT	Cart
Blocos (Experimentos)	1,35 ^{ns}	3,43 ^{**}	1,16 ^{ns}	1,01 ^{ns}
Experimentos (E)	0,06 ^{ns}	6,88 [*]	2,39 ^{ns}	0,21 ^{ns}
Quantidades da Adubação Verde (A)	1,98 ^{ns}	5,10 ^{**}	2,92 [*]	3,46 ^{**}
E × A	0,41 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,66 ^{ns}
Controle vs Adubação Verde	0,91 ^{ns}	2,59 ^{ns}	2,06 ^{ns}	1,25 ^{ns}
Mineral vs Adubação Verde	1,16 ^{ns}	1,54 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,51 ^{ns}
Controle vs Mineral	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,42 ^{ns}	0,13 ^{ns}
CV (%)	17,54	13,23	22,51	23,86
Fontes de Variação	Ant	FAT	Vit C	PET
Blocos (Experimentos)	0,99 ^{ns}	1,62 ^{ns}	0,95 [*]	1,59 ^{ns}
Experimentos (E)	1,03 ^{ns}	1,44 ^{ns}	3,94 ^{ns}	0,61 ^{ns}
Quantidades da Adubação Verde (A)	4,33 ^{**}	63,95 ^{**}	39,78 ^{**}	25,91 ^{**}
E × A	0,63 ^{ns}	1,03 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Controle vs Adubação Verde	0,17 ^{ns}	33,83 ^{**}	48,56 ^{**}	10,36 ^{**}
Mineral vs Adubação Verde	21,27 ^{**}	345,47 ^{**}	6,83 [*]	116,40 ^{**}
Controle vs Mineral	15,11 ^{**}	97,85 ^{**}	55,09 ^{**}	34,38 ^{**}
CV (%)	13,94	7,90	9,16	13,02

** = p < 0,01; * = p < 0,05; ns = não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

APÊNDICE C

Tabela 21. Valores de “F” para as características de luminosidade (L*), cromaticidade (C*), ângulo hue (°h), porcentagem de inibição do DPPH (PI_{DPPH}), e concentração eficaz que inibe 50% do DPPH (CE₅₀) da rúcula, em função de diferentes quantidades de biomassa de *C. procera* incorporadas ao solo nos dois experimentos. Mossoró-RN, UFERSA, 2022.

Fontes de Variação	L*	C*	°h
Blocos (Experimentos)	1,11 ^{ns}	1,11 ^{ns}	1,10 ^{ns}
Experimentos (E)	5,92*	3,49 ^{ns}	2,40 ^{ns}
Quantidades da Adubação Verde (A)	2,43*	0,36 ^{ns}	4,50**
E × A	2,13 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,25 ^{ns}
Controle vs Adubação Verde	1,56 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,90 ^{ns}
Mineral vs Adubação Verde	5,23*	0,73 ^{ns}	18,65**
Controle vs Mineral	0,65 ^{ns}	0,20 ^{ns}	5,19*
CV (%)	3,95	8,60	1,12
Fontes de Variação	PI _{DPPH}	IC ₅₀	
Blocos (Experimentos)	1,28 ^{ns}	1,18 ^{ns}	
Experimentos (E)	0,01 ^{ns}	1,44 ^{ns}	
Quantidades da Adubação Verde (A)	45,51**	18,57**	
E × A	0,22 ^{ns}	0,43 ^{ns}	
Controle vs Adubação Verde	5,73*	3,56 ^{ns}	
Mineral vs Adubação Verde	155,41**	42,55**	
Controle vs Mineral	132,49**	42,45**	
CV (%)	10,73	22,90	

** = p <0,01; * = p <0,05; ns = não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

APÊNDICE D

Tabela 22. Médias das variáveis de nutrientes minerais da rúcula nos experimentos de cultivo (E1 e E2) e a média dos experimentos (ME). Mossoró-RN, UFERSA, 2022.

Tratamento	N			P			K		
	E1	E2	ME	E1	E2	ME	E1	E2	ME
Controle	20,23	19,61	19,92	6,11	7,63	6,87	21,91	23,21	22,56
20 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	25,50	27,08	26,29	10,29	10,79	10,54	27,29	27,29	27,29
40 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	27,92	29,11	28,52	13,49	11,48	12,49	27,91	29,86	28,88
60 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	32,31	32,73	32,52	13,98	12,19	13,09	29,55	30,53	30,04
80 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	32,99	35,12	34,06	15,05	13,13	14,09	30,13	31,46	30,80
100 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	35,33	37,56	36,44	17,92	14,05	15,99	33,34	33,23	33,28
Adubação mineral	46,66	47,36	47,01	25,28	24,87	25,07	37,70	36,83	37,27
Tratamento	Ca			Mg			Na		
	E1	E2	ME	E1	E2	ME	E1	E2	ME
Controle	24,94	26,16	25,55	3,05	3,33	3,19	1,81	2,10	1,96
20 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	28,39	28,50	28,45	7,11	7,41	7,26	1,84	2,24	2,05
40 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	29,10	30,32	29,71	7,94	8,34	8,14	2,08	2,33	2,21
60 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	32,12	31,33	31,72	8,70	9,17	8,93	2,11	2,35	2,23
80 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	34,94	32,83	33,89	8,81	9,26	9,03	2,73	2,82	2,78
100 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	36,86	36,80	36,83	9,75	10,19	9,97	2,66	2,39	2,53
Adubação mineral	24,94	21,12	23,03	2,67	2,47	2,57	5,04	4,33	4,68
Tratamento	B			Cu			Fe		
	E1	E2	ME	E1	E2	ME	E1	E2	ME
Controle	14,99	10,12	12,55	6,80	7,05	6,93	48,01	103,11	75,56
20 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	18,86	11,75	15,31	10,27	8,55	9,41	58,08	139,32	98,70
40 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	20,20	14,73	17,47	11,96	9,85	10,90	67,16	149,52	108,34
60 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	20,49	16,94	18,74	13,35	10,50	11,92	83,76	164,13	123,95
80 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	21,83	17,03	19,43	14,45	10,70	12,58	95,04	173,00	135,02
100 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	22,12	18,28	20,20	15,67	11,88	13,77	140,61	187,57	164,09
Adubação mineral	23,65	18,85	21,25	11,45	7,91	9,68	90,19	163,07	126,63
Tratamento	S			Zn			Mn		
	E1	E2	ME	E1	E2	ME	E1	E2	ME
Controle	8,93	9,66	9,29	79,36	85,09	82,23	13,78	13,93	13,85
20 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	7,68	7,57	7,59	96,16	116,56	106,36	16,06	16,35	16,21
40 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	6,85	6,93	6,89	105,25	149,15	127,20	17,51	17,53	17,52
60 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	6,06	6,25	6,15	147,31	175,53	161,42	18,56	18,54	18,55
80 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	5,79	5,29	5,54	180,64	203,30	191,97	19,25	20,94	20,09
100 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	5,15	5,26	5,21	202,44	246,30	224,36	21,21	22,19	21,70
Adubação mineral	2,45	3,10	2,78	86,01	117,88	101,95	30,06	26,70	28,38

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Na: sódio; B: boro; Cu: cobre; Mn: manganês; Fe: ferro; Zn: zinco.

APÊNDICE E

Tabela 23. Médias das variáveis físico-químicas e bioquímicas da rúcula nos experimentos de cultivo (E1 e E2) e a média dos experimentos (ME). Mossoró-RN, UFERSA, 2022.

Tratamento	pH			SS			ATT		
	E1	E2	ME	E1	E2	ME	E1	E2	ME
Controle	5,41	5,08	5,24	4,18	5,06	4,62	2,51	2,82	2,59
20 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	5,39	5,10	5,24	4,46	5,34	4,90	3,00	2,85	2,99
40 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	5,43	5,17	5,30	4,48	5,36	4,92	3,15	2,86	3,15
60 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	5,49	5,30	5,40	4,52	5,34	4,93	3,20	2,37	3,20
80 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	5,51	5,37	5,45	5,00	5,52	5,26	3,22	2,59	3,22
100 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	5,52	5,27	5,39	4,78	5,34	5,06	3,42	2,44	3,41
Adubação mineral	5,44	5,20	5,32	3,78	3,94	3,86	2,12	2,12	1,94
Tratamento	C _A			C _B			C _T		
	E1	E2	ME	E1	E2	ME	E1	E2	ME
Controle	0,47	0,44	0,46	0,15	0,16	0,15	0,55	0,51	0,53
20 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	0,50	0,45	0,47	0,16	0,17	0,17	0,59	0,68	0,64
40 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	0,51	0,52	0,52	0,17	0,18	0,18	0,63	0,72	0,68
60 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	0,55	0,55	0,55	0,18	0,19	0,18	0,70	0,84	0,77
80 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	0,57	0,55	0,56	0,19	0,21	0,20	0,71	0,78	0,75
100 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	0,55	0,54	0,54	0,18	0,19	0,19	0,77	0,73	0,75
Adubação mineral	0,52	0,57	0,55	0,17	0,20	0,18	0,62	0,71	0,69
Tratamento	Ant			FAT			Vit C		
	E1	E2	ME	E1	E2	ME	E1	E2	ME
Controle	6,43	6,15	6,29	129,88	131,04	130,46	119,20	113,74	116,47
20 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	6,06	6,69	6,38	143,66	145,36	143,51	169,92	182,36	176,14
40 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	6,35	6,72	6,54	139,78	143,49	142,94	173,20	191,76	182,48
60 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	6,41	7,01	6,71	127,90	133,79	128,04	181,60	203,52	192,56
80 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	6,61	7,23	6,92	125,51	129,90	125,71	200,16	208,88	204,52
100 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	6,70	6,69	6,69	123,30	117,35	114,63	209,52	218,04	213,78
Adubação mineral	5,35	4,94	5,15	70,79	74,84	71,82	164,96	154,40	159,68
Tratamento	AST			Cart			PET		
	E1	E2	ME	E1	E2	ME	E1	E2	ME
Controle	1,33	1,18	1,26	0,26	0,28	0,27	348,06	355,26	351,66
20 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	1,41	1,41	1,41	0,19	0,18	0,19	355,70	364,76	360,23
40 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	0,99	1,06	1,03	0,19	0,19	0,20	337,68	333,77	335,73
60 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	0,80	0,97	0,88	0,21	0,20	0,22	313,44	303,14	308,29
80 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	0,75	0,89	0,82	0,22	0,21	0,20	256,00	280,50	268,25
100 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	0,71	0,89	0,80	0,20	0,20	0,20	265,86	297,28	281,27
Adubação mineral	0,55	0,47	0,51	0,18	0,21	0,19	183,38	176,28	179,83

SS: sólidos solúveis; pH: potencial hidrogeniônico; ATT: acidez titulável; AST: açúcares totais; C_A: clorofila A; C_B clorofila B; C_T: clorofila total; Cart: carotenoides; Ant: antocianinas; FAT: flavonoides amarelos; Vit C: vitamina C; PET: polifenóis extraíveis totais.

APÊNDICE F

Tabela 24. Médias das variáveis de cor e atividade antioxidante pelo DPPH da rúcula nos experimentos de cultivo (E1 e E2) e a média dos experimentos (ME). Mossoró-RN, UFERSA, 2022.

Tratamento	L*			C*			°h		
	E1	E2	ME	E1	E2	ME	E1	E2	ME
Controle	48,08	47,43	47,76	27,99	29,09	28,53	123,81	123,64	123,73
20 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	48,91	47,48	48,19	27,96	30,19	29,08	123,55	123,55	123,55
40 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	48,52	46,83	47,68	27,07	29,02	28,04	124,04	124,05	124,04
60 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	45,19	46,79	45,99	27,95	29,10	28,53	124,85	124,90	124,88
80 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	47,48	46,50	46,99	27,31	28,57	27,94	123,05	124,35	124,85
100 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	46,67	46,36	46,52	27,80	28,59	28,20	124,37	124,99	124,88
Adubação mineral	47,91	43,78	45,85	28,15	27,26	27,70	125,01	127,61	126,31

Tratamento	PI _{DPPH}			CE ₅₀		
	E1	E2	ME	E1	E2	ME
Controle	48,98	45,20	47,09	2.465,5	2.582,9	2.524,2
20 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	65,16	65,33	65,65	1.726,2	1.563,5	1.644,8
40 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	68,10	68,47	68,28	1.550,2	1.470,7	1.510,4
60 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	70,31	70,54	70,42	1.486,8	1.326,6	1.406,7
80 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	72,51	73,36	72,94	1.387,5	1.172,6	1.280,0
100 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>	70,29	71,23	70,36	1.596,5	1.221,1	1.408,8
Adubação mineral	35,29	37,37	36,33	2.555,9	2.618,5	2.587,2

L*: luminosidade; C*: cromaticidade; °h: ângulo hue; PI_{DPPH}: porcentagem de inibição do radical DPPH; CE₅₀: concentração eficaz que inibe 50% do DPPH.