



LISSA IZABEL FERREIRA DE ANDRADE

**PHENOTYPIC PLASTICITY AND MORPHANATOMIC
RESPONSES OF *SONCHUS OLERACEUS* L. ACCORDING TO
ENVIRONMENTAL CONDITIONS**

**LAVRAS-MG
2023**

LISSA IZABEL FERREIRA DE ANDRADE

**PHENOTYPIC PLASTICITY AND MORPHANATOMIC RESPONSES OF
SONCHUS OLERACEUS L. ACCORDING TO ENVIRONMENTAL CONDITIONS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/ Fitotecnia, área de concentração produção vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Profa. Dra. Luciane Vilela Resende
Orientadora

**LAVRAS-MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Andrade, Lissa Izabel Ferreira de.

Phenotypic plasticity and morphanatomic responses of *Sonchus oleraceus* L. according to environmental conditions / Lissa Izabel Ferreira de Andrade. - 2023.

89 p. : il.

Orientador(a): Luciane Vilela Resende.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2023.
Bibliografia.

1. Serralha. 2. Época de plantio. 3. Sistema de cultivo. I.
Resende, Luciane Vilela. II. Título.

LISSA IZABEL FERREIRA DE ANDRADE

**PHENOTYPIC PLASTICITY AND MORPHANATOMIC RESPONSES OF
SONCHUS OLERACEUS L. ACCORDING TO ENVIRONMENTAL CONDITIONS**

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA E RESPOSTAS MORFONATÔMICAS DE
SONCHUS OLERACEUS L. DE ACORDO COM AS CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/ Fitotecnia, área de concentração produção vegetal, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 16 de março de 2023.

Dr. Sebastião Márcio de Azevedo	UFLA
Dr. Luis Felipe Lima e Silva	UFLA
Dra. Maria Lígia de Souza Silva	UFLA
Dra. Jailma Suerda Silva de Lima	UFERSA

Prof (a) Dra. Luciane Vilela Resende
Orientadora

**LAVRAS-MG
2023**

*À minha mãe, minha heroína
e minha fonte de inspiração.*

Dedico

*Aos meus sobrinhos, donos do meu
sorriso diário.*

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, toda honra e glória! Obrigada Senhor, pela maravilhosa graça e privilégio em tê-lo junto a mim em toda a minha caminhada. Te agradeço pelo amor sem medida e pela conquista imerecida. Eu te amo!

Aos meus pais e meus alicerces, Ferreira e Nenem! Amo vocês! Serei eternamente grata todos os dias pelo privilégio de ser sua filha! Mãe, a senhora é o meu bem mais precioso, quem me dera ser 1% parecida com a senhora. Que Deus prolongue seus dias na Terra!

Às minhas irmãs Regina, Livia e Raissa. Independentemente das diferenças, obrigada pelo companheirismo e pela certeza de que posso contar sempre com vocês!

Aos meus sobrinhos Joel Bernardo, Ana Ester, Joabe Benício e Paulo Neto, obrigada por me tornarem a titia “Issa” de vocês. Titia ama mais do que tudo! Sem vocês meu mundo não teria a menor graça!

Ao Jandeilson, amor da minha vida todinha! Meu maior presente nessa jornada acadêmica sem dúvidas foi conhecer você! Obrigada pela parceria e por nunca ter soltado minha mão! Vamos juntos até a lua!

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida na realização do doutorado e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade.

Aos membros da banca por contribuírem para o enriquecimento deste trabalho! Obrigada!

À minha orientadora Profa. Luciane Vilela, pelos conselhos, orientação, por ser um exemplo de profissional e ser humano incrível, demonstrando que é possível ambos os papéis existirem numa só pessoa! Gratidão!

Ao casal Magela e Luciane! Obrigada pela generosidade e pelo carinho que vocês dão aos discentes! Isso faz toda a diferença!

Ao laboratório de Cultura de tecidos, na pessoa da Joyce, Celso, Wantuil, Felipe e Gracielle, pelo acolhimento no laboratório e pela prontidão em ajudar na realização das análises mesmo em tempos difíceis.

Aos meus amados Luisinho, Steffany e Valdeci! Sem vocês nada disso teria sido possível! Gratidão por fazer da horta o melhor lugar que eu poderia estar nesses anos de Fitotecnia! Vocês são a alma da horta e eu me sinto muito honrada em tê-los conhecido!

Aos meus grandes parceiros e amigos da horta, Steffany, Paula e Marcelinho! Aos amigos do horto, Camila, Giulia, Janina, Marlon e Jeremias! Todos vocês foram além da vida acadêmica, são presentes que a Ufla me deu! Obrigada pelas parcerias na pesquisa, pelos momentos de risos e choros, pelos rolês... vocês são pra vida!

À Aline Botelho e à turma da Apae com a hortoterapia! Aprendi muito mais com vocês do que o contrário. Gratidão por essa linda experiência!

Aos meus companheiros, orientandos da profa. Luciane, que em algum momento da caminhada fizeram parte e contribuíram de algum modo, gratidão!

A todos que contribuíram, não só nesse trabalho, mas durante toda a minha vida acadêmica! Cada etapa dessa jornada foi única, porque vocês fizeram parte dela!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Cada pessoa deve trabalhar para o seu aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, participar da responsabilidade coletiva por toda a humanidade.” (Marie Curie)

RESUMO

Espécies pouco exploradas como *S. oleraceus* L. possuem a capacidade como culturas alternativas viáveis, suportando os impactos das mudanças climáticas e atendendo as necessidades de mercados específicos que buscam alimentos regionais e ecologicamente corretos. Para aumentar a compreensão de como esta espécie se ajusta a condições ecológicas variadas, mais pesquisas são relevantes. Diante do exposto, objetivou-se: (i) averiguar o efeito do sistema de cultivo, tempo de armazenamento e temperatura sobre o potencial fisiológico de sementes de *S. oleraceus*, (ii) avaliar a plasticidade fenotípica de *S. oleraceus* em função da época, do sistema de cultivo e do estágio de fenológico e, (iii) investigar as respostas morfoanatômicas de *S. oleraceus* em função da época e do sistema de cultivo. Para o teste de germinação foram utilizadas sementes de *S. oleraceus* oriundas de dois sistemas de cultivo (orgânico e convencional) em três tempos de armazenamento (0, 90 e 180 dias) e submetidas em duas temperaturas (20 e 30 °C). Os parâmetros de germinação avaliados foram a primeira contagem, porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação, enquanto o crescimento das plântulas foi avaliado pelo comprimento da raiz e crescimento do hipocótilo. Os resultados demonstraram que o sistema de cultivo e a temperatura influenciaram na qualidade das sementes durante o armazenamento, sendo que sementes de cultivo convencional apresentaram maior porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação na temperatura de 30 °C. No entanto, houve redução no crescimento da raiz e do hipocótilo aos 180 dias, principalmente na temperatura de 20 °C. No experimento de plasticidade fenotípica, para as plantas de *S. oleraceus* cultivadas em diferentes épocas e sistemas de cultivo, e em três estágios fenológicos, foram avaliados diversos parâmetros, incluindo altura, número de folhas, massa seca, área foliar, taxa de crescimento, pigmentos fotossintéticos e sistema antioxidante. Os resultados demonstraram que o ciclo da planta foi reduzido no verão e houve interação significativa entre os tratamentos para a maioria das variáveis avaliadas. A produção de pigmentos fotossintéticos foi maior no inverno, e as respostas enzimáticas do sistema antioxidante foram influenciadas pelo cultivo e época. No experimento de anatomia, plantas de *S. oleraceus* foram cultivadas em duas épocas diferentes e dois sistemas de cultivo para determinar o impacto destes fatores nas características morfoanatômicas de suas folhas. Densidade estomática, diâmetro do feixe, área do xilema e espessura das diferentes camadas foliares foram analisados. A época de plantio teve influência mais significativa nas características analisadas. As altas temperaturas impactaram negativamente a densidade estomática, principalmente no cultivo orgânico. Esses resultados sugerem que as condições ambientais desempenham um papel vital no crescimento e desenvolvimento das plantas, afetando a produção de *S. oleraceus*.

Palavras-chave: Serralha. Época de plantio. Sistema de cultivo. Orgânico. Convencional.

ABSTRACT

Underexplored species such as *Sonchus oleraceus* L. have the capacity as viable alternative crops, supporting the impacts of climate change and meeting the needs of specific markets seeking regional and ecologically correct foods. To increase our understanding of how this species adjusts to varied ecological conditions, more research is relevant. In view of the above, the objective was: (i) to investigate the effect of the cultivation system, storage time and temperature on the physiological potential of *S. oleraceus* seeds, (ii) to evaluate the phenotypic plasticity of *S. oleraceus* as a function of the season, the cultivation system and the phenological stage and (iii) to investigate the morphoanatomical responses of *S. oleraceus* as a function of the season and the cultivation system. For the germination test, *S. oleraceus* seeds from two cultivation systems (organic and conventional) were used in three storage times (0, 90 and 180 days) and submitted at two temperatures (20 and 30 °C). The germination parameters evaluated were the first count, germination percentage and germination speed index, while seedling growth was evaluated by root length and hypocotyl growth. The results showed that the cultivation system and temperature influenced the quality of the seeds during storage, and seeds of conventional cultivation presented higher percentage of germination and germination speed index at 30°C. However, there was a reduction in root and hypocotyl growth at 180 days, especially at 20°C. In the phenotypic plasticity experiment, for *S. oleraceus* plants grown at different times and cultivation systems, and in three phenological stages, several parameters were evaluated, including height, number of leaves, dry mass, leaf area, growth rate, photosynthetic pigments and antioxidant system. The results showed that the plant cycle was reduced in the summer and there was significant interaction between the treatments for most of the variables evaluated. The production of photosynthetic pigments was higher in winter, and the enzymatic responses of the antioxidant system were influenced by cultivation and season. In the anatomy experiment, plants of *S. oleraceus* were grown at two different times and two cultivation systems to determine the impact of these factors on the morphoanatomical characteristics of their leaves. Stomatal density, beam diameter, xylem area and thickness of the different leaf layers were analyzed. The planting season had the most significant influence on the characteristics analyzed. The high temperatures negatively impacted the stomatal density, especially in organic cultivation. These results suggest that environmental conditions play a vital role in plant growth and development, affecting the production of *S. oleraceus*.

Keywords: Sow thistle. Planting season. Cropping system. Organic. Conventional.

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

- Figure 1 - Average values of germination (%) of *S. oleraceus* L. at different storage times, temperature and cultivation. 38
- Figure 2 - Mean values of Germination Speed Index (GSI) of *S. oleraceus* L. at different storage times, temperature and cultivation. 40
- Figure 3 - Heatmap with Euclidean distance dendrogram by UPGMA method for physiological quality of *S. oleraceus* L. seeds at different storage times, temperature and cultivation. The acronyms below the heat map represent the treatments and variables: S (Storage – 0, 90 and 180 days); T (Temperature 30 and 20 °C); CC (Conventional Cultivation); OC (Organic Cultivation); FC (First Count); G (Percentage of Germination); GSI (Germination Speed Index); RG (Root Growth); HG (Hypocotyl Growth)..... 42

ARTIGO 2

- Figura 1 - Valores de temperatura (°C) máxima, mínima e a média diária no eixo primário (representadas pelas linhas contínuas vermelho escuro, rosa e amarelo, respectivamente) e umidade relativa (%) no eixo secundário (representada pela linha azul tracejada), registrados nos períodos de maio a junho (A) e outubro a novembro (B). Asterisco (*) indica fim do ciclo..... 53
- Figura 2 - Valores médios de área foliar [AF (dm²)] de *S. oleraceus* em três estádios, submetidas em duas épocas [Época 1 (maio a junho), época 2 (outubro a novembro)] e dois cultivos (Orgânico e convencional). Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$).)..... 56
- Figura 3 - Taxa de crescimento absoluto [TCA (g planta⁻¹ dia⁻¹)], taxa de crescimento relativo [TCR (g g⁻¹ dia⁻¹)] e taxa assimilatória líquida [TAL (g dm² dia⁻¹)] de *S. oleraceus* em função de duas épocas [Época 1 (maio a junho), época 2 (outubro a novembro)] e dois cultivos (Orgânico e convencional). Cada valor representa o valor médio (n=5).. 57
- Figura 4 - Valores médios de clorofila a [Chl a (µg g⁻¹ MF⁻¹)], clorofila b [Chl b (µg g⁻¹ MF⁻¹)] e carotenoides [car (µg g⁻¹ MF)] de *S. oleraceus* em três estádios, submetidas a duas épocas [Época 1 (maio a junho), época 2 (outubro a novembro)] e dois cultivos (Orgânico e convencional). Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro

- de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$).. 58
- Figura 5 - Valores médios de peróxido de hidrogênio [H_2O_2 ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ MF}$)] e peroxidação lipídica [MDA ($\eta\text{mol MDA min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ MF}$)] de *S. oleraceus* em três estádios, submetidas a duas épocas [Época 1 (maio a junho), época 2 (outubro a novembro)] e dois cultivos (Orgânico e convencional). Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$).. 59
- Figura 6 - Valores médios de superóxido dismutase [SOD (U SOD $\text{min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ MF}$)], catalase [CAT ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ MF}$)] e ascorbato peroxidase [APX ($\eta\text{mol ASA min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ MF}$)] de *S. oleraceus* em três estádios, submetidas a duas épocas [Época 1 (maio a junho), época 2 (outubro a novembro)] e dois cultivos (Orgânico e convencional). Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$).. 60

ARTIGO 3

- Figura 1 - Valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) máxima, mínima e a média diária no eixo primário (representadas pelas linhas contínuas vermelho, azul e verde, respectivamente) e umidade relativa (%) no eixo secundário (representada pela linha preta tracejada), registrados nos períodos de maio a junho (A) e outubro a novembro (B)..... 72
- Figura 2 - Área foliar [AF (dm^2)] e massa seca [MS (g)] de *S. oleraceus* submetidos a dois sistemas de cultivos (convencional e orgânico) e duas épocas de plantio (I e II). Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$)..... 75
- Figura 3 - Secções transversais da lâmina foliar de *S. oleraceus* submetidas em dois sistemas de cultivos e duas épocas de plantio (A= Convencional, época I; B= Convencional, época II; C= Orgânico, época I; D= Orgânico, época II). (Xi = Xilema; Fl = Floema; PP = Parênquima paliçádico; PE = Parênquima esponjoso). Barra de escala = $100\mu\text{m}$ 77
- Figura 4 - Seção paradérmica da superfície adaxial (ADA) e abaxial (ABA) mostrando densidade de estômatos (μm) em folhas de *S. oleraceus* submetidas em dois sistemas de cultivos e duas épocas de plantio (ADA- A= Convencional, época I; B= Convencional, época II; C= Orgânico, época I; D= Orgânico, época II) (ABA- E=

Convencional, época I; F= Convencional, época II; G= Orgânico, época I; H= Orgânico, época II). Barra de escala = 100µm.)..... 79

Figura 5 - Índice de plasticidade fenotípica em plantas de *S. oleraceus* submetidas em dois sistemas de cultivos (convencional e orgânico) e duas épocas de plantio (I e II). As variáveis foram relacionadas em ordem de importância da mais plástica para a menos plástica. MS= massa seca; AF= área foliar; DF= diâmetro do feixe; AX= área do xilema; LF= limbo foliar; CT= cutícula; ME= espessura do mesofilo; EpAd= epiderme da face adaxial; EpAb= epiderme da face abaxial; PP= parênquima paliçádico; PE= parênquima esponjoso; NEAb= número de estômatos na face abaxial; NEAd= número de estômatos na face adaxial; FeAb= funcionalidade dos estômatos na face abaxial; FeAd= funcionalidade dos estômatos na face adaxial; PoAd= diâmetro polar da face adaxial; EqAd= diâmetro equatorial da face adaxial; PoAb= diâmetro polar da face abaxial; EqAb= diâmetro equatorial da face abaxial.. 81

Figura 6 - Representação gráfica da análise de componentes principais (PCA) relacionando as variáveis analisadas com os sistemas de cultivo (convencional e orgânico) e as épocas de plantio (I e II). MS= massa seca; AF= área foliar; DF= diâmetro do feixe; AX= área do xilema; LF= limbo foliar; CT= cutícula; ME= espessura do mesofilo; EpAd= epiderme da face adaxial; EpAb= epiderme da face abaxial; PP= parênquima paliçádico; PE= parênquima esponjoso; NEAb= número de estômatos na face abaxial; NEAd= número de estômatos na face adaxial; FeAb= funcionalidade dos estômatos na face abaxial; FeAd= funcionalidade dos estômatos na face adaxial; PoAd= diâmetro polar da face adaxial; EqAd= diâmetro equatorial da face adaxial; PoAb= diâmetro polar da face abaxial; EqAb= diâmetro equatorial da face abaxial.. 82

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE

ARTIGO I

- Table 1 - Breakdown of the mean test for the first germination count (FC) of *S. oleraceus* L. at different storage times, temperature and cultivation. 36
- Table 2 - Mean values of root growth (cm) and hypocotyl (mm) of *S. oleraceus* L. as a function of different storage times, temperature and cultivation. 41

ARTIGO 2

- Tabela 1 - Atributos químicos do solo e teores totais disponíveis para cada tratamento... 50
- Tabela 2 - Valores médios de Altura de plantas [AP (cm)], Número de Folhas (NF), Massa Seca da Parte Aérea [MSPA (g)], Massa Seca de Raiz [MSR (g)], razão Raiz: Parte Aérea (R:PA), de *S. oleraceus* em três estádios, submetidas em duas épocas [Época 1 (maio a junho), época 2 (outubro a novembro)] e dois cultivos (Orgânico e convencional). 54

ARTIGO 3

- Tabela 1 - Atributos químicos do solo e teores totais disponíveis para cada tratamento... 73
- Tabela 2 - Características anatômicas em seções transversais dos tecidos foliares de *S. oleraceus* submetidos a dois sistemas de cultivos (convencional e orgânico) e duas épocas de plantio (I e II).; LF= limbo foliar (μm); CT= cutícula (μm); EpAd= epiderme da face adaxial (μm); EpAb= epiderme da face abaxial (μm); PP= parênquima paliçádico (μm); DF= diâmetro do feixe (μm); AX= área do xilema (μm). 76
- Tabela 3 - Características anatômicas dos tecidos foliares de *S. oleraceus* submetidos a dois sistemas de cultivos (convencional e orgânico) e duas épocas de plantio (I e II). ME= espessura do mesofilo (μm); EPE= espessura do parênquima esponjoso (μm); PoAb= diâmetro polar da face abaxial (μm); EqAb= diâmetro equatorial da face abaxial (μm). 78
- Tabela 4 - Características anatômicas em seções paradérmicas dos tecidos foliares de *S. oleraceus* submetidos a dois sistemas de cultivos (convencional e orgânico) e duas épocas de plantio (I e II). NEAb= número de estômatos na face abaxial; NEAd= número de estômatos na face adaxial; PoAd= diâmetro polar da face adaxial (μm); EqAd= diâmetro equatorial da face adaxial (μm); FeAb= funcionalidade dos estômatos na face abaxial; FeAd= funcionalidade dos estômatos na face adaxial. 80

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	17
1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	<i>Sonchus oleraceus</i> L.....	19
2.2	Época de plantio e temperatura	20
2.3	Sistemas de cultivo.....	23
	REFERÊNCIAS.....	25
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS*	31
	ARTIGO 1 - THE CULTIVATION ENVIRONMENT INFLUENCES THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF STORED <i>SONCHUS OLERACEUS</i> L. SEEDS	32
1	INTRODUCTION	33
2	MATERIAL AND METHODS	35
3	RESULTS AND DISCUSSION	36
4	CONCLUSION	43
	REFERENCES	44
	ARTIGO 2 - O AMBIENTE DE CULTIVO PROMOVE PLASTICIDADE EM PLANTAS DE <i>SONCHUS OLERACEUS</i> L.	47
1	INTRODUÇÃO.....	48
2	MATERIAL E MÉTODOS	49
3	RESULTADOS	52
4	DISCUSSÃO	61
5	CONCLUSÕES.....	64
	REFERÊNCIAS.....	65
	ARTIGO 3 - INTERAÇÕES NO AMBIENTE E NA ÉPOCA DE CULTIVO MODULAM ALTERAÇÕES MORFOANATÔMICAS EM <i>SONCHUS OLERACEUS</i> L.....	69
1	INTRODUÇÃO.....	70
2	MATERIAL E MÉTODOS	72
3	RESULTADOS	74

4	DISCUSSÃO	83
5	CONCLUSÕES.....	86
	REFERÊNCIAS.....	87

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

As plantas estão constantemente enfrentando estressores ambientais que podem afetar seu crescimento e desenvolvimento. Os fatores ambientais têm um efeito significativo nos processos metabólicos das plantas, tornando-se essencial entender as respostas das culturas a essas mudanças (XU *et al.*, 2020). Com o aquecimento global cada vez mais iminente, entender como as plantas respondem às mudanças em seu ambiente é fundamental para o desenvolvimento de estratégias para mitigar os efeitos adversos na produtividade das culturas (MARERI *et al.*, 2022).

Espécies pouco exploradas, como *S. oleraceus*, têm potencial para servir como culturas comerciais alternativas tolerantes ao estresse abiótico, satisfazendo as necessidades de nichos específicos caracterizados por uma demanda por produtos alimentares locais e sustentáveis. *S. oleraceus*, também conhecida como serralha ou cardo, é uma espécie herbácea com ampla distribuição nativa da Europa, norte da África e oeste da Ásia (CHO *et al.*, 2019; MANALIL *et al.*, 2020; SANDOVAL *et al.*, 2019).

Amplamente difundida como planta invasora, *S. oleraceus* é conhecida como uma planta alimentícia não convencional em determinadas regiões do Brasil, cujas folhas consumidas cruas ou refogadas, exercem forte influência na dieta e cultura das populações regionais (SANTOS *et al.*, 2012). A espécie tem sido utilizada em inúmeras aplicações terapêuticas, incluindo efeitos anti-inflamatórios (VECCHIA *et al.*, 2022; VILELA *et al.*, 2010), anticancerígenos, antidiabéticos, hepatoprotetores e antioxidantes (OU *et al.*, 2015), sendo utilizada como planta medicinal, por meio de infusão ou decocção no tratamento de diversas enfermidades, como por exemplo no tratamento para o controle do vitiligo (EIBEL *et al.*, 2021; RESENDE *et al.*, 2015).

As variações morfológicas e anatômicas desta planta podem ser uma estratégia adaptativa que lhe permite sobreviver em diferentes habitats, tornando-a uma alternativa promissora de cultivo (HESLOP-HARRISON, 2017; PEERZADA *et al.*, 2019). Portanto, este estudo visa explorar as respostas de *S. oleraceus* às mudanças ambientais e suas características anatômicas foliares, visando desenvolver estratégias para aumentar seu crescimento e produção em diferentes ambientes de cultivo.

Os efeitos das mudanças climáticas em *S. oleraceus* não foram extensivamente estudados, mas é provável que esta planta responda às mudanças nas condições ambientais de maneira diferente. O aumento das temperaturas pode levar a mudanças no tempo de germinação das sementes e crescimento da planta, bem como alterações na eficiência do uso da água pela

planta e na absorção de nutrientes (ANDRADE *et al.*, 2022; SNOWDON *et al.*, 2021; XU *et al.*, 2020). Mudanças nos padrões de precipitação também podem afetar a distribuição e abundância de *S. oleraceus*, particularmente em áreas com baixos recursos.

Estudar as respostas de *S. oleraceus* planta às mudanças nas condições ambientais pode fornecer informações sobre os impactos mais amplos das mudanças climáticas nas comunidades vegetais e nos ecossistemas, bem como observar respostas positivas à produção agrônômica desta espécie em diferentes ambientes. As respostas fisiológicas de *S. oleraceus* às condições ambientais e de manejo, a fim de entender melhor os mecanismos pelos quais essa espécie se adapta a diferentes ambientes, podem contribuir para melhorar seu potencial comercial como uma espécie promissora.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Sonchus oleraceus* L.

S. oleraceus L. da família Asteraceae, é uma espécie nativa da Europa, norte da África e oeste da Ásia, amplamente encontrada na Índia, China, Austrália, América do Norte e América do Sul. No Brasil, é chamada de serralha, chicória-brava, ciúmo, serralha-lisa ou serralha-macia, e embora seja conhecida como planta invasora devido ao seu hábito de crescimento espontâneo (SANTOS *et al.*, 2012), tem um elevado valor nutricional e medicinal, sendo desconhecido por muitos o seu valor nutracêutico (VILELA *et al.*, 2009).

Comumente utilizada na medicina tradicional, as raízes, folhas e inflorescências de *S. oleraceus* são frequentemente consumidas via oral na forma de infusões ou decocções, para aliviar dores e distúrbios cardiovasculares. Na medicina indígena é utilizada no tratamento de distúrbios gastrointestinais, como na medicina asiática e africana, sendo expressivamente utilizada como sedativo, vermífugo e no tratamento de doenças do fígado (AL JUHAIMI *et al.*, 2017; FANG *et al.*, 2016; NONATO *et al.*, 2018). Em países como Itália e Paquistão é usada como depurativo, diurético, laxante e tônico (JIMOH *et al.*, 2011; YIN *et al.*, 2008).

Estudos demonstram que *S. oleraceus* apresenta inúmeras propriedades farmacológicas, com ampla aplicação como anti-inflamatório e antipirético (VECCHIA *et al.*, 2022; VILELA *et al.*, 2010), ação antinociceptiva (NONATO *et al.*, 2018), antiulcerosa (ALOTHMAN *et al.*, 2018), nefroprotetora (TORRES-GONZÁLEZ *et al.*, 2018), antioxidante (OU *et al.*, 2015), antibacteriana (XIA *et al.*, 2011), ansiolítica (VILELA *et al.*, 2009). Pesquisas também apontam sua eficácia no tratamento para o controle do vitiligo (EIBEL *et al.*, 2021; RESENDE *et al.*, 2015).

Na África do Sul, *S. oleraceus* é consumida devido ao seu elevado teor de amido (BVENURA *et al.*, 2014). Em regiões da Croácia é um prato popular benéfico, especialmente em tempos de escassez (DOLINA *et al.*, 2014). No Brasil *S. oleraceus* possui grande valor nutricional e é amplamente consumida e conhecida em regiões do Brasil como PANC (Plantas Alimentícias Não Convencionais) (LIBERATO *et al.*, 2019). Suas folhas são ricas em proteínas, vitaminas, minerais e aminoácidos essenciais que auxiliam na dieta alimentar de populações rurais. Além disso, é uma opção de baixo custo, servindo como um impulso econômico para produtores locais (SILVA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2022).

Os efeitos benéficos dessa espécie na saúde humana podem ser parcialmente atribuídos às atividades biológicas de seus constituintes fitoquímicos como compostos fenólicos,

vitaminas, carotenoides, flavonoides, cumarinas saponinas (AL JUHAIMI *et al.*, 2017; JIMOH *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2009). A atividade antioxidante da *S. oleraceus* tem sido investigada em todo o mundo, de modo que, relatos apontam que os antioxidantes evidenciados retardam o envelhecimento, pois protegem as células contra danos induzidos pelo peróxido de hidrogênio (H₂O₂) intervindo do estresse oxidativo (OU *et al.*, 2015).

Outra característica de *S. oleraceus* recentemente abordada seria quanto ao seu efeito alelopático. Algumas espécies têm a capacidade de liberar metabólitos secundários (aleloquímicos) que interagem por volatilização, lixiviação, exsudação ou decomposição de resíduos vegetais por microrganismos do solo. Extratos aquosos de *S. oleraceus* suprimiram a germinação e crescimento de plântulas de *Trifolium alexandrinum* e de outras três espécies invasoras (GOMAA *et al.*, 2014).

S. oleraceus pode ser encontrada em diversos ambientes, entretanto, há limitação em ambientes com baixa incidência de luz para germinação e crescimento (AL JUHAIMI *et al.*, 2017). É uma espécie anual, cujas sementes podem germinar em qualquer período do ano. ANDRADE *et al.* (2022) verificou que *S. oleraceus* pode apresentar resiliência para sobreviver em condições adversas a fim de manter a viabilidade de suas sementes ao longo do tempo.

Trata-se de uma espécie de ciclo curto (aproximadamente de 60 dias após sementeira), onde as plantas podem atingir altura que varia de 40 a 110 cm (SANTOS *et al.*, 2012). Suas folhas quando maduras são lanceoladas de forma oblonga, recortadas ou denteadas, longas de coloração verde escura, sem pelos, podendo medir até 36 cm de comprimento e 12 cm de largura, sendo caracterizadas por emitirem látex quando cortadas (JORGE *et al.*, 1989; SANDOVAL *et al.*, 2019).

Pesquisas envolvendo *S. oleraceus* são de grande importância devido ao seu potencial como fonte alimentar e espécie medicinal. Suas propriedades nutricionais e medicinais podem torná-la uma opção viável para a agricultura sustentável, podendo contribuir para a saúde humana (LIBERATO *et al.*, 2019). Assim, estudar o impacto de fatores ambientais em *S. oleraceus* é crucial para potencializar suas propriedades nutraceuticas (HASSAN *et al.*, 2014).

2.2 Época de plantio e temperatura

A época de plantio é um dos fatores que mais influenciam o desenvolvimento e a produtividade das culturas (RIVERO *et al.*, 2022). Pode ser definida pela interação de fatores ambientais com a planta, causando variações no rendimento e outras características agronômicas (LOTZE-CAMPEN, 2011). A realização de pesquisas sobre épocas ideais de

plântio é essencial, dados os efeitos observáveis das mudanças climáticas na produtividade das culturas.

A época de plântio pode ter um impacto significativo, de modo que fatores como temperatura, precipitação, umidade do solo e fotoperíodo são determinísticos para o ciclo e rendimento das plantas e pode levar a maiores perdas na colheita (XU *et al.*, 2020). A temperatura desempenha um papel significativo na determinação do rendimento das culturas, e diferentes espécies têm requisitos de temperatura variados, referidos como temperaturas cardiais. À medida que as temperaturas globais aumentam, o crescimento das plantas, o desenvolvimento e o rendimento das colheitas serão afetados (BARROS *et al.*, 2023).

A produção agrícola está intrinsecamente ligada à temperatura, um importante fator abiótico que afeta o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento das plantas (ZHAO *et al.*, 2020). Juntamente com a radiação solar e a umidade do solo, a temperatura é uma das principais variáveis ambientais que afetam a fisiologia e a fenologia da planta. A ocorrência de altas e baixas temperaturas levou a perdas agrícolas significativas ao longo dos anos, embora não tanto quanto outros estresses abióticos, como secas e inundações (MORALES *et al.*, 2020). No entanto, a relação entre produtividade agrícola e temperatura varia entre as espécies de cultivo, condições do solo e outros fatores climáticos (JOSWIG *et al.*, 2022).

As plantas têm requisitos de temperatura específicos para crescimento e sobrevivência ideais. A fisiologia e a temperatura da planta estão intimamente relacionadas, pois a temperatura pode ter um impacto significativo no crescimento, desenvolvimento e funcionamento geral de uma planta (SNOWDON *et al.*, 2021). A relação entre temperatura e fisiologia vegetal é complexa e multifacetada, pois a temperatura influencia na absorção de água e nutrientes e em vários processos fisiológicos, como fotossíntese, respiração e transpiração (MORALES *et al.*, 2020).

A taxa de crescimento e desenvolvimento da planta é dependente da temperatura ao redor da planta e cada espécie tem uma gama de temperaturas representada por mínimo, máximo e ótimo, que são adequadas para o crescimento (TAIZ *et al.*, 2017). Quando as temperaturas excedem a faixa ideal de uma planta, isso afeta negativamente em aspectos funcionais da planta e seu rendimento (SILVA *et al.*, 2020). Por outro lado, baixas temperaturas podem atrasar a germinação das sementes, reduzir as taxas de crescimento e afetar adversamente o vigor da planta, podendo ocorrer danos permanentes causados por temperaturas negativas (ANDRADE *et al.*, 2022).

A temperatura pode afetar o processo de germinação. Sementes têm requisitos de temperatura específicos para germinação e um desvio dessas temperaturas pode resultar em

taxas de germinação baixas ou falha completa (ANDRADE *et al.*, 2022; FELIX *et al.*, 2020). De modo geral, quando a temperatura é muito baixa, a germinação das sementes pode ser lenta e a planta pode não conseguir se estabelecer adequadamente. Por outro lado, se a temperatura for muito alta, a planta pode sofrer estresse térmico, o que pode causar danos aos tecidos da planta e reduzir sua taxa de crescimento (CHAKRABORTY *et al.*, 2020).

O estresse térmico pode afetar negativamente a estrutura celular das plantas, levando à ruptura das membranas celulares e à perda de integridade da célula (YOUSEF *et al.*, 2021). Isso pode desencadear uma cascata de reações, levando à morte celular e a uma diminuição na saúde geral da planta. Além disso, o aumento da temperatura pode levar a um aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROS), que podem ser tóxicas para as plantas (HASANUZZAMAN *et al.*, 2013). A capacidade da planta de lidar com o estresse oxidativo causado pelo acúmulo de EROS pode ser limitada, o que pode levar a danos nas membranas celulares e nas organelas celulares, bem como à diminuição na taxa fotossintética (AHANGER *et al.*, 2017).

A exposição ao frio também pode desencadear uma série de respostas fisiológicas e moleculares (JOHN *et al.*, 2016). Essas respostas incluem a expressão de genes responsivos ao frio, à produção de proteínas específicas, ao acúmulo de solutos compatíveis, à proteção de membranas e à regulação do metabolismo energético (KALBERER *et al.*, 2006).

Modificações anatômicas nas folhas, como alterações na espessura epidérmica e densidade estomática, são efeitos que podem ser induzidos pela temperatura e que estão diretamente relacionados à condutância foliar. Essas mudanças podem afetar negativamente o desempenho e a eficiência fotossintética das folhas (PANDEY *et al.*, 2017). Portanto, entender a relação entre temperatura e anatomia vegetal é essencial para ajudar a melhorar o cultivo e o gerenciamento de plantas em diferentes ambientes.

No geral, a importância dos fatores abióticos na fisiologia vegetal destaca a interdependência entre componentes de um ecossistema (HESLOP-HARRISON, 2017). Saber o papel dos fatores abióticos pode auxiliar na conservação e manejo de ecossistemas, que por sua vez podem promover o crescimento e sobrevivência de espécies vegetais (BISBIS *et al.*, 2018).

S. oleraceus, caracterizada por ser uma planta resiliente, pode se adaptar a uma ampla gama de temperaturas e crescer em vários climas (PEERZADA *et al.*, 2019; SANDOVAL *et al.*, 2019). No entanto, a temperatura pode desempenhar um papel importante na germinação e no estabelecimento desta espécie. Compreender a relação entre a época de cultivo e a fisiologia de *S. oleraceus* é importante para maximizar seu potencial como cultura.

2.3 Sistemas de cultivo

Em meados do século XIX, as investigações científicas sobre o uso de substâncias químicas no cultivo agrícola surgiram juntamente com novos métodos de cultivo (WEEGE *et al.*, 2018). A agricultura convencional, responsável por produzir grande parte da produção agrícola no mundo (WILLER *et al.*, 2009), é uma prática que vem relativamente dando espaço a vertentes mais sustentáveis (MATASSA *et al.*, 2023). A produção convencional de hortaliças, caracterizada pelo uso de insumos frequentes, gera um impacto ambiental significativo (SCHMIDT *et al.*, 2013).

A sustentabilidade da agricultura convencional tem sido questionada e sofrido mudanças significativas. Apesar da prevalência no uso de insumos minerais, é notável a crescente conscientização acerca dos impactos ambientais decorrentes dessa prática (MACLAREN *et al.*, 2020). Com isso, a crescente conscientização acerca dos impactos ambientais do uso de insumos químicos tem levado muitos agricultores a procurarem alternativas mais sustentáveis, como o manejo orgânico (PRETTY, 2008).

Embora os sistemas orgânico e convencional tenham como objetivo produzir alimentos, eles diferem em sua abordagem ao manejo agrônômico, bem como da fertilidade do solo, o que pode afetar a composição de nutrientes para as plantas (SCHMIDT *et al.*, 2013). A agricultura convencional usa insumos que contêm nitrogênio inorgânico solúvel e outros nutrientes que são mais facilmente absorvidos pelas plantas, enquanto a agricultura orgânica depende de métodos naturais para permitir a manutenção da fertilidade do solo (CLARK *et al.*, 2017; GIAMPIERI *et al.*, 2022).

A agricultura orgânica usa práticas agrícolas que buscam maximizar a saúde do solo, da planta e do ambiente em geral. Isso pode incluir o uso de resíduos vegetais, compostos e esterco para fertilizar o solo, além de práticas naturais e alternativas para controle de pragas e doenças como a rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura. A agricultura orgânica também pode ser vista como uma ferramenta de sustentabilidade na agricultura, pois busca reduzir a dependência de insumos externos e promover a biodiversidade no ambiente agrícola (LORI *et al.*, 2017).

Por outro lado, a agricultura convencional geralmente envolve o uso de insumos químicos e pesticidas sintéticos para aumentar os rendimentos das culturas. No entanto, esses produtos químicos podem ter impactos ambientais negativos, como poluição da água e do solo, perda de biodiversidade e contaminação de alimentos (AZARBAD, 2022).

No entanto, estudos demonstram que os sistemas orgânicos tendem a apresentar rendimentos menores do que os métodos convencionais (ARES *et al.*, 2021; CONNOR, 2008; PONISIO *et al.*, 2016; STANHILL, 1990). Em média, os rendimentos das culturas manejadas por meio da agricultura orgânica são cerca de 20 a 30% menores do que os obtidos pela agricultura convencional (SEUFERT *et al.*, 2017; SEUFERT *et al.*, 2012; WITTWER *et al.*, 2021). Por outro lado, há tendências de que culturas orgânicas tendem a ter maior capacidade antioxidante devido à presença de compostos fenólicos. Esses compostos são antioxidantes naturais produzidos pelas plantas e podem atenuar os efeitos do estresse oxidativo (VINHA *et al.*, 2014).

A sustentabilidade na agricultura é a capacidade de um sistema de atender às metas sociais, incluindo o fornecimento de alimentos, a manutenção da integridade ecológica, a conservação dos recursos naturais e a garantia da viabilidade financeira (GIAMPIERI *et al.*, 2022). A substituição de insumos tradicionais por princípios e mecanismos naturais só pode ser alcançada com uma ampla base de conhecimento das complexas relações entre os organismos e seu ambiente (CONNOR, 2008; MEEMKEN *et al.*, 2018). Isso requer estudos interdisciplinares para verificar o quanto a sustentabilidade dos ecossistemas pode ser viável.

Ao estudar os efeitos desses métodos em aspectos de crescimento de *S. oleraceus*, é possível obter informações consistentes sobre a melhor estratégia de cultivo e manejo para essa espécie. Estudos sobre sistemas de cultivo orgânico e convencional em espécies pouco estudadas, como o *S. oleraceus*, são fundamentais para entender os potenciais benefícios e desvantagens em cada forma de abordagem.

REFERÊNCIAS

- AHANGER, M. A.; AKRAM, N. A.; ASHRAF, M.; ALYEMENI, M. N. *et al.* Plant responses to environmental stresses—from gene to biotechnology. **AoB PLANTS**, [S.l.], v. 9, n. 4, 2017.
- AL JUHAIMI, F.; GHAFOR, K.; AHMED, I. A. M.; BABIKER, E. E. *et al.* Comparative study of mineral and oxidative status of *Sonchus oleraceus*, *Moringa oleifera* and *Moringa peregrina* leaves. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [S.l.], v.11, n. 4, p. 1745-1751, 2017.
- ALOTHMAN, E. A.; AWAAD, A. S.; SAFHI, A. A.; ALMOQREN, S. S. *et al.* Evaluation of anti-ulcer and ulcerative colitis of *Sonchus oleraceus* L. **Saudi Pharmaceutical Journal**, [S.l.], v. 26, n. 7, p. 956-959, Nov 2018.
- ANDRADE, L. I. F. de.; SANTOS, J. P. de.; DUARTE, G. N.; FREITAS, C. G. de. *et al.* The cultivation environment influences the physiological quality of stored *Sonchus oleraceus* L. seeds. **Research, Society and Development**, [S.l.], v.11, n. 15, p. 11-14, 2022.
- ARES, A.; COSTA, J.; JOAQUIM, C.; PINTADO, D. *et al.* Effect of Low-Input Organic and Conventional Farming Systems on Maize Rhizosphere in Two Portuguese Open-Pollinated Varieties (OPV), “Pigarro” (Improved Landrace) and “SinPre” (a Composite Cross Population). **Frontiers in Microbiology**, [S.l.], v. 12, Febr. 2021.
- AZARBAD, H. Conventional vs. Organic Agriculture—Which One Promotes Better Yields and Microbial Resilience in Rapidly Changing Climates? **Frontiers in Microbiology**, [S.l.], v. 13, 09 Jun. 2022.
- BARROS, J. R. A.; GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; MELO, N. F. d. *et al.* Temperature: A major climatic determinant of cowpea production. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [S.l.], v. 45, 2023.
- BISBIS, M. B.; GRUDA, N.; BLANKE, M. Potential impacts of climate change on vegetable production and product quality – A review. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 170, p. 1602-1620, 01 jan. 2018.
- BVENURA, C.; AFOLAYAN, A. J. Ethnobotanical survey of wild vegetables in Mbashe and Nkonkobe municipalities, Eastern Cape Province, South Africa. **Acta Botanica Gallica**, [S.l.], v. 161, n. 2, p. 189-199, 04 mar. 2014.
- CHAKRABORTY, A.; BORDOLUI, S. K.; NANDI, D.; MAHATO, M. K. Seed Deterioration Pattern of Some China Aster During Storage. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, [S.l.], v. 9, n. 03, p. 1499-1506, 2020.
- CHO, M.-S.; KIM, J. H.; KIM, C.-S.; MEJÍAS, J. A. *et al.* Sow Thistle Chloroplast Genomes: Insights into the Plastome Evolution and Relationship of Two Weedy Species, *Sonchus asper* and *Sonchus oleraceus* (Asteraceae). **Genes (Basel)**, [S.l.], v.10, n. 11, p. 881, 2019.

- CLARK, M.; TILMAN, D. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. **Environmental Research Letters**, [S.l.], v. 12, n. 6, p. 064016, 16 jun. 2017.
- CONNOR, D. J. Organic agriculture cannot feed the world. **Field Crops Research**, [S.l.], v. 106, n. 2, p. 187, 2008.
- DOLINA, K.; LUCZAJ, L. Wild food plants used on the Dubrovnik coast (south-eastern Croatia). **Acta Societatis Botanicorum Poloniae**, [S.l.], v. 83, n. 3, 2014.
- EIBEL, G. S. B.; ZILLY, A.; SILVA, R. M. M. d.; FERREIRA, H. Use of the infusion of *Sonchus oleraceus* leaves for the treatment of vitiligo. **Research, Society and Development**, [S.l.], v.10, n. 4, p. e1410413824, 28 mar. 2021.
- FANG, Q.; FAN, Z.; XIE, Y.; WANG, X. *et al.* Screening and evaluation of the bioremediation potential of Cu/Zn-resistant, autochthonous *Acinetobacter* sp. FQ-44 from *Sonchus oleraceus* L. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v.7, n. Sept., 2016.
- FELIX, F. C.; MEDEIROS, J. A. D. d.; FERRARI, C. d. S.; PACHECO, M. V. *et al.* Molecular aspects during seed germination of *Erythrina velutina* Willd. under different temperatures (Part 1): reserve mobilization. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 42, 2020.
- GIAMPIERI, F.; MAZZONI, L.; CIANCIOSI, D.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M. *et al.* Organic vs conventional plant-based foods: A review. **Food Chemistry**, [S.l.], v. 383, p. 132-352, 30 jul. 2022.
- GOMAA, N. H.; HASSAN, M. O.; FAHMY, G. M.; GONZÁLEZ, L. *et al.* Allelopathic effects of *Sonchus oleraceus* L. on the germination and seedling growth of crop and weed species. **Acta Botanica Brasilica**, [S.l.], v., 28, p. 408-416, 2014.
- HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ALAM, M. M.; ROYCHOWDHURY, R. *et al.* Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. **Int J Mol Sci**, [S.l.], v, 14, n. 5, p. 9643-9684, 03 May. 2013.
- HASSAN, M. O.; GOMAA, N. H.; FAHMY, G. M.; GONZÁLEZ, L. *et al.* Interactions between *Sonchus oleraceus* L. and some weeds in agroecosystems in Egypt. **Annals of Agricultural Sciences**, [S.l.], v. 59, n. 2, p. 221-228, 01 Dec. 2014.
- HESLOP-HARRISON, J. S. Morphology, adaptation and speciation. **Annals of Botany**, [S.l.], v. 120, n. 5, p. 621-624, 2017.
- JIMOH, F. O.; ADEDAPO, A. A.; AFOLAYAN, A. J. Comparison of the nutritive value, antioxidant and antibacterial activities of *Sonchus asper* and *Sonchus oleraceus*. **Records of Natural Products**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 29-42, 2011.
- JOHN, R.; ANJUM, N. A.; SOPORY, S. K.; AKRAM, N. A. *et al.* Some key physiological and molecular processes of cold acclimation. **Biologia plantarum**, [S.l.], v. 60, n. 4, p. 603-618, 2016.

JORGE, L. I. F.; FERRO, V. d. O. Identificação de *Sonchus oleraceus* L. (serralha) principais características estruturais e químicas. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S.l.], v. 2, p. 3-4, 1989.

JOSWIG, J. S.; WIRTH, C.; SCHUMAN, M. C.; KATTGE, J. *et al.* Climatic and soil factors explain the two-dimensional spectrum of global plant trait variation. **Nature Ecology & Evolution**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 36-50, 01 Jan. 2022.

KALBERER, S. R.; WISNIEWSKI, M.; ARORA, R. Deacclimation and reacclimation of cold-hardy plants: Current understanding and emerging concepts. **Plant Science**, [S.l.], v. 171, n. 1, p. 3-16, 07 jan. 2006.

LIBERATO, P. S.; LIMA, D. V. T.; SILVA, G. M. B. PANCs-plantas alimentícias não convencionais e seus benefícios nutricionais. **Environmental Smoke**, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 102-111, 2019.

LIMA, J.; SILVA, C.; ROSA, M.; SANTOS, J. *et al.* Prospecção fitoquímica de *Sonchus oleraceus* e sua toxicidade sobre o microcrustáceo *Artemia salina*. **Planta Daninha**, [S.l.], v. 27, p. 7-11, 2009.

LORI, M.; SYMNACZIK, S.; MÄDER, P.; DE DEYN, G. *et al.* Organic farming enhances soil microbial abundance and activity—A meta-analysis and meta-regression. **PLOS ONE**, [S.l.], v. 12, n. 7, p. e0180442, 2017.

LOTZE-CAMPEN, H. Climate Change, Population Growth, and Crop Production: An Overview. *In: Crop Adaptation to Climate Change*, [S.l.], John Wiley & Sons, Inc., 2011. p. 1-11.

MACLAREN, C.; STORKEY, J.; MENEGAT, A.; METCALFE, H. *et al.* An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [S.l.], v. 40, n. 4, p. 24, 08 Jul. 2020.

MANALIL, S.; ALI, H. H.; CHAUHAN, B. S. Interference of Annual Sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in Wheat. **Weed Science**, [S.l.], n. 1, p. 98-103, 106, 2020.

MARERI, L.; PARROTTA, L.; CAI, G. Environmental Stress and Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 10, 2022.

MATASSA, S.; BOECKX, P.; BOERE, J.; ERISMAN, J. W. *et al.* How can we possibly resolve the planet's nitrogen dilemma? **Microb. Biotechnol**, [S.l.], v. 16, n. 1, p. 15-27, 2023.

MEEMKEN, E.-M.; QAIM, M. Organic Agriculture, Food Security, and the Environment. **Annual Review of Resource Economics**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 39-63, 2018.

MORALES, F.; ANCÍN, M.; FAKHET, D.; GONZÁLEZ-TORRALBA, J. *et al.* Photosynthetic Metabolism under Stressful Growth Conditions as a Bases for Crop Breeding and Yield Improvement. **Plants (Basel)**, [S.l.], v. 9, n. 1, Jan. 2020.

NONATO, I. d. A.; VILORIA, M. I. V.; CARVALHO, G. D.; VALENTE, F. L. *et al.* Healing Effects of Formulations with Extract of *Sonchus oleraceus*. **Acta Scientiae Veterinariae**, [S.l.], v. 46, n. 1, p. 7, 01 Jan. 2018.

OU, Z. Q.; RADES, T.; MCDOWELL, A. Anti-ageing effects of *Sonchus oleraceus* L. (pūhā) leaf extracts on H₂O₂-induced cell senescence. **Molecules**, [S.l.], v. 20, n. 3, p. 4548-4564, 12 Mar. 2015.

PANDEY, P.; IRULAPPAN, V.; BAGAVATHIANNAN, M. V.; SENTHIL-KUMAR, M. J. F. I. P. S. Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits. **Front. Plant Sci.**, [S.l.] v.18, p. 537, 2017.

PEERZADA, A. M.; O'DONNELL, C.; ADKINS, S. Biology, impact, and management of common sowthistle (*Sonchus oleraceus* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, [S.l.], v. 41, n. 8, p. 136, 16 Jul. 2019.

PONISIO, L. C.; KREMEN, C. System-level approach needed to evaluate the transition to more sustainable agriculture. **The Royal Society Publishing**, [S.l.], v. 283, n. 1824, p. 2015-2913, 2016.

PRETTY, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Biological Sciences*, [S.l.], v. 363, n. 1491, p. 447-465, 2008.

RESENDE, H. C.; AQUINO, G. S. T. d.; NASCIMENTO, F. R. F. d.; AGUIAR, M. M. *et al.* Oral Use of an Infusion of Leaves of *Solanum paniculatum* L., *Jacaranda brasiliensis* and *Sonchus oleraceus* for Treatment of Vitiligo. **Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Applications**, [S.l.], v. 5, n. 4, p. 15, 2015.

RIVERO, R. M.; MITTLER, R.; BLUMWALD, E.; ZANDALINAS, S. I. Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. **Plant J.**, [S.l.], v. 109, n. 2, p. 373-389, 2022.

SANDOVAL, J. R.; RODRÍGUEZ, P. A.; POPAY, A. I. *Sonchus oleraceus* (common sowthistle). **Cabi Compendium**, [S.l.], n. 50, p. 584, 2019.

SANTOS, I. C. de.; CARVALHO, O. C. de.; FERREIRA, E. D.; PEDROSA, M. W. *et al.* Serralha - *Sonchus oleraceus* L. Belo Horizont: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 2012.

SCHMIDT, R. O.; SANA, R. S.; LEAL, F. K.; ANDREAZZA, R. *et al.* Biomassa e atividade microbiana do solo em sistemas de produção olerícola orgânica e convencional. **Ciência Rural**, [S.l.], v. 43, 2013.

SEUFERT, V.; RAMANKUTTY, N. Many shades of gray -The context-dependent performance of organic agriculture. **Science Advances**, [S.l.], v. 3, n. 3, p. e1602638, 2017.

SEUFERT, V.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. **Nature**, [S.l.], v. 485, n. 7397, p. 229-232, 01 May. 2012.

- SILVA, L. C.; SAMPAIO, I. M. G.; BITTENCOURT, R. F. P. d. M.; ARAUJO, M. R. d. *et al.* Influence of temperature on the germination and root size of *Acmella oleracea* (L.) RK Jansen. **Revista Agro@mbiente On-line**, [S.l.], v.14, 2020.
- SILVA, L. F. L. E.; SOUZA, D. C.; RESENDE, L. V.; NASSUR, R. D. C. M. *et al.* Nutritional evaluation of non-conventional vegetables in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.l.], v. 90, p. 1775-1787, 2018.
- SILVA, N. O.; LIMA, L. F.; NATEL, A. S.; BIANCHINI, H. C. *et al.* Plantas alimentícias não convencionais produzidas no sul de Minas Gerais. **Research, Society and Development**, [S.l.], v.11, n. 1, p. e51211125159-e51211125159, 2022.
- SNOWDON, R. J.; WITTKOP, B.; CHEN, T.-W.; STAHL, A. Crop adaptation to climate change as a consequence of long-term breeding. **Theoretical and Applied Genetics**, [S.l.], v. 134, n. 6, p. 1613-1623, 01 Jun. 2021.
- STANHILL, G. The comparative productivity of organic agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S.l.], v. 30, n. 1, p. 1-26, 01 Jan. 1990.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant Physiology and Development**. Porto Alegre: Artimde, 2017. p. 719 p.
- TORRES-GONZÁLEZ, L.; CIENFUEGOS-PECINA, E.; PERALES-QUINTANA, M. M.; ALARCON-GALVAN, G. *et al.* Nephroprotective Effect of *Sonchus oleraceus* Extract against Kidney Injury Induced by Ischemia-Reperfusion in Wistar Rats. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, [S.l.], 14 Fev. 2018.
- VECCHIA, C. A. D.; LOCATELI, G.; SERPA, P. Z.; BIANCHIN GOMES, D. *et al.* *Sonchus oleraceus* L. Promotes Gastroprotection in Rodents via Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Antisecretory Activities. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, p. 7413231, 2022.
- VILELA, F. C.; BITENCOURT, A. D.; CABRAL, L. D.; FRANQUI, L. S. *et al.* Anti-inflammatory and antipyretic effects of *Sonchus oleraceus* in rats. **Journal of Ethnopharmacology**, [S.l.], v. 27, n. 3, p. 737-741, 17 Feb. 2010.
- VILELA, F. C.; PADILHA, M. M.; SILVA, L. d. S.; SILVA, G. A. *et al.* Evaluation of the antinociceptive activity of extracts of *Sonchus oleraceus* L. in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, [S.l.], v. 124, n. 2, p. 306-310, 2009.
- VINHA, A. F.; BARREIRA, S. V. P.; COSTA, A. S. G.; ALVES, R. C. *et al.* Organic versus conventional tomatoes: Influence on physicochemical parameters, bioactive compounds and sensorial attributes. **Food and Chemical Toxicology**, [S.l.], v. 67, p. 139-144, 05 Jan. 2014.
- WEEGE, F. B. K.; DE NEGRI, S. T. Indicativos para implantação de uma feira orgânica em Camaquã/RS. **Extensio: Revista Eletrônica de Extensão**, [S.l.], v. 15, n. 30, p. 2-15, 2018.
- WILLER, H.; ROHWEDDER, M.; WYNEN, E. Organic agriculture worldwide: current statistics. **The world of organic agriculture. Statistics Emerging Trends**, [S.l.], p. 25-58, 2009.

- WITTEWER, R. A.; BENDER, S. F.; HARTMAN, K.; HYDBOM, S. *et al.* Organic and conservation agriculture promote ecosystem multifunctionality. **Science Advances**, [S.l.], v. 7, n. 34, p. eabg6995, 2021.
- XIA, D. Z.; YU, X. F.; ZHU, Z. Y.; ZOU, Z. D. Antioxidant and antibacterial activity of six edible wild plants (*Sonchus* spp.) in China. **Natural Product Research**, [S.l.], v. 25, n. 20, p. 1893-1901, Dec 2011.
- XU, S. Y.; WENG, J.-K. **Climate change shapes the future evolution of plant metabolism**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. e10022, 2020.
- YIN, J.; SI, C. L.; WANG, M. H. Antioxidant activity of flavonoids and their glucosides from *Sonchus oleraceus* L. **Journal of Applied Biological Chemistry**, [S.l.], v. 51, n. 2, p. 57-60, 2008.
- YOUSEF, A. F.; ALI, M. M.; RIZWAN, H. M.; TADDA, S. A. *et al.* Photosynthetic apparatus performance of tomato seedlings grown under various combinations of LED illumination. **PLOS ONE**, [S.l.], v. 16, n. 4, p. e0249373, 2021.
- ZHAO, J.; LU, Z.; WANG, L.; JIN, B. Plant responses to heat stress: physiology, transcription, noncoding RNAs, and epigenetics. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.l.], 22, n. 1, p. 117, 2020.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS*

ARTIGO 1 - THE CULTIVATION ENVIRONMENT INFLUENCES THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF STORED *SONCHUS OLERACEUS* L. SEEDS

O AMBIENTE DE CULTIVO INFLUENCIA NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE *Sonchus oleraceus* L. ARMAZENADAS

EL AMBIENTE DE CULTIVO INFLUYE EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE LAS SEMILLAS DE *Sonchus oleraceus* L. ALMACENADAS

Publicado no periódico Research Society and Development

ANDRADE, L. I. F. de.; SANTOS, J. P. de.; DUARTE, G. N.; FREITAS, C. G. d. *et al.* The cultivation environment influences the physiological quality of stored *Sonchus oleraceus* L. seeds. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 11, n. 15, p. e199111536989, 14 Nov. 2022.

ABSTRACT

Understanding the responses of seeds to the detriment of the interaction of external factors is one of the challenges of research, especially with little explored species such as *Sonchus oleraceus* L. Thus, the objective was to investigate the effect of the cultivation system, storage time and temperature on the physiological potential of seeds of *S. oleraceus* L. Seeds were used of two cultivation systems (organic and conventional) in three storage times (0, 90 and 180 days) and submitted at two temperatures (20 and 30 °C). For the evaluation of germination, the first count, germination percentage and germination speed index were determined, while root length and hypocotyl growth were determined for the evaluation of seedling growth. The first count was statistically higher than 180 days in both crops and temperatures. The seeds of conventional cultivation obtained higher germination percentage and germination speed index at 30 °C. There was a reduction in root and hypocotyl growth at 180 days, especially at 20 °C. The cultivation environment influences the seed quality of *S. oleraceus* L. during storage.

Keywords: Physiological quality. Sow thistle. Vigour.

RESUMO

Compreender as respostas das sementes em detrimento da interação de fatores externos é um dos desafios das pesquisas, principalmente com espécies pouco exploradas como *Sonchus oleraceus* L. Assim, objetivou-se averiguar o efeito do sistema de cultivo, tempo de armazenamento e temperatura sobre o potencial fisiológico de sementes de *S. oleraceus* L. Para isso, foram utilizadas sementes de *S. oleraceus* L. de dois sistemas de cultivo (orgânico e convencional) em três tempos de armazenamento (0, 90 e 180 dias) e submetidas em duas temperaturas (20 e 30 °C). Para a avaliação da germinação foram determinadas a primeira

contagem, porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação, enquanto para a avaliação do crescimento das plântulas determinou-se o comprimento radicular e o crescimento do hipocótilo. A Primeira contagem foi estatisticamente superior aos 180 dias em ambos os cultivos e temperaturas. As sementes do cultivo convencional obtiveram maior porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação na temperatura de 30 °C. Houve uma redução no crescimento radicular e do hipocótilo aos 180 dias sobretudo na temperatura de 20 °C. O ambiente de cultivo influencia na qualidade de sementes de *S. oleraceus* L. durante o armazenamento.

Palavras-chave: Qualidade fisiológica. Serralha. Vigor.

RESUMEN

Comprender las respuestas de las semillas en detrimento de la interacción de factores externos es uno de los retos de la investigación, especialmente con especies poco exploradas como *Sonchus oleraceus* L. Así, el objetivo fue investigar el efecto del sistema de cultivo, el tiempo de almacenamiento y la temperatura sobre el potencial fisiológico de las semillas de *S. oleraceus* L. Se utilizaron semillas sistemas de cultivo (ecológico y convencional) en tres tiempos de almacenamiento (0, 90 y 180 días) y sometidos a dos temperaturas (20 y 30 °C). Para la evaluación de la germinación, se determinó el primer recuento, el porcentaje de germinación y el índice de velocidad de germinación, mientras que la longitud de la raíz y el crecimiento del hipocótilo se determinaron para la evaluación del crecimiento de las plántulas. El primer recuento fue estadísticamente superior a 180 días tanto en cultivos como en temperaturas. Las semillas de cultivo convencional obtuvieron mayor porcentaje de germinación e índice de velocidad de germinación a 30 °C. Hubo una reducción en el crecimiento de raíces e hipocótilos a los 180 días, especialmente a 20 °C. El entorno de cultivo influye en la calidad de la semilla de *S. oleraceus* L. durante el almacenamiento.

Palabras clave: Calidad fisiológica. Cerraja. Vigor.

1 INTRODUCTION

One of the greatest challenges today, due to climate change and population growth, is related to food production in a safe and sustainable way, preserving biodiversity and rescuing its food potential, such as unconventional vegetables. great potential for safety and diversification of diets in a more sustainable production system (LI; SIDDIQUE, 2018).

Sonchus oleraceus L. belonging to the Asteraceae family, is popularly known in Brazil as serralha and is considered an unconventional vegetable (HNC) appreciated in regional cuisines. Although its main importance in the country is as an invasive plant for large crops, it

is among the most appreciated HNC for its nutritional and medicinal potential. It has high nutritional value, as a source of proteins, vitamins, minerals and essential amino acids (VIANA *et al.*, 2015; AL JUHAIMI *et al.*, 2017).

It is traditionally used in Brazilian folk medicine because it has several medicinal properties, and can be used as antioxidant, anti-inflammatory, antirheumatic and in the treatment of skin dyschromy, such as vitiligo (Vilela *et al.*, 2009; Nonato *et al.*, 2018). However, the lack of recognition of these species as a food source has contributed to the rapid disappearance of plants along with a wealth of traditional knowledge about their uses and cultivation (SOUZA *et al.*, 2021).

An annual, herbaceous plant, with few branches and propagated by seeds, *S. oleraceus* is a widely known invasive species that grows spontaneously in agricultural soils in almost all countries in the world, where it is considered a weed (VIEIRA; BARRETO, 2006; PEERZADA *et al.*, 2019). Like other species of the Asteraceae family, the seeds of *S. oleraceus* are of the achene type, easily dispersed by the wind, which can result in seed banks, due to their abundant production and dispersion (SANDOVAL *et al.*, 2019).

Changes in both temperature and soil type can affect germination rates, induce dormancy and reduce seed vigor (ALI *et al.*, 2020). The existence of a strong relationship between climatic variables and seed dormancy and germination indicates that predicted climate changes will inevitably affect the persistence of plant populations in different parts of the planet (OOI, 2012).

The physiological quality of *S. oleraceus* can be affected by the environmental conditions to which they are exposed, which may compromise the development of subsequent plants. Germination is an important process in the life cycle of plants and can affect the perpetuation of species. The viability of a seed can be modulated as a function of the domestication environment over time (CHAUHAN *et al.*, 2006; SANDOVAL *et al.*, 2019).

Thus, longevity, vigor and germination capacity are elements related to the biology of seeds essential to determine the seed as a species with high physiological quality. The longevity of a seed depends not only on endogenous factors intrinsic to its species, but also on factors (ARAÚJO *et al.*, 2022). The optimal temperature for germination varies between species, with exotic plants, such as *S. oleraceus* L., whose studies are few and the responses incipient.

There are numerous reports on the seed responses of several Asteraceae species as a function of environmental factors alone. However, due to the complexity of relating more than two factors, studies that verify how the interaction of multiple factors affects the germination process are scarce. Thus, it becomes urgent to study the performance of species, especially in

relation to seed production, as well as their storage capacity for a period of time (CHAKRABORTY *et al.*, 2020).

From this perspective and considering the nutritional potential of the species, the objective of this work was to evaluate the physiological quality of seeds of *Sonchus oleraceus* L. as a function of multiple factors.

2 MATERIAL AND METHODS

Seeds of *Sonchus oleraceus* L. were collected at the beginning of dispersal, in two growing environments (organic and conventional). The species was identified and an exsiccate is deposited in the Herbarium of the Agricultural Research Company of Minas Gerais (EPAMIG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil) under number 58897.

The experimental design used was completely randomized, where the treatments were arranged in a 3x2x2 factorial scheme, with four replications of 25 seeds. The treatments consisted of 3 storage times (0, 90 and 180 days), seeds from 2 crops (organic and conventional) and 2 temperatures (20 and 30 °C). A total of 1200 seeds were used, 400 of which were placed to germinate immediately after collection and 800 seeds were placed in plastic bags (polyethylene) and kept at a temperature of $\pm 10^{\circ}\text{C}$ for 90 and 180 days.

The seed germination test was performed by sowing in Gerbox-type boxes (on paper), using Germitest® paper as substrate, moistened 2.5 times its weight with distilled water. The seeds were kept in BOD (Biochemical Oxygen Demand) chambers, at two temperatures, 20 and 30 °C, under constant white light and a photoperiod of 16h light/8h dark, and the boxes were periodically rotated in the BOD chambers.

The physiological potential of seeds *S. oleraceus* L. was estimated from the following tests: first count and germination test: percentage of seedlings germinated 4 days after sowing (%); germination speed index (GSI): following the formula of Maguire (1962) which corresponds to the number (n°) of germinated seeds or normal seedlings counted each day; germination percentage (G): according to Labouriau (1983), who verifies the number of seeds germinated from the number of seeds sown (%); hypocotyl and root growth: measurement of hypocotyl (mm) and radicle (cm) growth at the end of the experiment.

All statistical analyzes were performed using the R platform version 4.1.2. The data obtained were subjected to tests of homogeneity of variances (Levene and Bartlett, $p \geq 0.05$) and normality (Shapiro-Wilk, $p \geq 0.05$), using the “car” package (FOX *et al.*, 2019). The residuals that showed normality were submitted to an ANOVA analysis of variance (F test, $p \leq$

0.05) to verify the effect of the treatments and the means were compared by the Tukey test ($p \leq 0.05$), using the “ExpDes.pt” (FERREIRA *et al.*, 2021). To better approach the results, a cluster heatmap was built with the aid of the “ComplexHeatmap” package (GU *et al.*, 2016) and the grouping by the UPGMA (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages) method.

3 RESULTS AND DISCUSSION

There was a significant effect ($P \leq 0.05$) of the interaction between storage, temperature and cultivation system for all variables, except for Root Growth (RG) and Hypocotyl Growth (HG). An isolated effect of treatments for RG and HG was also observed.

For the first count (FC), there was a significant interaction between the treatments (TABLE 1). Seeds from conventional cultivation were statistically higher than those of organic cultivation at all storage times and temperatures. The seeds stored for 180 days obtained a higher percentage of normal seedlings in FC, while in the seeds stored for 0 and 90 days no differences were observed between them. Vigor is a parameter that can influence not only field performance, but also the storage potential of seeds (SILVA *et al.*, 2022).

First count is a parameter used as an indicator of vigor, as it demonstrates the percentage of normal seedlings in a given seed lot (MARCOS FILHO, 2015). It can be inferred that for this variable, there was a differentiation regarding the vigor of the seed lot, so that the seeds obtained from the conventional cultivation showed greater vigor than the organic ones, especially over time. The cultivation environment where the seeds are formed influences vigor and germination, due to the availability of nutrients to the mother plant during the seed maturation period (ARAÚJO *et al.*, 2022).

Table 1 - Breakdown of the mean test for the first germination count (FC) of *S. oleraceus* L. at different storage times, temperature and cultivation.

Treatments	First Count (%)				
	Cultivation	Conventional		Organic	
Storage Time/Temperature		20°C	30 °C	20°C	30 °C
0 days		7Bb ^a	44Ba ^a	0Bb ^b	10.5Ba ^b
90 days		7Bb ^a	44Ba ^a	0Bb ^b	10.5Ba ^b
180 days		58Ab ^a	83Aa ^a	16Ab ^b	53AA ^b

Means followed by different capital letters in the columns within storage time, lowercase in the lines within the temperature and superscripts in the lines between the types of cultures are differentiated from each other by the Tukey test ($P \leq 0.05$).

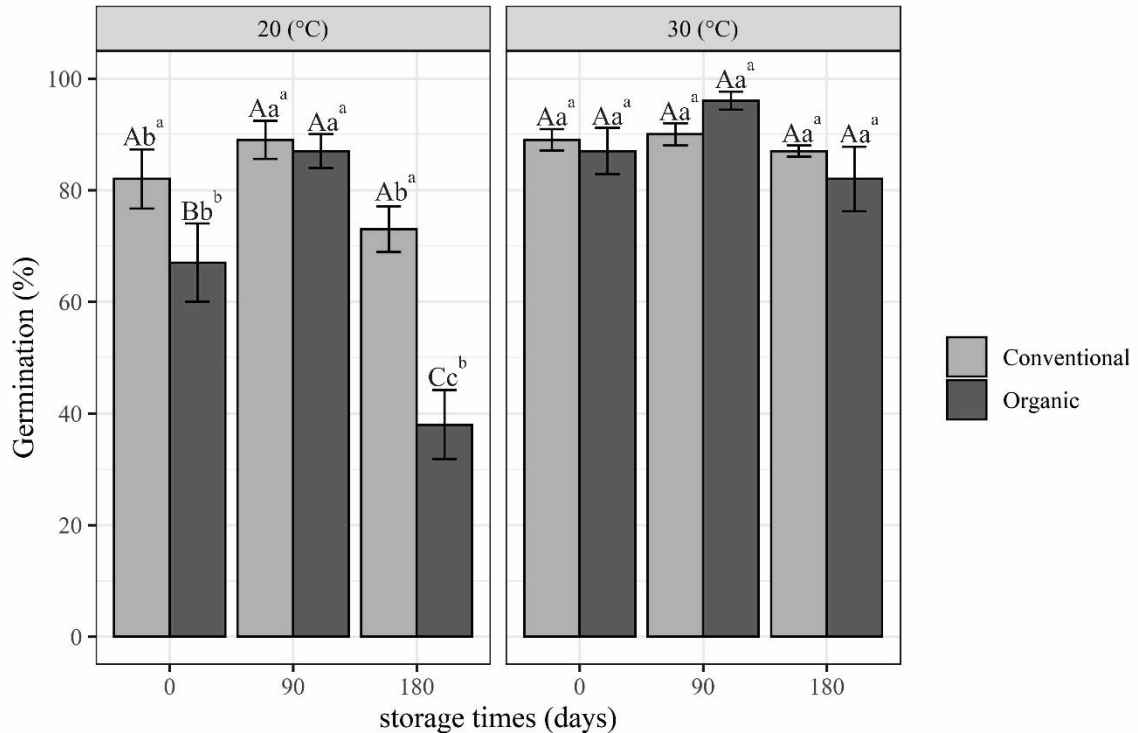
Source: Authors (2022).

Possibly, the temperature of 20 °C influenced the low percentage of normal seedlings, because under these conditions there is a decrease in seed metabolism, delaying its initial development. At higher temperatures, as in the case studied (30 °C), there may be an increase in metabolic reactions and a faster displacement of the seed reserve tissue to the embryonic axis, accelerating the formation of normal seedlings (ARAÚJO *et al.*, 2022).

It can be observed that all seeds submitted to a temperature of 30 °C had a higher percentage of germination in FC. Depending on the species, some temperature ranges can affect germination. Temperature influences the translocation of reserves, and consequently, compromises the growth of the embryonic axis (NDIHOKUBWAYO *et al.*, 2016). During seed germination, high temperatures can delay or completely inhibit germination, depending on the species and the intensity of stress (TAIZ *et al.*, 2017). In contrast, *S. oleraceus* L. showed germination potential at high temperatures, being an advantageous adaptive characteristic in conditions of fluctuating environments.

For the variable percentage of germination (G), differences and significant interaction between treatments can be observed (FIGURE 1). Seeds from conventional cultivation did not differ from each other during storage times at both temperatures. On the other hand, the seeds obtained from organic cultivation showed significant differences between them, and at 90 days the percentage of germination was statistically higher, followed by 0 and 180 days with mean values of 91.5%; 77.0% and 66.0%, respectively.

Figure 1 - Average values of germination (%) of *S. oleraceus* L. at different storage times, temperature and cultivation.



Means followed by different capital letters on the x axes within storage time, lowercase on the y axes within temperature and superscripts on the y axes between the types of cultivation are differentiated from each other by the Tukey test ($P \leq 0.05$).

Source: Authors (2022).

It is possible to notice that although the germination percentage was high, the species shows different germination responses when submitted to adverse conditions. This may show that environmental conditions can affect seed development. The cultivation system may have directly influenced the point of physiological maturity of milkweed seeds, so that the maternal environment where *S. oleraceus* L. plants developed may have influenced the variation of seed vigor (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2015; YUAN; WEN, 2018).

Within the storage times, it was possible to verify a significant decrease in the germination percentage of the organic seeds stored for 180 days at 20 °C. Seeds from conventional cultivation were statistically superior to those from organic cultivation when exposed to a temperature of 20 °C during the germination process.

Regarding the temperatures within the storage times, it was observed that the temperature of 30 °C provided an improvement in the percentage of germination, especially when the seeds were stored for 180 days. Higher temperatures increase the speed of chemical reactions accelerating the germination process (FELIX *et al.*, 2020).

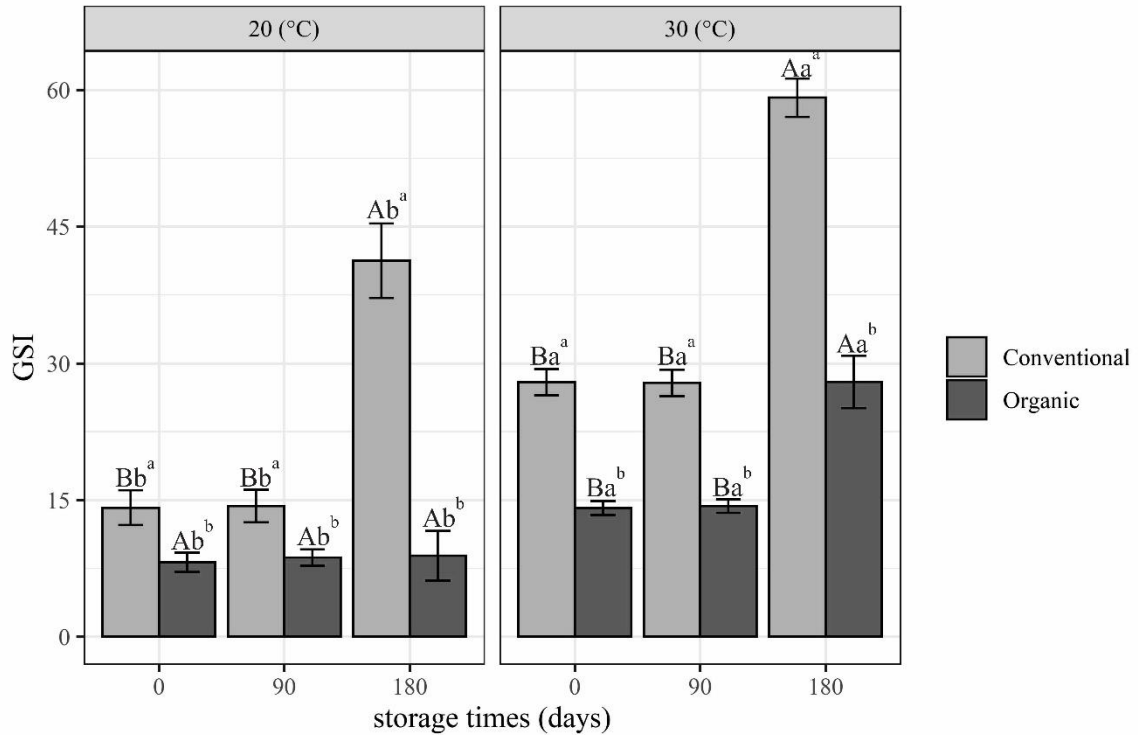
Newly harvested seeds from conventional cultivation had a higher germination rate than those from organic cultivation, when exposed to a temperature of 20 °C. When they were

exposed to a temperature of 30 °C, there was no significant difference in any of the cultures. The mobilization of mother plant reserves can vary according to environmental factors, that is, the release and availability of nutrients varies with the cultivation system and this can directly influence seed filling. In addition, lower temperatures can also slow down embryo growth (HADI *et al.*, 2014).

However, despite different responses, the high germination rate of the species, regardless of the factor, highlights the ability of milkweed to propagate, even in newly harvested seeds. The ability of *S. oleraceus* to germinate in a wide range of temperatures at the time of maturity is probably one of the reasons why this species emerges throughout the year. Monemizadeh *et al.* (2021), studying the germinal responses of *Silybummarianum* (L.) Gaertn., found that the newly harvested seeds of the species did not germinate at constant temperatures or alternating in light and/or darkness. This can exemplify that the species of the Asteraceae family have a wide range of responses, making it difficult to understand the intrinsic characteristics of the family.

For Germination Speed Index (GSI), significant differences were observed between treatments, as well as between interactions. In all situations, seeds from conventional cultivation were significantly superior to those from organic (FIGURE 2).

Figure 2 - Mean values of Germination Speed Index (GSI) of *S. oleraceus* L. at different storage times, temperature and cultivation.



Means followed by different capital letters on the x axes within storage time, lowercase on the y axes within temperature and superscripts on the y axes between the types of cultivation are differentiated from each other by the Tukey test ($P \leq 0.05$).

Source: Authors (2022).

It can be seen in Figure 2 that seeds from conventional cultivation showed greater vigor regardless of temperature. The GSI of conventional seeds stored for 180 days showed an increase of 32.49% and 52.92% when compared to the storage times, respectively for temperatures of 20 °C and 30 °C. Germination speed is an intrinsic parameter, strongly associated with seed vigor and longevity. In this case, it is assumed that such seeds reached greater vigor and longevity for as long as the seeds have conserved their viability, possibly due to a greater accumulation of reserves (SOUSA *et al.*, 2021).

The temperature increase from 20 °C to 30 °C promoted an increase of 42.21%, 39.49% and 68.49% in GSI of seeds obtained from conventional cultivation, stored for 0, 90 and 180 days respectively. As for organic seeds, there was an increase in the order of 49.33%, 48.50% and 30.26% respectively for seeds stored for 0, 90 and 180 days. 30 °C obtained statistically superior GSI at the temperature of 20 °C (FIGURE 2).

According to Gordin *et al.* (2014), the decrease in temperature tends to reduce the speed of seed germination, due to the effects on the speed of imbibition and mobilization of reserves. On the other hand, increasing the temperature up to a certain limit (optimal temperature) can make the germination process faster and more homogeneous (SILVA *et al.*, 2020).

It is noticed that the temperature of 30 °C, whose germination percentage was higher, the GSI was also higher. This may be associated with the fact that temperature is a factor that directly influences the biochemical reactions that occur in the germination process and, therefore, the speed of response was higher at higher temperature (TAIZ *et al.*, 2017).

For the variables hypocotyl growth (HG) and root growth (RG) there was a significant interaction between storage time and temperature, as shown in table 2. Regarding storage times, hypocotyl growth and root growth at 0 and 90 days were statistically higher than at 180 days. Seeds exposed to a temperature of 30 °C showed higher HG. The cultivation system did not affect hypocotyl growth; however, it did affect root growth (TABLE 2).

Table 2 - Mean values of root growth (cm) and hypocotyl (mm) of *S. oleraceus* L. as a function of different storage times, temperature and cultivation.

Treatments	Hypocotyl growth	Root growth
Storage time (S)	(mm)	(cm)
0 days	41.63a	5.38a
90 days	40.88a	5.25a
180 days	10.63b	1.94b
F Test	23.72*	46.08*
Temperature (T)		
30 °C	23.25a	5.22a
20°C	10.63b	3.15b
F Test	0.03*	38.76*
Cultivation (C)		
Conventional	31.54a	4.56a
Organic	30.08a	3.18b
F Test	0.26ns	5.03*

Means followed by different lowercase letters in the columns within each treatment are differentiated from each other by the Tukey test ($P \leq 0.05$). (*) significant at 5% probability and (ns) not significant, in relation to the F test.

Source: Authors (2022).

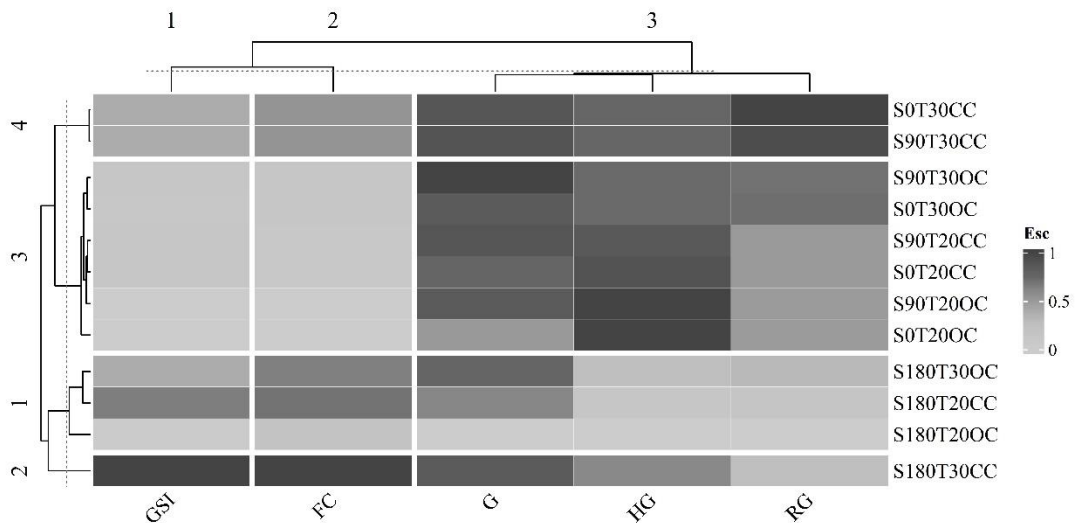
Differences found in HG and RG may be related to differences in seed vigor. Such a decrease observed at 180 days may be related to a reduction in the capacity to use and mobilize the reserves, which can lead to uneven growth of seedlings (J. C. Silva *et al.*, 2022). Storage reduces seed vigor since its function is only of preservation by reducing metabolism and not of improving seed quality (SILVA *et al.*, 2019).

The RG when compared to HG corroborates results found in the literature (GOMAA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2022). This can be explained by the fact that the radicle is more in contact with the substrate than the hypocotyl. On the other hand, a significant reduction in both hypocotyl growth and root growth can be seen in both cultures at 180 days. This decrease in

seedling growth may be related to the supply of reserves in the seeds having been used in the germination process (FELIX *et al.*, 2020).

The formation of four clusters was detected by heat analysis (FIGURE 3), with a cophenetic correlation coefficient of 92%, demonstrating that there is a dissimilarity between the samples. The identification of groups is important to identify which condition can maintain the physiological quality of *S. oleraceus* L seeds. Group 3 comprised half of the treatments, being characterized by most of the highest (G and HG) and lowest (FC and GSI) values for most traits, except for RG. Furthermore, it was possible to observe in this group a greater similarity between the grouped samples (FIGURE 3).

Figure 3 - Heatmap with Euclidean distance dendrogram by UPGMA method for physiological quality of *S. oleraceus* L. seeds at different storage times, temperature and cultivation. The acronyms below the heat map represent the treatments and variables: S (Storage – 0, 90 and 180 days); T (Temperature 30 and 20 °C); CC (Conventional Cultivation); OC (Organic Cultivation); FC (First Count); G (Percentage of Germination); GSI (Germination Speed Index); RG (Root Growth); HG (Hypocotyl Growth).



Source: Authors (2022).

It is also possible to observe a grouping between variables that for FC and GSI the highest values were found in conventional seeds, under a temperature of 30 °C, at 180 days. For RG, the highest values were also observed in seeds of conventional cultivation at 30 °C at 0 days. The variables G and HG were the ones that obtained the highest values grouped in a cluster.

Seeds of *S. oleraceus* L. have a high germination potential in a range of conditions, which shows their enormous potential for cultivation and, consequently, their use as food and medicinal plant in conditions of high temperatures. However, the physiological quality of the

seeds was affected by the interaction between the cultivation system and temperature. In addition, the interaction between these factors may suggest that the species may present variations, indicating a sensitivity in maintaining the viability of its seeds over time (CHAKRABORTY *et al.*, 2020). Thus, more research is needed on the influence of environmental factors in order to maintain or minimize the loss of physiological quality of *S. oleraceus* L.

4 CONCLUSION

The interaction between temperature and cultivation system influences the physiological quality of *Sonchus oleraceus* L. seeds during storage.

Seeds from conventional cultivation had higher vigor at a temperature of 30 °C when stored for 180 days.

Sonchus oleraceus L. have potential for cultivation at high temperatures.

REFERENCES

- AL JUHAIMI, F.; GHAFOR, K.; AHMED, I.; BABIKER, E.; ÖZCAN, M. Comparative study of mineral and oxidative status of *Sonchus oleraceus*, *Moringa oleifera* and *Moringa peregrina* leaves. **Journal of Food Measurement Characterization**, [S.l.], v. 11, n. 4, p. 1745-1751, 2017.
- ALI, H. H.; KEBASO, L.; MANALIL, S.; CHAUHAN, B. S. **Emergence and germination response of *Sonchus oleraceus* and *Rapistrum rugosum* to different temperatures and moisture stress regimes**. Australia: John Wiley & Sons, Ltda, 2020. v. 35. n.1, p. 16-23.
- ARAÚJO, M. E. S.; NEGREIROS, M. L de; SHIBATA, M. Biometria, qualidade fisiológica em diferentes temperaturas, substratos e tempos de armazenamento de sementes de pau preto (*Cenostigma tocantinum*). **Nativa**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 219-224, 2022.
- CHAKRABORTY, A.; BORDOLUI, S. K.; NANDI, D.; MAHATO, M. K. Seed Deterioration Pattern of Some China Aster During Storage. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, [S.l.], v. 9, n. 3, p. 1499-1506, 2020.
- CHAUHAN, B. S.; GILL, G.; PRESTON, C. Factors affecting seed germination of annual sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in southern Australia. **Weed Science**, [S.l.], v. 54, n. 5, p. 854-860, 2006.
- FELIX, F. C.; MEDEIROS, J. A. D. D.; FERRARI, C. D. S.; PACHECO, M. V.; TORRES, S. B. Molecular aspects during seed germination of *Erythrina velutina* Willd. under different temperatures (Part 1): reserve mobilization. *Journal of Seed Science*, [S.l.], v. 42, 2020.
- FERREIRA, E.; CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. J. A. E. **ExpDes. pt: Pacote experimental designs (portuguese)**. Version 1.2.2, 10 Abr. 2021.
- FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*, [S.l.], v. 67, n. 3, p. 567-591, 2015.
- FOX, J.; WEISBERG, S.; PRICE, B.; ADLER, D.; BATES, D.; BAUD-BOVY, G.; BOLKER, **B. car**: Companion to Applied Regression. R package version 3.0-2, 2019. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=car>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- GOMAA, N. H.; HASSAN, M. O.; FAHMY, G. M.; GONZÁLEZ, L.; HAMMOUDA, O.; ATTEYA, A. M. J. A. B. B. Allelopathic effects of *Sonchus oleraceus* L. on the germination and seedling growth of crop and weed species. **Acta Bot. Bras.**, [S.l.], v. 28, p. 408-416, 2014.
- GORDIN, C. R. B.; MARQUES, R. F.; MASETTO, T. E.; SCALON, S. D. P. Q.; SOUZA, L. C. F. de. Temperaturas e disponibilidades hídricas do substrato na germinação de sementes de niger. **Bioscience Journal**, [S.l.], v. 30, 2014. (Suplemento 1).
- GU, Z.; EILS, R.; SCHLESNER, M. Complex heatmaps reveal patterns and correlations in multidimensional genomic data. **Bioinformatics**, [S.l.], v. 32, n. 18, p. 2847-2849, 2016.

- HADI, Z.; SAJAD, M.; SAMIEH ESKANDARI, N.; MOHAMMAD, G.-A.; SURUR, K.; REYHANEH, A. Temperature effects on the seed germination of some perennial and annual species of Asteraceae family. **Plant Breeding and Seed Science**, [S.l.], v. 69, 2014).
- LABOURIAU, L.G. A Germinacao das Sementes. Washington: Secretaria Geral da Organizacao dos Estados Americanos, Programa Regional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1983.
- LI, X.; SIDDIQUE, K. H. "**Future smart food**". Rediscovering hidden treasures of neglected underutilized species for Zero Hunger in Asia, Bangkok. Bangkok, Thailand: FAO, 2018.
- MAGUIRE, J. D. Speed of Germination-Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor. **Crop Science**, [S.l.], v. 2, n. 2, 1962.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. São Paulo: USP, 2015.
- MONEMIZADEH, Z.; GHADERI-FAR, F.; SADEGHIPOUR, H. R.; SIAHMARGUEE, A.;SOLTANI, E.; TORABI, B.; BASKIN, C. C. Variation in seed dormancy and germination among populations of *Silybum marianum* (Asteraceae). **Plant Species Biology**, [S.l.], v. 36, n. 3, 412-424, 2021.
- NDIHOKUBWAYO, N.; NGUYEN, V. T.; CHENG, D. Effects of range, seasons and storage under different temperatures on germination of *Senecio vulgaris* (Asteraceae) seeds. **Peerj**, [S.l.], v. 4, v. 1691, 2016).
- NONATO, I. D. A.; VILORIA, M. I. V.; CARVALHO, G. D.; VALENTE, F. L.;SALCEDO, J. H. P.; DA ROSA, M. B.; DE CARVALHO, C. A. Healing Effects of Formulations with Extract of *Sonchus oleraceus*. **Acta Scientiae Veterinariae**, [S.l.], v. 46, n. 1, p. 7, 2018.
- OOI, M. K. J. Seed bank persistence and climate change. **Seed Science Research**, [S.l.], v. 22, n. 1, p. S53-S60, 2012.
- PEERZADA, A. M.; O'DONNELL, C.; ADKINS, S.. Biology, impact, and management of common sowthistle (*Sonchus oleraceus* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, [S.l.], v. 41, n. 8, 136, 2019.
- SANDOVAL, J. R.; RODRÍGUEZ, P. A.; POPAY, A. I. *Sonchus oleraceus* (common sowthistle). **Crop Protection Compendium**, [S.l.], [S.v.], [S.n.], 2019.
- SILVA, D.; STUEPP, C. A.; WENDLING, I.; HELM, C.; ANGELO, A. C. Influence of seed storage conditions on quality of *Torresea acreana* seedlings. **Cerne**, [S.l.], v. 25, p. 60-67, 2019.
- SILVA, J. C.; SILVA, J. D. J.; SILVA, S. S. D.; GOMES, R. A.;DANTAS, B. F. Effect of long-term storage on viability of buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) seeds. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 44, 2022.

- SILVA, L. C.; SAMPAIO, I. M. G.; BITTENCOURT, R. F. P. D. M.; ARAUJO, M. R. D.; FIGUEIREDO, S. P. R.; GUSMÃO, S. A. L.; COSTA, A. S. Influence of temperature on the germination and root size of *Acmella oleracea* (L.) RK Jansen. **Revista Agro@ambiente**, On-line, v. 14, 2020.
- SOUSA, A. D. E. D.; BOTEZELLI, L.; MENDES, P. N. Study of storage on seed germination of *Chresta sphaerocephala* DC. – Asteraceae. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 10, n. 9, p. e50110917893, 2021.
- SOUZA, T. C. L.; SILVEIRA, T. F. F.; RODRIGUES, M. I.; RUIZ, A. L. T. G.; NEVES, D. A.; DUARTE, M. C. T.; GODOY, H. T. A study of the bioactive potential of seven neglected and underutilized leaves consumed in Brazil. **Food Chemistry**, [S.l.], v. 364, n. 130, p. 350, 2021.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant Physiology and Development**. Porto Alegre: Artimed, 2017.
- VIANA, M.; CARLOS, L. A.; SILVA, E. C.; PEREIRA, S. M. F.; OLIVEIRA, D. B.; ASSIS, M. L. V. Phytochemical composition and antioxidant potential of unconventional vegetables. **Horticultura Brasileira**, [S.l.], v. 33, p. 504-509, 2015.
- VIEIRA, B. S.; BARRETO, R. W. First record of *Bremia lactucae* infecting *Sonchus oleraceus* and *Sonchus asper* in Brazil and its infectivity to lettuce. **Journal of Phytopathology**, [S.l.], v. 154, n. 2, p. 84-87, 2006.
- VILELA, F. C.; PADILHA, M. M.; SILVA, L. D. S.; SILVA, G. A.; PAIVA, A. G. Evaluation of the antinociceptive activity of extracts of *Sonchus oleraceus* L. in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, [S.l.], v. 124, n. 2, p. 306-310, 2009.
- YUAN, X.; WEN, B. Seed germination response to high temperature and water stress in three invasive Asteraceae weeds from Xishuangbanna, SW China. **PLoS ONE**, [S.l.], v. 13, n. 1, p. e0191710, 2018.

ARTIGO 2 - O AMBIENTE DE CULTIVO PROMOVE PLASTICIDADE EM PLANTAS DE *SONCHUS OLERACEUS* L.

RESUMO

A plasticidade fenotípica é a capacidade de um organismo modificar seu fenótipo em resposta às mudanças do ambiente. Estudos elucidam as respostas das plantas à temperatura e às estratégias de manejo, demonstrando a resiliência dessas plantas. Entretanto, para algumas espécies como *S. oleraceus*, essas informações ainda são incipientes. Diante disso, objetivou-se avaliar a plasticidade fenotípica de *S. oleraceus* em função da época, do sistema de cultivo e do estágio de fenológico. Para isso, plantas de *S. oleraceus* foram submetidas a duas épocas de cultivo (inverno e verão) e dois sistemas de cultivo (convencional e orgânico). Foram coletadas plantas em três estágios fenológicos (inicial, comercial e reprodutivo). Foram avaliados altura de plantas, número de folhas, massa seca das plantas, área foliar, taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida, pigmentos fotossintéticos (*Chl a*, *b* e *car*), peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, enzimas superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase. O ciclo de *S. oleraceus* foi reduzido na época de verão. Houve interação significativa entre os fatores para a maioria das variáveis. A área foliar foi estatisticamente superior no inverno em ambos os cultivos. Maior produção de *chl a* e *car* foram verificadas na época de inverno. As respostas enzimáticas do sistema antioxidante ocorreram seguindo a produção de radicais livres em função do cultivo e da época. A modulação de *S. oleraceus* em diferentes condições de cultivo demonstraram a potencialidade desta espécie em tolerar estresses ambientais. Conclui-se que a temperatura é o fator ambiental de maior impacto no metabolismo das plantas de *S. oleraceus*. A segunda época de cultivo, com temperaturas mais elevadas, resultou em um ciclo mais curto da cultura, e influenciou positivamente os parâmetros de crescimento de *S. oleraceus*. Os resultados indicam que o tipo de cultivo influencia a plasticidade fenotípica de *Sonchus oleraceus*. O cultivo orgânico favoreceu o crescimento e desenvolvimento da planta, com maior área foliar e taxas de crescimento superiores. As atividades enzimáticas antioxidantes foram influenciadas pelo sistema de cultivo e pela época, refletindo a resposta da planta ao estresse ambiental. A produção de radicais livres e a modulação do sistema antioxidante indicaram a capacidade de *S. oleraceus* em se adaptar e tolerar condições adversas. A plasticidade fenotípica de *S. oleraceus* permite que ela modifique seu fenótipo em resposta a diferentes condições de cultivo, como época de plantio e sistema de cultivo.

Palavras-chave: Serralha. Época de plantio. Sistema de cultivo. Qualidade fisiológica.

ABSTRACT

Phenotypic plasticity is the ability of an organism to modify its phenotype in response to changes in the environment. Studies elucidate plant responses to temperature and management strategies, demonstrating the resilience of these plants. However, for some species such as *S. oleraceus*, this information is still incipient. Therefore, the objective was to evaluate the phenotypic plasticity of *S. oleraceus* as a function of the season, the cultivation system and the phenological stage. For this, plants of *S. oleraceus* were submitted to two growing seasons (winter and summer) and two cultivation systems (conventional and organic). Plants were collected in three phenological stages (initial, commercial and reproductive). Plant height,

number of leaves, dry mass of plants, leaf area, absolute growth rate, relative growth rate, net assimilation rate, photosynthetic pigments (*Chl a*, *b* and *car*), hydrogen peroxide, lipid peroxidation, superoxide dismutase enzymes, catalase and ascorbate peroxidase were evaluated. The cycle of *S. oleraceus* was reduced in the summer season. There was a significant interaction between the factors for most variables. The leaf area was statistically higher in winter in both crops. Higher production of *chl a* and *car* were verified in the winter season. The enzymatic responses of the antioxidant system occurred following the production of free radicals as a function of the crop and the season. The modulation of *S. oleraceus* under different cultivation conditions demonstrated the potential of this species to tolerate environmental stresses. It is concluded that temperature is the environmental factor with the greatest impact on the metabolism of *S. oleraceus* plants. The results indicate that the type of cultivation influences the phenotypic plasticity of *Sonchus oleraceus*. The organic cultivation favored the growth and development of the plant, with greater leaf area and higher growth rates. The antioxidant enzymatic activities were influenced by the cultivation system and the season, reflecting the plant's response to environmental stress. The production of free radicals and the modulation of the antioxidant system indicated the ability of *S. oleraceus* to adapt and tolerate adverse conditions. The phenotypic plasticity of *S. oleraceus* allows it to modify its phenotype in response to different growing conditions, such as planting season and cultivation system.

Keywords: Sow thistle. Planting season. Cropping system. Physiological quality.

1 INTRODUÇÃO

As culturas estão em constante mudança e evolução devido à interação entre fatores ambientais e seus efeitos nos processos metabólicos das plantas (BECKLIN *et al.*, 2016). Com o aquecimento global cada vez mais iminente, as respostas evolutivas ao nível fisiológico são aspectos fundamentais para detectar quais características conferem adaptabilidade às plantas frente às variações do ambiente (XU *et al.*, 2020).

Estudos sobre a influência dos fatores ambientais no crescimento e o desenvolvimento das culturas são essenciais para compreender as respostas das culturas frente as mudanças, a fim de desenvolver estratégias para mitigar os efeitos adversos do ambiente (SNOWDON *et al.*, 2021). Espécies pouco exploradas como *Sonchus oleraceus* L., podem ser uma alternativa de cultura tolerante aos estresses abióticos, com potencial para satisfazer as necessidades de nichos específicos caracterizados por uma demanda por produtos alimentícios locais e sustentáveis (DIAS, 2012; RENNA *et al.*, 2018).

S. oleraceus, também conhecida por serralha ou cardo, é uma espécie herbácea originária da Europa, norte da África e oeste da Ásia. Embora seja difundida mundialmente como uma planta invasora (CHO *et al.*, 2019; MANALIL *et al.*, 2020; SANDOVAL *et al.*,

2019), em determinadas regiões do Brasil é tida como uma planta alimentícia não convencional (PANC), exercendo forte influência na alimentação e na cultura de populações regionais (MELO *et al.*, 2007).

Vários estudos demonstram o potencial terapêutico de *S. oleraceus* no tratamento de distúrbios gastrointestinais e doenças hepáticas, inclusive é utilizado como sedativo e anti-helmínticos (AL JUHAIMI *et al.*, 2017; FANG *et al.*, 2016; VILELA *et al.*, 2009). Esta planta também é usada como depurativo, diurético, laxante e tônico na medicina tradicional (JIMOH *et al.*, 2011; YIN *et al.*, 2008). No Brasil é utilizada em algumas regiões como hortaliça não convencional, além de ser utilizada como planta medicinal por meio de infusão ou decocção no tratamento espasmo gástrico, hepatite, infecções, inflamação, dores, reumatismo, e com potencial para o tratamento de vitiligo (LIMA *et al.*, 2009; NONATO *et al.*, 2018; VIANA *et al.*, 2015).

Apesar das propriedades nutraceuticas, os aspectos relacionados à sua fisiologia, sobretudo em condições ambientais adversas e como tais respostas durante o cultivo e as estratégias de manejo que possam desencadear em maior qualidade pós-colheita, ainda são incipientes. Ao desenvolver plantas que são mais capazes de resistir aos estressores ambientais, podemos garantir que a produtividade das culturas não seja limitada pelas mudanças climáticas (SILVA *et al.*, 2018).

A melhor abordagem para aumentar a produtividade das culturas é provavelmente uma combinação de diferentes métodos, adaptados às necessidades específicas das plantas e do ambiente em que são cultivadas. A partir deste contexto, objetivou-se avaliar o impacto do ambiente de cultivo nas respostas fisiológicas, enzimáticas e produtivas de *S. oleraceus*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental do setor de Olericultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), 21°14'S, 45°00'W, a 918 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen, o clima é Cwa, considerado mesotérmico, com inverno seco e verão chuvoso. Os dados meteorológicos nos dois períodos do experimento foram obtidos utilizando um datalogger de temperatura e umidade Elitech Brasil® (modelo RC-51H), posicionado próximo aos cultivos.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2x3 com cinco repetições. O primeiro fator corresponde a duas épocas de cultivo (época I, correspondente ao período de maio a junho e época II, correspondente ao período de

outubro a novembro), o segundo fator corresponde a dois sistemas de cultivo (convencional e orgânico) e o terceiro fator corresponde a três estádios de desenvolvimento (estádio I, que corresponde a fase inicial, pós estabelecimento da plântula; estágio II, que corresponde as plantas as plantas em período vegetativo, com folhas comerciais para consumo *in natura*; estágio III, correspondente as plantas em período reprodutivo).

Foram utilizadas sementes do acesso 06 de *S. oleraceus* da coleção ativa do banco de germoplasma de hortaliças não convencionais da UFLA. A espécie foi identificada e depositada no Herbário PAMG (Herbário da Empresa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil) sob o número 58897. As sementes foram semeadas em bandejas de polietileno, com irrigação via micro aspersão suspensa e invertida e após período de 25 dias, quando as mudas apresentaram 4 folhas verdadeiras, foram transplantadas para os canteiros de cada sistema de cultivo.

Durante o preparo do solo, foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm, nos dois períodos de cultivo. O solo apresentou as seguintes características, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo e teores totais disponíveis para cada tratamento.

Determinação	Unidade	Época 1		Época 2	
		Orgânico	Convencional	Orgânico	Convencional
pH	g dm ⁻³	6,90	6,60	6,70	5,40
MO	g dm ⁻³	24,40	18,30	25,20	15,50
P	mg dm ⁻³	146,20	27,98	105,11	28,55
K	mg dm ⁻³	165,41	102,08	243,57	136,12
Ca	mmol _c dm ⁻³	45,60	33,00	48,90	24,30
Mg	mmol _c dm ⁻³	11,00	8,30	13,20	7,50
H + Al	mmol _c dm ⁻³	71,00	21,00	11,00	23,00
SB	mmol _c dm ⁻³	60,80	43,90	68,30	35,30
T	mmol _c dm ⁻³	131,80	64,90	79,30	58,30
V	%	46,16	67,67	86,19	60,53

Ca, Mg e Al - Extrator: KCl - 1 mol L; P, Na, K, Fe, Zn, Mn e Cu- Extrator Mehlich 1; H + Al - Extrator: SMP; S - Extrator - Fosfato monocálcio em ácido acético; B- Extrator água quente; pH em água, KCl e CaCl₂; (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N.

Fonte: Da autora (2023).

A análise do solo foi utilizada como base para a adubação durante o plantio, seguindo as diretrizes propostas por SANTOS *et al.* (2012) para a cultura. As quantidades de nutrientes aplicadas foram: N= 80 kg ha⁻¹; K₂O= 100 kg ha⁻¹; P₂O₅ = 120 kg ha⁻¹. No sistema orgânico, optou-se por utilizar 5400 kg ha⁻¹ de esterco de aves, enquanto no sistema convencional foram aplicados 196,3 kg ha⁻¹ de ureia, 719,0 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 186,2 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Em cada um dos três estádios de desenvolvimento determinados foram avaliadas as seguintes características: altura de plantas (cm), utilizando-se uma régua medindo da superfície do solo ao ápice; número de folhas (NF), determinado pela contagem numérica de folhas/planta; massa seca das plantas (g) em suas frações: parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), obtida após permanecer em estufa de ventilação forçada na temperatura de ± 65 °C, até atingir peso constante.

A área foliar (dm^2) foi determinada através da correlação entre a massa seca de folha, peso médio de dez discos foliares e área foliar dos discos foliares. Os discos foliares foram obtidos com o auxílio de um perfurador de área conhecida, evitando-se a nervura central conforme descrito por Benincasa (2003). Com base nos resultados de massa seca e área foliar, foram determinados através de equações matemáticas os índices fisiológicos: taxa de crescimento absoluto ($\text{g planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), taxa de crescimento relativo ($\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), taxa assimilatória líquida ($\text{g dm}^2 \text{ dia}^{-1}$).

A extração e quantificação dos pigmentos fotossintéticos seguiu a metodologia de Lichtenthaler *et al.* (2001). Foram coletados 0,1 mg de tecido foliar fresco, e acondicionada em frasco âmbar contendo 5 mL de acetona (80% v/v). Após incubação de 48 h, as amostras foram analisadas em espectrofotômetro nos comprimentos de ondas 663, 646,3 e 470 nm respectivamente, para clorofilas *a*, *b* e carotenoides expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ MF.

O peróxido de hidrogênio ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1}$ MF) foi quantificado com base em uma curva padrão com concentrações conhecidas de H_2O_2 (VELIKOVA *et al.*, 2000). A peroxidação lipídica ($\eta\text{mol MDA mg}^{-1}$ MF) também foi quantificada pelo teste do malondialdeído, determinada pela quantificação das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico, descrito por Buege *et al.* (1978).

Para avaliação do sistema antioxidante, as atividades das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) foram determinadas após extração enzimáticas. A SOD ($\text{U SOD min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ MF) foi determinada de acordo com o método proposto por GIANNOPOLITIS *et al.* (1977), inibindo a fotoredução do Nitroazul Tetrazólio (NBT) a 560 nm. A CAT ($\eta\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ MF) foi determinada pelo consumo do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 240 nm por 3 min (HAVIR *et al.*, 1987). A APX ($\eta\text{mol ASA min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ MF) foi avaliada monitorando a oxidação do ascorbato a 290 nm por 3 min, conforme Nakano *et al.* (1981).

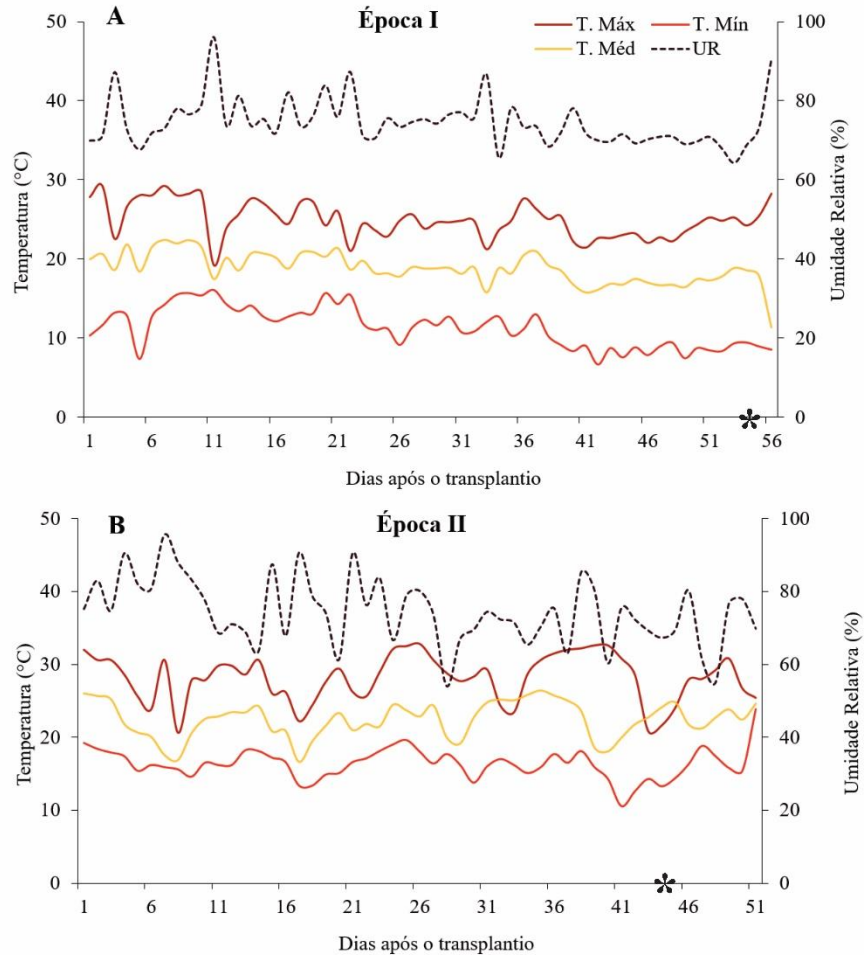
Os dados experimentais foram submetidos à análise estatística por meio da plataforma R versão 4.1.2. Os dados obtidos foram submetidos a testes de homogeneidade das variâncias (Levene e Bartlett, $p \geq 0,05$) e teste de normalidade (Shapiro-Wilk, $p \geq 0,05$), utilizando o

pacote “car” (FOX *et al.*, 2019). Os resíduos que apresentaram normalidade seguiram para uma análise de variância ANOVA (teste F, $p \leq 0,05$) para verificar o efeito dos tratamentos e as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o pacote “ExpDes.pt” (FERREIRA *et al.*, 2021).

3 RESULTADOS

De acordo com os dados climáticos, houve diferenças entre as duas épocas de cultivo, de modo que a variação de temperatura influenciou no ciclo de *S. oleraceus*. A temperatura máxima durante a primeira época de cultivo (maio a junho) variou entre 19,2 e 29,2 °C (FIGURA 1A), enquanto na segunda época (outubro a novembro) essa variação foi entre 20,8 e 32,6 °C (FIGURA 1B).

Figura 1 - Valores de temperatura (°C) máxima, mínima e a média diária no eixo primário (representadas pelas linhas contínuas vermelho escuro, rosa e amarelo, respectivamente) e umidade relativa (%) no eixo secundário (representada pela linha azul tracejada), registrados nos períodos de maio a junho (A) e outubro a novembro (B). Asterisco (*) indica fim do ciclo.



Fonte: Da autora (2023).

Já a temperatura mínima a variação foi entre 6,6 e 16,1 °C durante o inverno, enquanto no verão essa variação ficou entre 10,6 e 23,8 °C. As plantas na primeira época de cultivo completaram seu ciclo aos 55 DAT, enquanto na segunda época seu ciclo foi completado aos 45 DAT, indicando que temperaturas mais elevadas reduziram o ciclo da cultura (FIGURA 1).

Os tratamentos influenciaram nos resultados de forma diferente, de modo que houve efeito significativo ($p \leq 0.05$) na interação entre cultivo e época de plantio em cada estágio fenológico, para a maioria das variáveis. Para altura de plantas (AP), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e razão raiz: parte aérea (R:PA), foram verificadas diferenças nos três estádios entre as épocas e entre os cultivos (TABELA 2).

Tabela 2 - Valores médios de Altura de plantas [AP (cm)], Número de Folhas (NF), Massa Seca da Parte Aérea [MSPA (g)], Massa Seca de Raiz [MSR (g)], razão Raiz: Parte Aérea (R:PA), de *S. oleraceus* em três estádios, submetidas em duas épocas [Época 1 (maio a junho), época 2 (outubro a novembro)] e dois cultivos (Orgânico e convencional).

Cultivo	Estádio I									
	1ª Época					2ª Época				
	AP	NF	MSPA	MSR	R:PA	AP	NF	MSPA	MSR	R:PA
Orgânico	27,1bA	10bA	4,04aA	0,6bA	0,2bA	36,9aA	27aA	4,2aA	1,5aA	0,4aA
Convencional	25,2bA	13bA	5,35aA	0,8aA	0,1bA	39,2aA	22aA	2,4bB	0,8aA	0,3aA
Cultivo	Estádio II									
	1ª Época					2ª Época				
	AP	NF	MSPA	MSR	R:PA	AP	NF	MSPA	MSR	R:PA
Orgânico	31,7bA	37aA	8,9aA	3,8aA	0,4aB	44,5aA	38aA	6,0bA	1,5bA	0,2bA
Convencional	35,3bA	38aA	7,5aA	4,3aA	0,5aA	42,1aA	32aA	5,1bA	1,3bA	0,3bA
Cultivo	Estádio III									
	1ª Época					2ª Época				
	AP	NF	MSPA	MSR	R:PA	AP	NF	MSPA	MSR	R:PA
Orgânico	85,6bB	79aA	27,4bA	11,0aA	0,4aA	102,6aA	56bA	31,4aA	7,5bA	0,2bA
Convencional	97,5bA	84aA	38,1aA	12,0aA	0,3aB	105,5aA	57bA	24,5bB	4,9bB	0,2bA

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$).

Fonte: Da autora (2023).

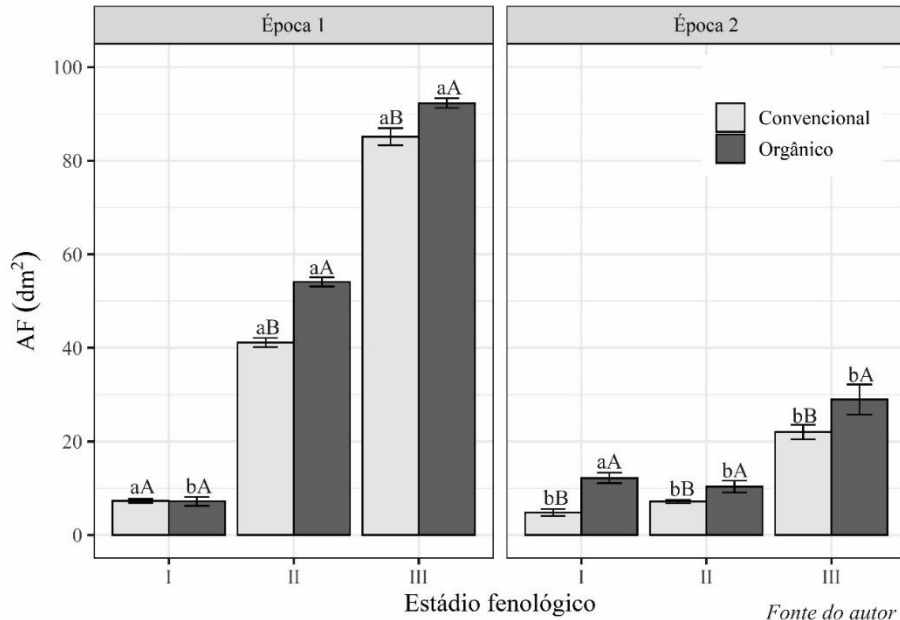
No estágio I, a segunda época de cultivo foi estatisticamente superior à primeira para AP, NF e R:PA em ambos os cultivos, enquanto para MSPA houve diferença no estágio I apenas no convencional, sendo o da primeira época superior. Já para MSR houve diferenças para o cultivo orgânico, sendo a segunda época superior estatisticamente à primeira, conforme Tabela 2.

Para a massa seca de planta (MSPA), o cultivo orgânico obteve os maiores resultados no estágio I, enquanto no estágio II o cultivo convencional foi superior. Já para a matéria seca de raiz (MSR), as diferenças não foram significativas, enquanto para a relação raiz: parte aérea (R:PA), o cultivo convencional foi superior ao orgânico no estágio II (TABELA 2).

No estágio III, as plantas da primeira época de cultivo foram superiores estatisticamente para NF, MSR e R:PA, enquanto para MSPA, isso foi observado apenas no cultivo convencional. Já em função dos cultivos foi observado no estágio III diferenças estatísticas na primeira época para AP, sendo o convencional superior e, para R:PA, sendo o orgânico superior. Para MSR o cultivo orgânico foi superior, apenas na segunda época de cultivo.

Para a área foliar (AF) de *S. oleraceus* foi observada interação entre os tratamentos (FIGURA 2). Os maiores índices foram observados no estágio III da primeira época de plantio em ambos os cultivos, com valores médios de 85,1 e 95,3 dm² para convencional e orgânico, respectivamente. Houve diferenças entre as épocas e entre os cultivos, sendo que as plantas da primeira época foram superiores as da segunda época para os estádios II e III, conforme ilustra a Figura 2.

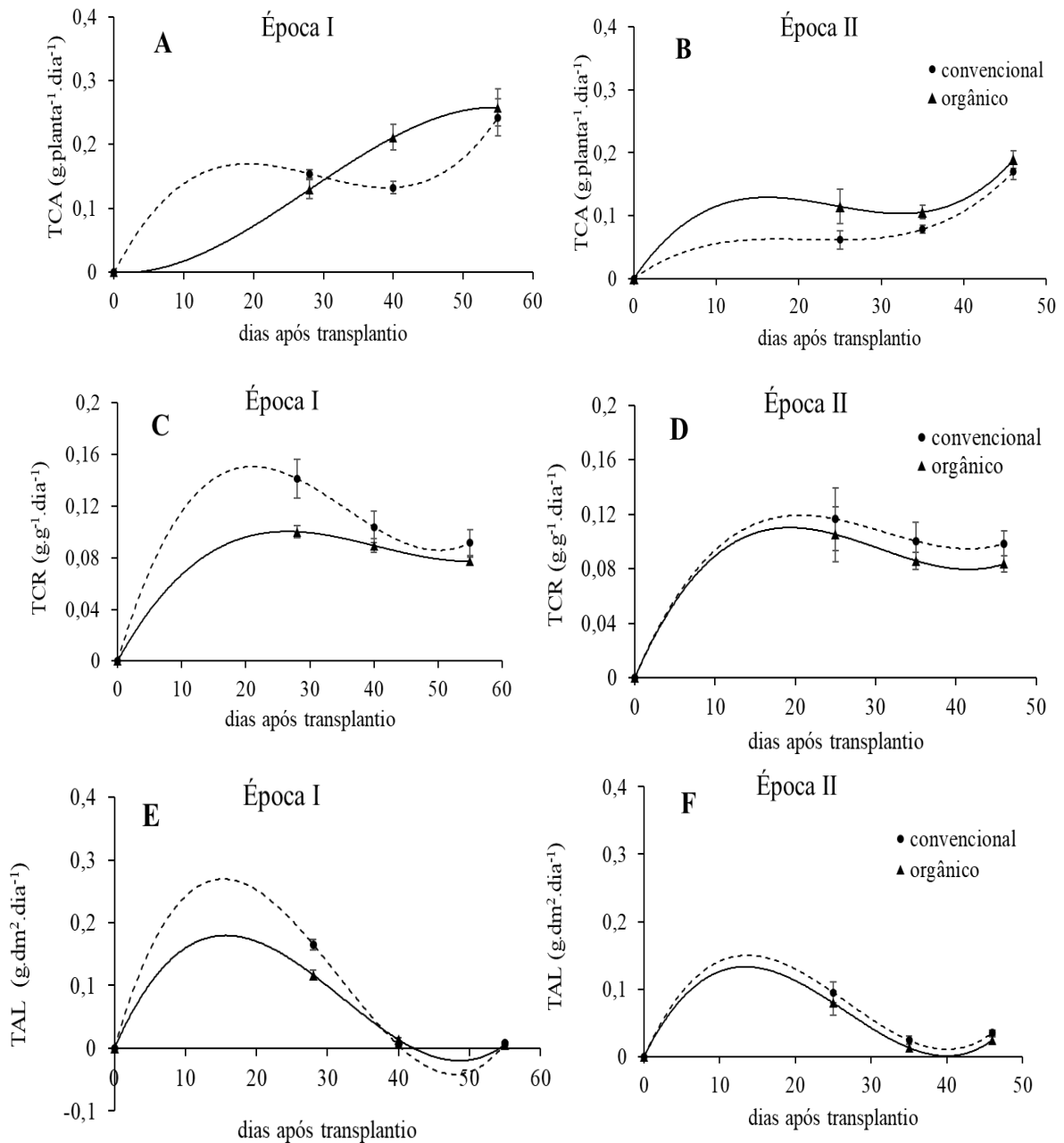
Figura 2 - Valores médios de área foliar [AF (dm²)] de *S. oleraceus* em três estádios, submetidas em duas épocas [Época 1 (maio a junho), época 2 (outubro a novembro)] e dois cultivos (Orgânico e convencional). Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$).



Fonte: Da autora (2023).

Para taxa de crescimento absoluto (FIGURA 3A e B) observou-se na época I, que plantas do cultivo convencional tiveram crescimento progressivo durante seu ciclo, enquanto as plantas do cultivo orgânico apresentaram um decréscimo aos 28 DAT, sendo retomado crescimento 40 DAT (FIGURA 3A). Na época II ambos os cultivos demonstraram comportamento semelhante durante o ciclo, tendo o cultivo convencional obtido maiores índices de TCA (FIGURA 3B).

Figura 3 - Taxa de crescimento absoluto [TCA ($\text{g planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)], taxa de crescimento relativo [TCR ($\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)] e taxa assimilatória líquida [TAL ($\text{g dm}^2 \text{ dia}^{-1}$)] de *S. oleraceus* em função de duas épocas [Época 1 (maio a junho), época 2 (outubro a novembro)] e dois cultivos (Orgânico e convencional). Cada valor representa o valor médio ($n=5$).



Fonte: Da autora (2023).

Para a taxa de crescimento relativo (FIGURA 3C e D) foram verificadas respostas semelhantes entre os cultivos em ambas as épocas. Todavia, as plantas no cultivo orgânico obtiveram os maiores valores, chegando em $0,16 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ na época I (FIGURA 3C).

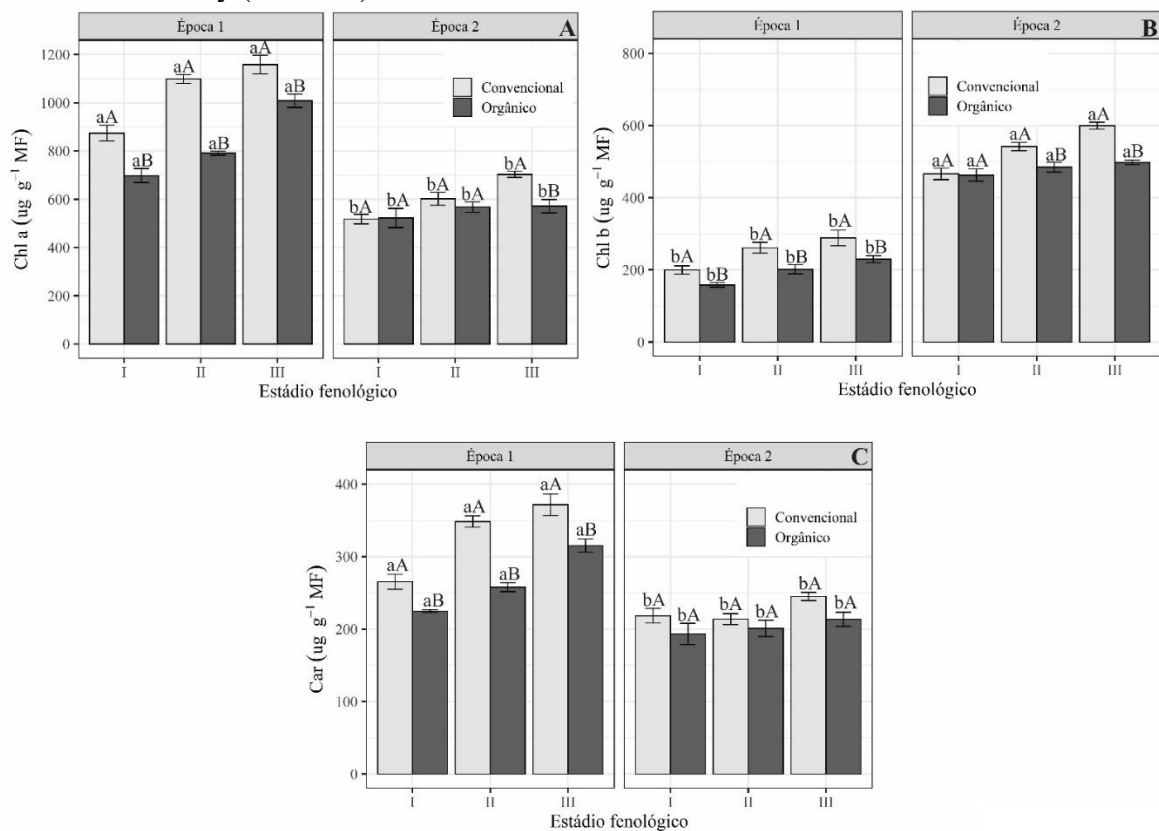
Houve diferenças entre os cultivos para taxa assimilatória líquida (FIGURA 3E e F) na época I (FIGURA 3E). Plantas do cultivo orgânico obtiveram TAL médio de $0,27 \text{ g dm}^2 \text{ dia}^{-1}$

aos 16 DAT, enquanto o cultivo convencional obteve no mesmo período TAL médio de 0,17 g dm² dia⁻¹. Após isso, foi verificado decréscimo contínuo, chegando a valores negativos após 40 DAT para ambos os cultivos (FIGURA 3F).

O conteúdo de pigmento também foi influenciado pelos tratamentos. Para a clorofila *a* (chl *a*) houve diferenças entre as épocas e entre os cultivos (FIGURA 4A). As plantas submetidas à primeira época tiveram produção de chl *a* superiores às da segunda época para ambos os cultivos.

Dentro da primeira época foram observadas diferenças entre os cultivos, sendo que nas do cultivo convencional foram verificados os maiores resultados de chl *a* que nas plantas do cultivo orgânico, em todos os estádios. Já na segunda época foram detectadas diferenças apenas no estágio III, sendo o cultivo convencional superior ao orgânico, conforme visto na Figura 4A.

Figura 4 - Valores médios de clorofila a [Chl a ($\mu\text{g g}^{-1} \text{MF}^{-1}$)], clorofila b [Chl b ($\mu\text{g g}^{-1} \text{MF}^{-1}$)] e carotenoides [Car ($\mu\text{g g}^{-1} \text{MF}^{-1}$)] de *S. oleraceus* em três estádios, submetidas a duas épocas [Época 1 (maio a junho), época 2 (outubro a novembro)] e dois cultivos (Orgânico e convencional). Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$).

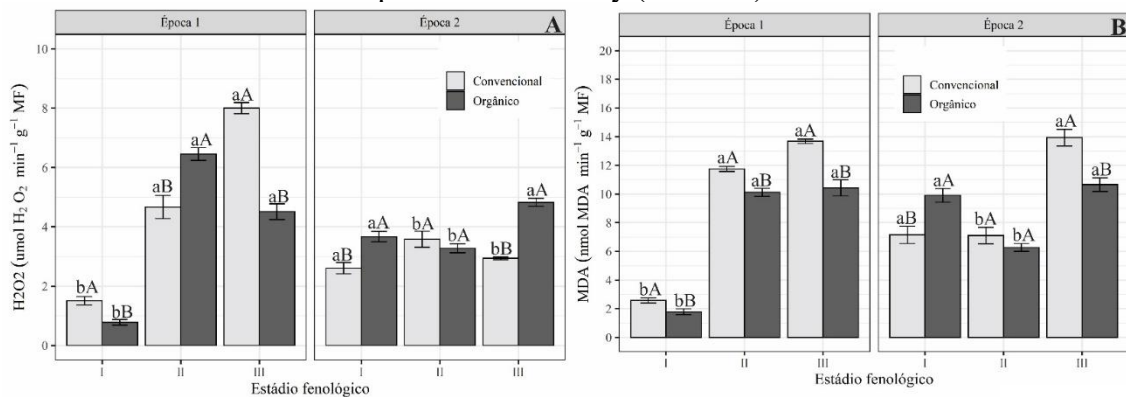


Fonte: Da autora (2023).

Em relação à clorofila *b* (*chl b*), houve um incremento em função das épocas de modo que a segunda época de cultivo teve um aumento significativo para esta variável. Em relação aos cultivos, o convencional obteve resultados superiores de *chl b* em ambas as épocas e em todos os estádios, exceto no estágio I onde não foi verificada diferenças significativas (FIGURA 4B). Já em relação ao teor de carotenoides foi verificado efeito significativo entre as épocas, sendo a primeira superior a segunda em ambos os cultivos (FIGURA 4C).

Para o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) foi verificado um efeito entre os cultivos, onde na primeira época o cultivo convencional obteve um aumento progressivo na produção de H_2O_2 . Já para o cultivo orgânico na mesma época de plantio houve declínio na produção de H_2O_2 no estágio III da cultura. Na época 2 de plantio, a produção de H_2O_2 foi maior para o cultivo orgânico, exceto no estágio II onde não houve diferenças entre os cultivos (FIGURA 5A).

Figura 5 - Valores médios de peróxido de hidrogênio [H_2O_2 ($\mu\text{mol } H_2O_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ MF}$)] e peroxidação lipídica [MDA ($\eta\text{mol MDA min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ MF}$)] de *S. oleraceus* em três estádios, submetidas a duas épocas [Época 1 (maio a junho), época 2 (outubro a novembro)] e dois cultivos (Orgânico e convencional). Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$).



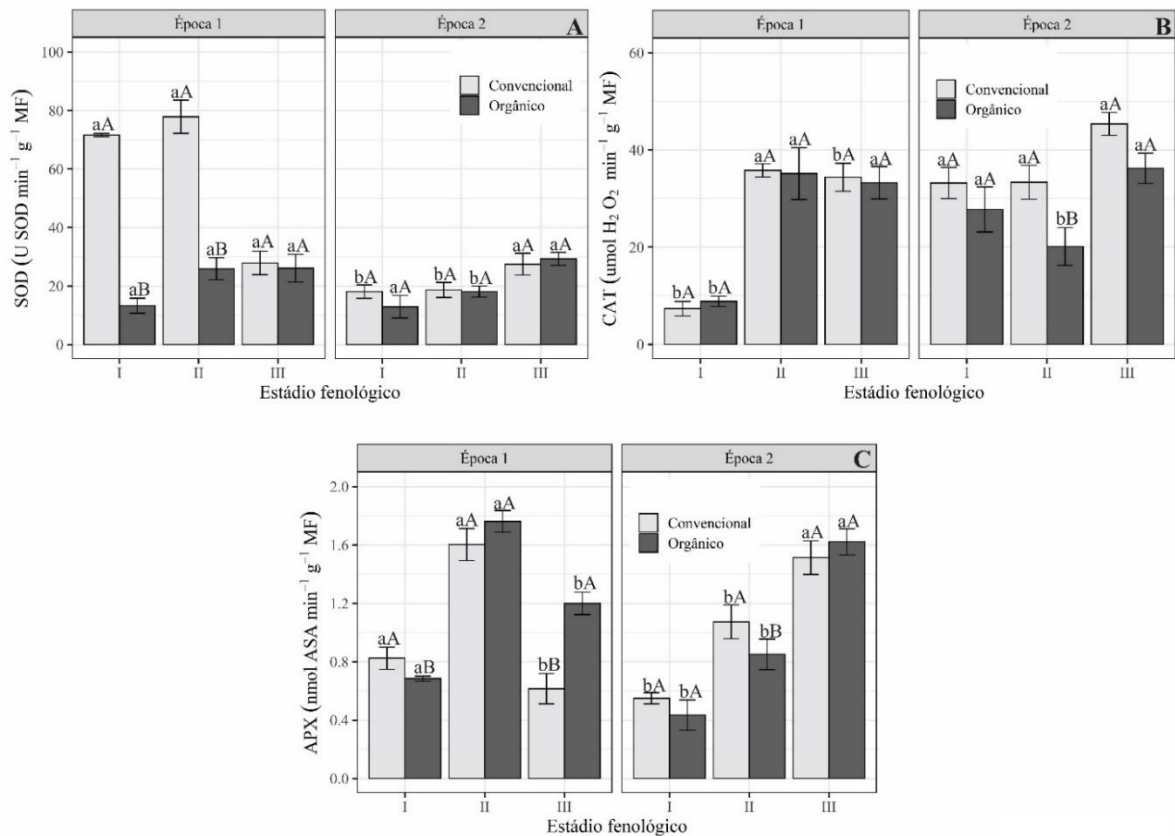
Fonte: Da autora (2023).

Os níveis de peroxidação lipídica (MDA) também sofreram variações em detrimento dos tratamentos (FIGURA 5B). Na época 2 de plantio, os maiores níveis de MDA foram observados no estágio II e III para ambos os cultivos, sendo o cultivo convencional superior ao orgânico. Na época 2 o cultivo orgânico foi estatisticamente superior no estágio I, enquanto o convencional no estágio III, diferindo entre si.

As respostas das enzimas antioxidantes também diferiram em função dos tratamentos. Para superóxido dismutase (SOD) foi verificado que o cultivo convencional apresentou nos estádios I e II maior atividade de SOD na primeira época (FIGURA 6A). Entre épocas para as

plantas do cultivo orgânico, apenas no estágio II tiveram maior atividade da enzima na primeira época comparado à segunda época.

Figura 6 - Valores médios de superóxido dismutase [SOD ($\text{U SOD min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{MF}$)], catalase [CAT ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{MF}$)] e ascorbato peroxidase [APX ($\eta\text{mol ASA min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{MF}$)] de *S. oleraceus* em três estádios, submetidas a duas épocas [Época 1 (maio a junho), época 2 (outubro a novembro)] e dois cultivos (Orgânico e convencional). Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$).



Fonte: Da autora (2023).

A atividade da catalase (CAT) no cultivo convencional obteve maiores respostas significativas na segunda época nos estádios I e III. Já o orgânico diferiu entre as épocas sendo a segunda superior no estágio I e, no estágio II a primeira época obteve maior resposta. Houve diferença da CAT entre os cultivos apenas no estágio II da segunda época, cujo cultivo convencional demonstrou maiores valores em relação ao orgânico (FIGURA 6B).

Para a enzima ascorbato peroxidase (APX) foi verificada respostas diferentes em função das épocas e cultivos em cada estágio, conforme mostra Figura 6C. Na época 1 foi visto uma diferença entre os cultivos, nos estádios I e III, enquanto para época 2 isso foi verificado apenas no estágio II. Também foi verificada diferenças estatísticas entre as épocas, sendo que as plantas

do cultivo convencional e orgânico obtiveram maior atividade da APX na primeira época, exceto no estágio III (FIGURA 6C).

4 DISCUSSÃO

A fisiologia e a produtividade das culturas são moduladas pelos fatores em que as plantas são expostas durante seu ciclo (SULTAN *et al.*, 2019). As plantas de *S. oleraceus* L. apresentam ampla variação de resposta aos fatores ambientais (SANDOVAL *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2012). Diante dos resultados, pode-se inferir que a temperatura é o fator ambiental que mais influencia o ciclo de vida de *S. oleraceus*.

As diferenças nos parâmetros de crescimento (TABELA 2) também podem ser um indicativo de que as plantas submetidas à segunda época de cultivo foram capazes de utilizar melhor os índices os índices de temperatura e radiação, o que pode ter favorecido a produção de fotoassimilados das plantas (CARRERA *et al.*, 2021; PANDEY *et al.*, 2017). Isso levou, por sua vez, a uma maior altura de plantas, número de folhas, e razão raiz: parte aérea.

O tipo de cultivo também pode ter influenciado significativamente, sobretudo na produtividade de *S. oleraceus*. Em geral, a disponibilidade de nutrientes varia, todavia, diferenças na temperatura podem mudar a taxa de mineralização (HASANUZZAMAN *et al.*, 2013). Isso pode afetar na solubilidade dos nutrientes, no movimento de água e nutrientes dentro da planta, desencadeando em diferentes reações bioquímicas e comprometendo o desenvolvimento da cultura (KHALIL *et al.*, 2018).

O aumento progressivo na altura de plantas nos três estádios foi significativamente maior na segunda época do que na primeira. A altura de plantas é um parâmetro de crescimento afetado pelas condições ambientais que se apresentam ao longo do ciclo fenológico. O aumento na altura de plantas na segunda época de cultivo pode estar relacionado ao aumento na temperatura média diurna, que associado a alta disponibilidade de luz, promoveu o aumento na taxa fotossintética e conseqüentemente, em maior crescimento das plantas (SULTAN *et al.*, 2019).

Outro parâmetro importante para medir a eficiência fotossintética das plantas é a área foliar (HANG *et al.*, 2019). Este estudo mostrou diferenças significativas entre as plantas do cultivo convencional e do cultivo orgânico, conforme visto na Figura 2. Em geral, temperaturas mais baixas tendem a aumentar a área foliar de uma planta, enquanto temperaturas mais altas tendem a diminuir a área foliar (NIEVOLA *et al.*, 2017; RIVERO *et al.*, 2022).

Temperaturas mais baixas geralmente diminuem a taxa metabólica de uma planta, o que pode levar a um aumento no tamanho das células. Isso, por sua vez, leva a um aumento no tamanho geral das folhas (NIEVOLA *et al.*, 2017). Por outro lado, temperaturas mais altas podem levar a um aumento na taxa de evaporação. Além disso, podem aumentar a temperatura das folhas, levando à desnaturação de enzimas e, conseqüentemente, à uma diminuição na taxa metabólica geral da planta que resultou em uma menor área foliar (ZHAO *et al.*, 2020), conforme ocorrido para *S. oleraceus*, independentemente do cultivo (FIGURA 2).

A TCA é um parâmetro interessante para verificar a velocidade de crescimento das plantas em função dos tratamentos, ao longo do tempo. As diferenças nas TCA entre os sistemas podem ocorrer devido a diferença na disponibilidade de nutrientes (FIGURA 3A e B). No sistema orgânico a liberação de nutrientes ocorre lentamente, sobretudo em temperaturas mais baixas cuja taxa de decomposição da matéria orgânica é menor (FORSTER *et al.*, 2013).

Enquanto isso, no sistema convencional os nutrientes estão prontamente disponíveis, o que explicaria a variação no comportamento da TCA. O crescimento relativo mostrou uma diferença na estação mais fria, indicando plasticidade fisiológica da espécie, quando comparado às temperaturas mais quentes (SCHEEPENS *et al.*, 2018).

A TAL em termos de massa seca produzida por unidade de área foliar é mais sensível a temperaturas mais baixas. Os resultados demonstrados na Figura 3E e 3F sugerem que plantas de *S. oleraceus* são menos capazes de fotossintetizar em temperaturas mais baixas. Desse modo, à medida que a temperatura média do planeta aumenta, pode-se esperar que a TAL aumente. No entanto, se a temperatura ficar muito alta, a taxa começará a diminuir novamente (ÁVILA *et al.*, 2019). Essas informações são importantes para entender como as plantas responderão às mudanças climáticas.

Este estudo fornece evidências de que a produção de chl *a* é dependente da temperatura, e que temperaturas mais baixas podem ser mais favoráveis. A maior produção de chl *a* na estação fria pode ter ocorrido devido ao menor tempo de luz, o que significa que as plantas precisam produzir mais chl *a* para absorver a mesma quantidade de luz (FIGURA 4A) (STREIT *et al.*, 2005).

Já as respostas da chl *b* devem estar relacionadas a diferença no suprimento de nutrientes, fazendo com que plantas do cultivo orgânico produzam menos clorofila (FIGURA 4B). Temperaturas mais altas podem aumentar a atividade fotossintética, levando a taxas mais altas de transferência de energia e, portanto, maior produção de chl *b* (MARCOS FILHO, 2015; STREIT *et al.*, 2005).

As plantas podem sofrer estresse devido a inúmeros fatores, incluindo condições ambientais. Quando as plantas estão sob estresse, tendem a produzir mais car. As plantas do cultivo convencional foram estatisticamente superiores ao cultivo orgânico. Isso sugere que as plantas orgânicas podem ser mais resistentes ao estresse oxidativo (MAOKA, 2020).

Baixas temperaturas aumentam a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS). As baixas temperaturas na primeira época resultaram em um aumento significativo das substâncias oxidativas para as plantas, conforme Figura 5. Existem alguns mecanismos potenciais pelos quais baixas temperaturas podem aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio. Baixas temperaturas podem causar alterações na conformação da membrana celular que pode ter influenciado na homeostase redox celular (WANG *et al.*, 2020).

As baixas temperaturas na primeira época resultaram em um aumento significativo das substâncias oxidativas para as plantas, conforme Figura 5A e B. Existem alguns mecanismos potenciais pelos quais baixas temperaturas podem aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio. Baixas temperaturas podem causar alterações na conformação da membrana celular que pode ter influenciado na homeostase redox celular (WANG *et al.*, 2020).

Os radicais livres podem ser produzidos quando as células são expostas a estresses térmicos, comprometendo a biossíntese de agentes antioxidantes e induzindo o estresse oxidativo (QAMER *et al.*, 2021). Diferenças no MDA indicam que o estresse às plantas seja devido a fatores ambientais e não a qualquer coisa inerente às próprias plantas (FIGURA 5B). Conseqüentemente, ocorre uma cascata de reações que aumentam os radicais livres e agravam a peroxidação lipídica através da síntese de malondialdeído e, com isso, desestabilizam as membranas (SARWAR *et al.*, 2019).

A atividade da SOD pode ajudar a diminuir o risco de danos oxidativos causados por fatores abióticos, através da dismutação do radical superóxido ($O_2^{\bullet-}$) em H_2O_2 . Neste estudo, houve uma redução na atividade dessa enzima (FIGURA 6A) que pode estar relacionada à compartimentalização intracelular do H_2O_2 , fazendo com que outras enzimas, como CAT e APX aumentem sua atividade na eliminação e desintoxicação do H_2O_2 nas células de *S. oleraceus* L. (GUPTA *et al.*, 2018; KAPOOR *et al.*, 2019).

A catalase é a enzima responsável pela conversão de altas concentrações de H_2O_2 em H_2O e O_2 . A atividade da enzima foi influenciada tanto pelo cultivo quanto pela temperatura, de modo que sua atividade está diretamente relacionada à produção de ROS em cada estágio. Baixas temperaturas causam redução na atividade enzimática, incluindo enzimas antioxidantes, devido à instabilidade de proteínas (DING *et al.*, 2019). Todavia, a atividade enzimática de

plantas de *S. oleraceus* demonstram que elas têm potencial de aclimação ao ponto de restringir seu metabolismo sem comprometer o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

Foi verificada a rápida capacidade de resposta de *S. oleraceus* ao ambiente. As diferentes respostas desta espécie em parâmetros de crescimento e inerentes ao metabolismo podem inferir que suas múltiplas respostas em diferentes condições, podem determinar sua finalidade de cultivo. Tais respostas encontradas nesta pesquisa podem contribuir para melhorar o potencial comercial *S. oleraceus*, independentemente do fim.

5 CONCLUSÕES

A temperatura é o fator ambiental de maior impacto no metabolismo das plantas de *Sonchus oleraceus* L. A segunda época de cultivo, com temperaturas mais elevadas, resultou em um ciclo mais curto da cultura, e influenciou positivamente os parâmetros de crescimento de *S. oleraceus*.

Os resultados indicam que o tipo de cultivo (convencional vs. orgânico) influencia a plasticidade fenotípica de *Sonchus oleraceus*. O cultivo orgânico favoreceu o crescimento e desenvolvimento da planta, com maior área foliar e taxas de crescimento superiores.

As atividades enzimáticas antioxidantes foram influenciadas pelo sistema de cultivo e pela época, refletindo a resposta da planta ao estresse ambiental. A produção de radicais livres e a modulação do sistema antioxidante indicaram a capacidade de *S. oleraceus* em se adaptar e tolerar condições adversas.

A plasticidade fenotípica de *S. oleraceus* permite que ela modifique seu fenótipo em resposta a diferentes condições de cultivo, como época (inverno e verão) e sistema de cultivo (convencional e orgânico).

REFERÊNCIAS

- AL JUHAIMI, F.; GHAFOR, K.; AHMED, I. A. M.; BABIKER, E. E. *et al.* Comparative study of mineral and oxidative status of *Sonchus oleraceus*, *Moringa oleifera* and *Moringa peregrina* leaves. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [S.l.], v. 11, n. 4, p. 1745-1751, 2017.
- ÁVILA, M. de. S. N.; BARBOSA, J. M. J. B. J. O. D. Análise de crescimento de pimentabiquinho em diferentes níveis de radiação solar. *Brazilian Journal of Development*, [S.l.], v. 5, n. 12, p. 31985-31997, 2019.
- BECKLIN, K. M.; ANDERSON, J. T.; GERHART, L. M.; WADGYMAR, S. M. *et al.* Examining Plant Physiological Responses to Climate Change through an Evolutionary Lens **Plant Physiology**, [S.l.], v. 172, n. 2, p. 635-649, 2016.
- BENINCASA, M. J. S. F. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: Funep, 2003. 42 p.
- BUEGE, J. A.; AUST, S. D. [30] Microsomal lipid peroxidation. **Methods in Enzymology**, v. 52, p. 302-310, 1978.
- CARRERA, C. S.; SOLÍS, S. M.; FERRUCCI, M. S.; VEGA, C. C. R. *et al.* Leaf structure and ultrastructure changes induced by heat stress and drought during seed filling in field-grown soybean and their relationship with grain yield. In: ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, 2001., 93, [S.l.]. **Anais [...]**, [S.l.], 2021.
- CHO, M.-S.; KIM, J. H.; KIM, C.-S.; MEJÍAS, J. A. *et al.* Sow Thistle Chloroplast Genomes: Insights into the Plastome Evolution and Relationship of Two Weedy Species, *Sonchus asper* and *Sonchus oleraceus* (Asteraceae). **Genes (Basel)**, [S.l.], v.10, n. 11, p. 881, 2019.
- DIAS, J. S. Nutritional quality and health benefits of vegetables: A review. **Food Nutrition Sciences**, [S.l.], v. 3, n. 10, p. 1354-1374, 2012.
- DING, Y.; SHI, Y.; YANG, S. Advances and challenges in uncovering cold tolerance regulatory mechanisms in plants. **New Phytol.**, [S.l.], v. 2222, n. 4, p. 1690-1704, 2019.
- FANG, Q.; FAN, Z.; XIE, Y.; WANG, X. *et al.* Screening and evaluation of the bioremediation potential of Cu/Zn-resistant, autochthonous *Acinetobacter* sp. FQ-44 from *Sonchus oleraceus* L. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 7, 2016.
- FERREIRA, E.; CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. J. A. **Pacote Experimental Designs (Portugues)**. Version 1.2.2, 2021.
- FORSTER, D.; ANDRES, C.; VERMA, R.; ZUNDEL, C. *et al.* Yield and economic performance of organic and conventional cotton-based farming systems--results from a field trial in India. **PLoS One**, [S.l.], v. 8, n. 12, p. e81039, 2013.
- FOX, J.; WEISBERG, S.; PRICE, B.; ADLER, D. *et al.* car: Companion to Applied Regression. R package version 3.0-2, 2019. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=car>. Acesso em: 20 dez. 2022.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, [S.l.], v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.

GUPTA, D. K.; PALMA, J. M.; CORPAS, F. J. **Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants**. Berlín: Springer International Publishing, 2018.

HANG, T.; LU, N.; TAKAGAKI, M.; MAO, H. J. S. H. Leaf area model based on thermal effectiveness and photosynthetically active radiation in lettuce grown in mini-plant factories under different light cycles. **Scientia horticulturae**, [S.l.], v. 252, p. 113-120, 2019.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ALAM, M. M.; ROYCHOWDHURY, R. *et al.* Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. **Int J Mol Sci.**, [S.l.], v. 14, n. 5, p. 9643-9684, May. 2013.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, [S.l.], v. 84, n. 2, p. 450-455, 1987.

JIMOH, F. O.; ADEDAPO, A. A.; AFOLAYAN, A. J. Comparison of the nutritive value, antioxidant and antibacterial activities of *Sonchus asper* and *Sonchus oleraceus*. **Records of Natural Products**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 29-42, 2011.

KAPOOR, D.; SINGH, S.; KUMAR, V.; ROMERO, R. *et al.* Antioxidant enzymes regulation in plants in reference to reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS). **Plant Gene**, [S.l.], v.19, p. 100182, 2019.

KHALIL, U.; ALI, S.; RIZWAN, M.; RAHMAN, K. U. *et al.* Role of Mineral Nutrients in Plant Growth Under Extreme Temperatures. *In*: HASANUZZAMAN, M.;FUJITA, M., *et al* (Ed.). **Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance**. Singapore: Springer Singapore, 2018. p. 499-524.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, [S.l.], n. 1, p. F4. 3.1-F4. 3.8, 2001.

LIMA, J.; SILVA, C.; ROSA, M.; SANTOS, J. *et al.* Prospecção fitoquímica de *Sonchus oleraceus* e sua toxicidade sobre o microcrustáceo *Artemia salina*. **Planta Daninha**, [S.l.], V. 27, p. 7-11, 2009.

MANALIL, S.; ALI, H. H.; CHAUHAN, B. S. Interference of Annual Sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in Wheat. **Weed Science**, [S.l.], n. 1, p. 98-103, 106, 2020.

MAOKA, T. J. A. M. Carotenoids as natural functional pigments. **Jornal de Medicamentos Naturais**, [S.l.], v. 74, n. 1, p. 1-16, 2020.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: Abrates, 2015.

MELO, P. C. T.; VILELA, N. J. Importância da cadeia produtiva brasileira de hortaliças. [S.l.]: Embrapa Hortaliças, 2007.

- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and cell physiology**, [S.l.] v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.
- NIEVOLA, C. C.; CARVALHO, C. P.; CARVALHO, V.; RODRIGUES, E. Rapid responses of plants to temperature changes. **Temperature (Austin)**, [S.l.], v. 4, n. 4, p. 371-405, 2017.
- NONATO, I. de. A.; VILORIA, M. I. V.; CARVALHO, G. D.; VALENTE, F. L. *et al.* Healing Effects of Formulations with Extract of *Sonchus oleraceus*. **Acta Scientiae Veterinariae**, [S.l.], v. 46, n. 1, p. 7, 2018.
- PANDEY, P.; IRULAPPAN, V.; BAGAVATHIANNAN, M. V.; SENTHIL-KUMAR, M. S. Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits. *Front Plant Sci.*, [S.l.], v. 8, p. 537, 2017.
- QAMER, Z.; CHAUDHARY, M. T.; DU, X.; HINZE, L. *et al.* Review of oxidative stress and antioxidative defense mechanisms in *Gossypium hirsutum* L. in response to extreme abiotic conditions. **Journal of Cotton Research**, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 9, 2021.
- RENNA, M.; SIGNORE, A.; PARADISO, V. M.; SANTAMARIA, P. Faba greens, globe artichoke's offshoots, crenate broomrape and summer squash greens: Unconventional vegetables of Puglia (Southern Italy) with good quality traits. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 9, p. 378, 2018.
- RIVERO, R. M.; MITTLER, R.; BLUMWALD, E.; ZANDALINAS, S. I. Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. **The Plant Journal**, [S.l.], v. 109, n. 2, p. 373-389, 2022.
- SANDOVAL, J. R.; RODRÍGUEZ, P. A.; POPAY, A. I. *Sonchus oleraceus* (common sowthistle). **Crop Protection Compendium**, [S.l.], n. 50584, 2019.
- SANTOS, I. C. de; CARVALHO, O. C. de; FERREIRA, E. D.; PEDROSA, M. W. *et al.* **Serralha - *Sonchus oleraceus* L.** [S.l.]: EPAMIG, 2012. v. 167. 3 p.
- SARWAR, M.; SALEEM, M. F.; ULLAH, N.; ALI, S. *et al.* Role of mineral nutrition in alleviation of heat stress in cotton plants grown in glasshouse and field conditions. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 13022, 2019.
- SCHEEPENS, J. F.; DENG, Y.; BOSSDORF, O. Phenotypic plasticity in response to temperature fluctuations is genetically variable, and relates to climatic variability of origin, in *Arabidopsis thaliana*. **AoB PLANTS**, [S.l.], v. 10, n. 4, 2018.
- SILVA, L. F. L. E.; SOUZA, D. C.; RESENDE, L. V.; NASSUR, R. D. C. M. *et al.* Nutritional evaluation of non-conventional vegetables in Brazil. In: ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, 2018., 90, [S.l.]. **Anais [...]**, [S.l.], p. 1775-1787, 2018.
- SNOWDON, R. J.; WITTKOP, B.; CHEN, T.-W.; STAHL, A. Crop adaptation to climate change as a consequence of long-term breeding. **Theoretical and Applied Genetics**, [S.l.] v. 134, n. 6, p. 1613-1623, 2021.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. d.; HECKTHEUER, L. H. H. J. C. R. As clorofilas. **Ciência Rural**, [S.l.], v. 35, p. 748-755, 2005.

SULTAN, B.; DEFRANCE, D.; IIZUMI, T. Evidence of crop production losses in West Africa due to historical global warming in two crop models. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 12834, 2019.

VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, [S.l.], v. 151, n. 1, p. 59-66, 2000.

VIANA, M.; CARLOS, L. A.; SILVA, E. C.; PEREIRA, S. M. F. *et al.* Phytochemical composition and antioxidant potential of unconventional vegetables. **Horticultura Brasileira**, [S.l.], v. 33, p. 504-509, 2015.

VILELA, F. C.; PADILHA, M. M.; SILVA, L. d. S.; SILVA, G. A. *et al.* Evaluation of the antinociceptive activity of extracts of *Sonchus oleraceus* L. in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, [S.l.], v. 124, n. 2, p. 306-310, 2009.

WANG, W.; WANG, X.; ZHANG, J.; HUANG, M. *et al.* Salicylic acid and cold priming induce late-spring freezing tolerance by maintaining cellular redox homeostasis and protecting photosynthetic apparatus in wheat. **Plant Growth Regulation**, [S.l.], v. 90, n. 1, p. 109-121, 2020.

XU, S. Y.; WENG, J.-K. Climate change shapes the future evolution of plant metabolism. **Advanced Genetics**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. e10022, 2020.

YIN, J.; SI, C. L.; WANG, M. H. Antioxidant activity of flavonoids and their glucosides from *Sonchus oleraceus* L. **Journal of Applied Biological Chemistry**, [S.l.], v. 51, n. 2, p. 57-60, 2008.

ZHAO, J.; LU, Z.; WANG, L.; JIN, B. Plant responses to heat stress: physiology, transcription, noncoding RNAs, and epigenetics. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 117, 2020.

ARTIGO 3 - INTERAÇÕES NO AMBIENTE E NA ÉPOCA DE CULTIVO MODULAM ALTERAÇÕES MORFOANATÔMICAS EM *SONCHUS OLERACEUS* L.

RESUMO

As plantas possuem a capacidade de ajustar suas características, respondendo a estímulos ambientais favoráveis e desfavoráveis ao longo de seu ciclo. Isso permite que elas se adaptem ao ambiente e tais adaptações podem ser evidenciadas através de mecanismos de resposta em suas folhas. Todavia, para espécies como *Sonchus oleraceus* L. não existem relatos a respeito. Diante disso, objetivou-se investigar as respostas morfoanatômicas de *S. oleraceus* em função da época e do sistema de cultivo. As plantas foram submetidas a duas épocas de cultivo (época I, que corresponde ao período de maio a junho e época II, que corresponde ao período de outubro a novembro) e em dois sistemas de cultivo (convencional e orgânico). Foram mensurados número de estômatos adaxial e abaxial, diâmetros polar e equatorial dos estômatos, diâmetro do feixe, área do xilema, espessura do limbo, espessura do mesofilo, espessura da cutícula, espessura da epiderme na face adaxial e abaxial, espessura do parênquima paliçádico e parênquima esponjoso, e o índice de plasticidade. Os resultados obtidos indicaram que a época de cultivo foi o principal fator regulador das características morfoanatômicas das folhas de *S. oleraceus*. Além disso, foi observado que a alta temperatura teve um impacto significativo na densidade estomática, principalmente no cultivo orgânico. Esses achados demonstram a plasticidade de *S. oleraceus* em resposta a diferentes sistemas de cultivo, manifestando variações na espessura do tecido, diâmetro do feixe vascular, área do xilema e densidade estomática. Conclui-se que *S. oleraceus* apresenta plasticidade em resposta a diferentes sistemas de cultivo, apresentando variações na espessura do tecido, diâmetro do feixe vascular, área do xilema e densidade estomática. A época de cultivo afetou a densidade estomática, especialmente na face adaxial das plantas em cultivo orgânico. Estes resultados sugerem que a época de cultivo e as condições ambientais, como temperatura e sistema de cultivo, influenciam significativamente na resposta das plantas. A capacidade de *S. oleraceus* de se adaptar a diferentes condições ambientais é uma característica importante que influencia as características morfoanatômicas de suas folhas. A temperatura desempenha um papel crucial na regulação dessas características em *S. oleraceus*.

Palavras-chave: Serralha. Anatomia foliar. Plasticidade. Temperatura. Adubação.

ABSTRACT

Plants have the ability to adjust their characteristics, responding to favorable and unfavorable environmental stimuli throughout their cycle. This allows them to adapt to the environment and such adaptations can be evidenced through response mechanisms in their leaves. However, for species such as *Sonchus oleraceus* L. there are no reports on this. Therefore, the objective was to investigate the morphoanatomical responses of *S. oleraceus* as a function of the time and the cultivation system. The plants were submitted to two growing seasons (season I, which corresponds to the period from May to June and season II, which corresponds to the period from October to November) and in two cultivation systems (conventional and organic). The number of adaxial and abaxial stomata, polar and equatorial diameters of the stomata, beam diameter, xylem area, limb thickness, mesophyll thickness, cuticle thickness, epidermis thickness on the adaxial and abaxial surface, thickness of the

palisade parenchyma and spongy parenchyma, and plasticity index were measured. The results obtained indicated that the time of cultivation was the main regulatory factor of the morphoanatomical characteristics of the leaves of *S. oleraceus*. In addition, it was observed that the high temperature had a significant impact on stomatal density, especially in organic cultivation. These findings demonstrate the plasticity of *S. oleraceus* in response to different culture systems, manifesting variations in tissue thickness, vascular bundle diameter, xylem area and stomatal density. It is concluded that *S. oleraceus* presents plasticity in response to different culture systems, presenting variations in tissue thickness, vascular bundle diameter, xylem area and stomatal density. The growing season affected the stomatal density, especially in the adaxial face of the plants in organic cultivation. These results suggest that the growing season and environmental conditions, such as temperature and cultivation system, significantly influence the response of plants. The ability of *S. oleraceus* to adapt to different environmental conditions is an important characteristic that influences the morphoanatomical characteristics of its leaves. Temperature plays a crucial role in regulating these characteristics in *S. oleraceus*.

Keywords: Sow thistle. Leaf anatomy. Plasticity. Temperature. Fertilizing.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento e o desenvolvimento das culturas vegetais vêm em constante mudança e evolução devido aos impactos causados pelas variações climáticas e à interação entre os fatores ambientais e seus efeitos nos processos metabólicos das plantas (BECKLIN *et al.*, 2016; PANDEY *et al.*, 2017). Com o aquecimento global cada vez mais iminente, as respostas evolutivas ao nível fisiológico são aspectos fundamentais para detectar quais características conferem tolerância das plantas às mudanças do ambiente (XU *et al.*, 2020).

As plantas respondem a estímulos ambientais, expressando uma plasticidade fenotípica que pode variar as suas características vegetativas (MUNIZ *et al.*, 2018). Alterações morfoanatômicas foliares incluem desde alterações na densidade estomática, quantidade e tamanho dos cloroplastos, a relação entre tecido paliçádico e tecido esponjoso, surgimento de tricomas, etc., desencadeando em uma cascata de reações e ajustes metabólicos, relacionados em sua maioria ao controle da fotossíntese e transpiração (LAMALAKSHMI *et al.*, 2017). Um estudo em diferentes ecótipos demonstrou que folhas de *Arabidopsis arenosa* em habitats alpinos eram mais espessas e com menos tricomas do que folhas da mesma em sopés (BERTEL *et al.*, 2022).

A anatomia das folhas é, portanto, um aspecto dinâmico e altamente responsivo das plantas, que desempenha um papel crucial em sua sobrevivência e adaptação às mudanças no ambiente (CARRERA *et al.*, 2021). Estudar as respostas das características morfoanatômicas

das folhas pode fornecer informações importantes sobre os mecanismos que as plantas usam para lidar com o estresse ambiental e otimizar seu crescimento e sobrevivência (TIAN *et al.*, 2016).

Estudos sobre a arquitetura foliar e seus caracteres anatômicos são fundamentais para entender o crescimento das plantas e para obter uma maior eficiência de desempenho em detrimento aos fatores ambientais (SNOWDON *et al.*, 2021). Espécies pouco exploradas como *S. oleraceus*, podem ser uma alternativa de cultura comercial tolerante ao estresse abiótico, com potencial para satisfazer as necessidades de nichos específicos caracterizados por uma demanda por produtos alimentícios locais e sustentáveis (DIAS, 2012; RENNA *et al.*, 2018). Apesar de existirem estudos sobre esta espécie, suas respostas em diferentes ambientes de cultivo e estratégias de manejo, ainda são relativamente desconhecidas.

S. oleraceus, comumente conhecida como serralha ou cardo, é uma espécie nativa da Europa, norte da África e oeste da Ásia, amplamente difundida no mundo (CHO *et al.*, 2019; MANALIL *et al.*, 2020; SANDOVAL *et al.*, 2019). Tem sido amplamente utilizada em tratamentos médicos tradicionais, demonstrando sua relevância nas pesquisas. Estudos atestam as inúmeras aplicações terapêuticas de *S. oleraceus*, incluindo efeitos anti-inflamatórios, anticancerígenos, antidiabéticos, hepatoprotetores e antioxidantes (AL JUHAIMI *et al.*, 2017; FANG *et al.*, 2016; VILELA *et al.*, 2009).

S. oleraceus possui ampla distribuição e pode ser capaz de sobreviver em ambientes desfavoráveis (HASSAN *et al.*, 2014). Uma das razões para isso pode partir de variações morfológicas e anatômicas como estratégias adaptativas que permitam que essas plantas lidem com as flutuações ambientais, permitindo que se mantenham em diferentes habitats (ANDRADE *et al.*, 2022; PEERZADA *et al.*, 2019).

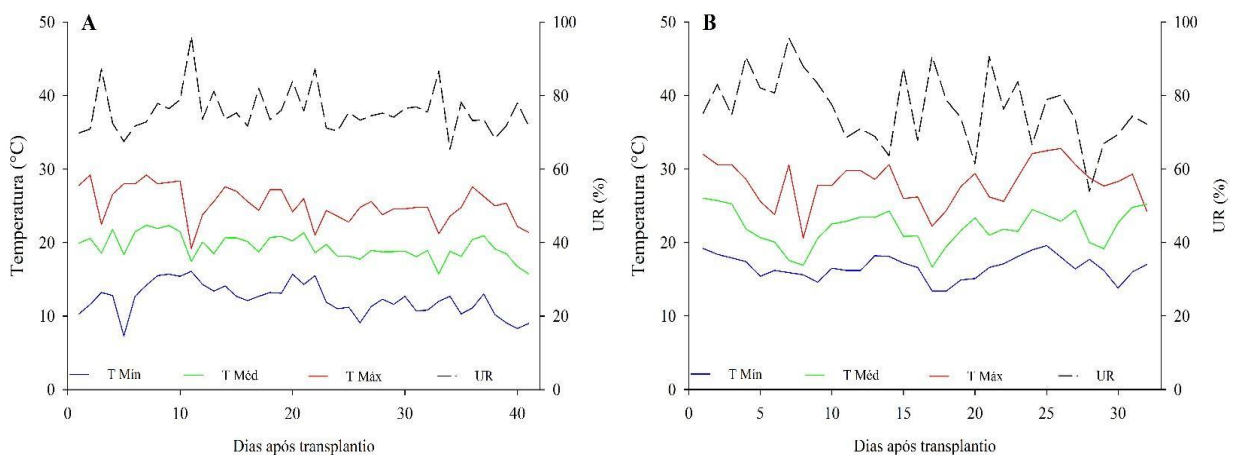
No geral, mudanças ambientais podem ter um impacto significativo na anatomia das folhas das plantas, e essas mudanças podem desempenhar um papel na determinação da capacidade das espécies de plantas de prosperar em ambientes específicos (TIAN *et al.*, 2016), o que é intrinsecamente relacionado com a produção agrônômica dessas espécies. A compreensão dessas mudanças e como elas afetam o desenvolvimento das plantas é fundamental para melhorar a capacidade das plantas de resistir ao estresse ambiental e para o cultivo bem-sucedido das culturas em climas em mudança. A fim de explorar as mudanças nas características morfoanatômicas foliares e identificar os mecanismos de adaptação, objetivou-se com este estudo avaliar quais condições de cultivo proporcionam melhor desenvolvimento de *S. oleraceus*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do setor de olericultura da Universidade Federal de Lavras - Brasil, localizado a 21°14'S, 45°00'W, com altitude de 918 m. O clima da região segundo a metodologia de Köppen é do tipo Cwa, com duas estações bem definidas: inverno seco com temperaturas amenas e verão quente e chuvoso (MARTINS *et al.*, 2018). A espécie foi identificada e depositada no Herbário PAMG (Herbário da Empresa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil) sob o número 58897.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2, com cinco repetições. O primeiro fator corresponde a duas épocas de cultivo (época I, correspondente ao período de maio a junho e época II, correspondente ao período de outubro a novembro) e o segundo fator corresponde a dois sistemas de cultivo (convencional e orgânico). Um datalogger de temperatura e umidade, marca Elitech Brasil (modelo RC-51H) foi posicionado próximo aos cultivos para coleta de dados meteorológicos durante os dois períodos do experimento (FIGURA 1).

Figura 1 - Valores de temperatura (°C) máxima, mínima e a média diária no eixo primário (representadas pelas linhas contínuas vermelho, azul e verde, respectivamente) e umidade relativa (%) no eixo secundário (representada pela linha preta tracejada), registrados nos períodos de maio a junho (A) e outubro a novembro (B).



Fonte: Da autora (2023).

As sementes foram semeadas em bandejas de polietileno, com irrigação via micro aspersão suspensa e invertida durante um período de 25 dias. Quando as mudas apresentaram 4 folhas verdadeiras, foram transplantadas para os canteiros de cada sistema de cultivo, com espaçamento de 0,30 m x 0,30 m. O manejo de irrigação adotado foi realizado via gotejo e a

capina foi realizada de forma manual sempre que necessário. Durante o preparo do solo, foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm, nos dois períodos de cultivo. O solo apresentou as seguintes características, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo e teores totais disponíveis para cada tratamento.

Determinação	Unidade	Época 1		Época 2	
		Orgânico	Convencional	Orgânico	Convencional
pH	g dm ⁻³	6,90	6,60	6,70	5,40
MO	g dm ⁻³	24,40	18,30	25,20	15,50
P	mg dm ⁻³	146,20	27,98	105,11	28,55
K	mg dm ⁻³	165,41	102,08	243,57	136,12
Ca	mmol _c dm ⁻³	45,60	33,00	48,90	24,30
Mg	mmol _c dm ⁻³	11,00	8,30	13,20	7,50
H + Al	mmol _c dm ⁻³	71,00	21,00	11,00	23,00
SB	mmol _c dm ⁻³	60,80	43,90	68,30	35,30
T	mmol _c dm ⁻³	131,80	64,90	79,30	58,30
V	%	46,16	67,67	86,19	60,53

Ca, Mg e Al - Extrator: KCl - 1 mol L; P, Na, K, Fe, Zn, Mn e Cu- Extrador Mehlich 1; H + Al - Extrator: SMP; S - Extrator - Fosfato monocálcio em ácido acético; B- Extrator água quente; pH em água, KCl e CaCl₂; (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N.

Fonte: Da autora (2023).

A análise do solo foi utilizada como base para a adubação durante o plantio, seguindo a recomendação de Santos *et al.* (2012) para a cultura. As quantidades de nutrientes aplicadas foram: N= 80 kg ha⁻¹; K₂O= 100 kg ha⁻¹; P₂O₅ = 120 kg ha⁻¹. No sistema orgânico, optou-se por utilizar 5400 kg ha⁻¹ de esterco de aves, enquanto no sistema convencional foram aplicados 196,3 kg ha⁻¹ de ureia, 719,0 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 186,2 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Para as avaliações foram amostradas cinco folhas completamente expandidas da área útil de cada parcela. Para a massa seca de folhas (g) foi coletado duas plantas da área útil de cada parcela e em seguida colocada em estufa de circulação forçada na temperatura de ±65 °C, até atingir peso constante. A área foliar (dm²) foi determinada através da correlação entre a massa seca de folha, peso médio de dez discos foliares e área foliar dos discos foliares.

Para os estudos anatômicos, as folhas foram conservadas em etanol 70% (v/v). Foram utilizadas a região mediana das folhas, sendo realizados cortes paradérmicos, obtidos à mão livre com o auxílio de lâminas de barbear estéreis. Os cortes transversais foram feitos em micrótomo de mesa com lâminas de barbear estéreis (Gillette®, Brasil) e isopor como suporte.

As sessões foram clarificadas com hipoclorito de sódio a 50%, sendo posteriormente lavadas em água destilada e coradas com solução safrablau [safranina 1% (v/v) e azul de astra 0,1 (v/v)] antes de serem montadas em lâminas semipermanentes com glicerina 50%. As

lâminas foram fotografadas em microscópio Olympus modelo BX 60, acoplado à câmera digital Canon A630. As fotomicrografias foram analisadas em software Motic Images Plus 2.0 (Motic China Group Co, Ltd).

Para cada repetição, foram realizados três cortes em um micrótomo de mesa usando lâminas. Para as seções paradérmicas foram avaliadas as características anatômicas: número de estômatos por mm²) nas faces adaxial e abaxial, diâmetros polar e equatorial dos estômatos; funcionalidade dos estômatos (a partir da relação diâmetro polar/diâmetro equatorial), número de células epidérmicas. Para as seções transversais foram avaliadas o diâmetro do feixe, área do xilema, espessura do limbo, espessura do mesófilo, espessura da cutícula, espessura da epiderme na face adaxial e abaxial, espessura do parênquima paliçádico e parênquima esponjoso.

O índice de plasticidade fenotípica foi calculado para cada variável a fim de quantificar a plasticidade da espécie. A escala de variação vai de 0 a 1, sendo que valores mais próximos de 1 indicam maior plasticidade da variável. Esse índice possibilita avaliar o quanto o fenótipo da espécie varia em resposta a diferentes tratamentos. O cálculo do índice é feito pela diferença entre a média dos maiores e menores valores entre os tratamentos, dividida pela média dos maiores valores (VALLADARES *et al.*, 2006).

Os dados experimentais foram submetidos à análise estatística por meio da plataforma R versão 4.1.2. Os dados obtidos foram submetidos a testes de homogeneidade das variâncias (Levene e Bartlett, $p \geq 0,05$) e teste de normalidade (Shapiro-Wilk, $p \geq 0,05$), utilizando o pacote “car” (FOX *et al.*, 2019).

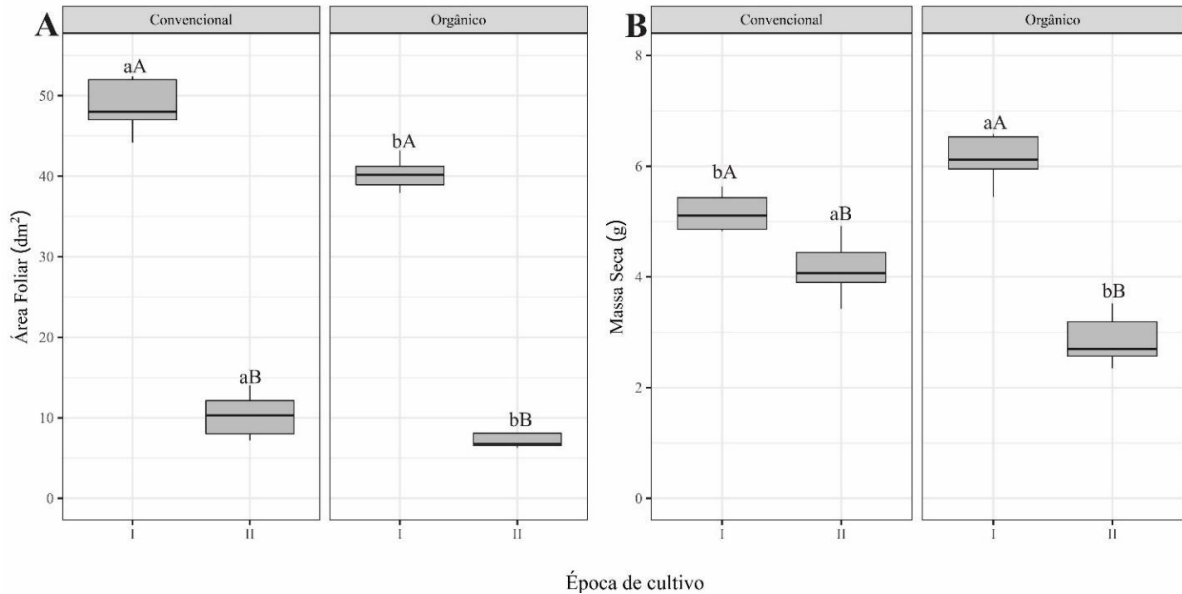
Os resíduos que apresentaram normalidade seguiram para uma análise de variância ANOVA (teste F, $p \leq 0,05$) para verificar o efeito dos tratamentos e as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o pacote “ExpDes.pt” (FERREIRA *et al.*, 2021). Também foi realizada uma análise de componentes principais (PCA), com o pacote factoextra (KASSAMBARA *et al.*, 2017), na função `fviz_pca_biplot`, para analisar o efeito dos tratamentos.

3 RESULTADOS

Foi observado que houve interação significativa entre os sistemas de cultivo e as épocas de plantio para os parâmetros de área foliar e massa seca de *S. oleraceus* (FIGURA 2A). As plantas no sistema convencional obtiveram área foliar significativamente maior que o cultivo

orgânico em ambas as épocas. Em ambos os cultivos a área foliar foi estatisticamente maior na época I.

Figura 2 - Área foliar [AF (dm²)] e massa seca [MS (g)] de *S. oleraceus* submetidos a dois sistemas de cultivos (convencional e orgânico) e duas épocas de plantio (I e II). Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).



Fonte: Da autora (2023).

Diferenças significativas foram observadas também para massa seca de *S. oleraceus* (FIGURA 2B). Houve variações entre as épocas, de modo que na época I, com as temperaturas mais baixas, o cultivo orgânico obteve incremento de 18,38% na massa seca. Já para a época II, com temperaturas mais elevadas, as plantas no cultivo convencional tiveram um ganho médio de 44,83% na massa seca em relação ao cultivo orgânico.

A análise microscópica demonstrou que houve interação significativa entre os tratamentos testados, promovendo alterações nos tecidos foliares de *S. oleraceus* (espessuras do limbo, cutícula, epidermes adaxial e abaxial, parênquima paliçádico) (TABELA 2).

Tabela 2 - Características anatômicas em seções transversais dos tecidos foliares de *S. oleraceus* submetidos a dois sistemas de cultivos (convencional e orgânico) e duas épocas de plantio (I e II).; LF= limbo foliar (μm); CT= cutícula (μm); EpAd= epiderme da face adaxial (μm); EpAb= epiderme da face abaxial (μm); PP= parênquima paliçádico (μm); DF= diâmetro do feixe (μm); AX= área do xilema (μm).

	LF	CT	EpAd	EpAb	PP	DF	AX
Convencional I	887 aB	28,8 aA	75,6 bA	52,1 bA	296,4 aB	618014,3 bB	169953,7 bB
Orgânico I	855,3 aA	26,2 aB	91,8 aA	64,5 aA	301 aA	772797,3 aA	235119,1 aA
Convencional II	1002,3 aA	30,6 bA	67,2 aA	52,1 aA	347,8 aA	687241,7 aA	247663,1 aA
Orgânico II	852,8 bA	40,6 aA	69,2 aB	44,8 bB	300,3 bA	326779,8 bB	126923,4 bB

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

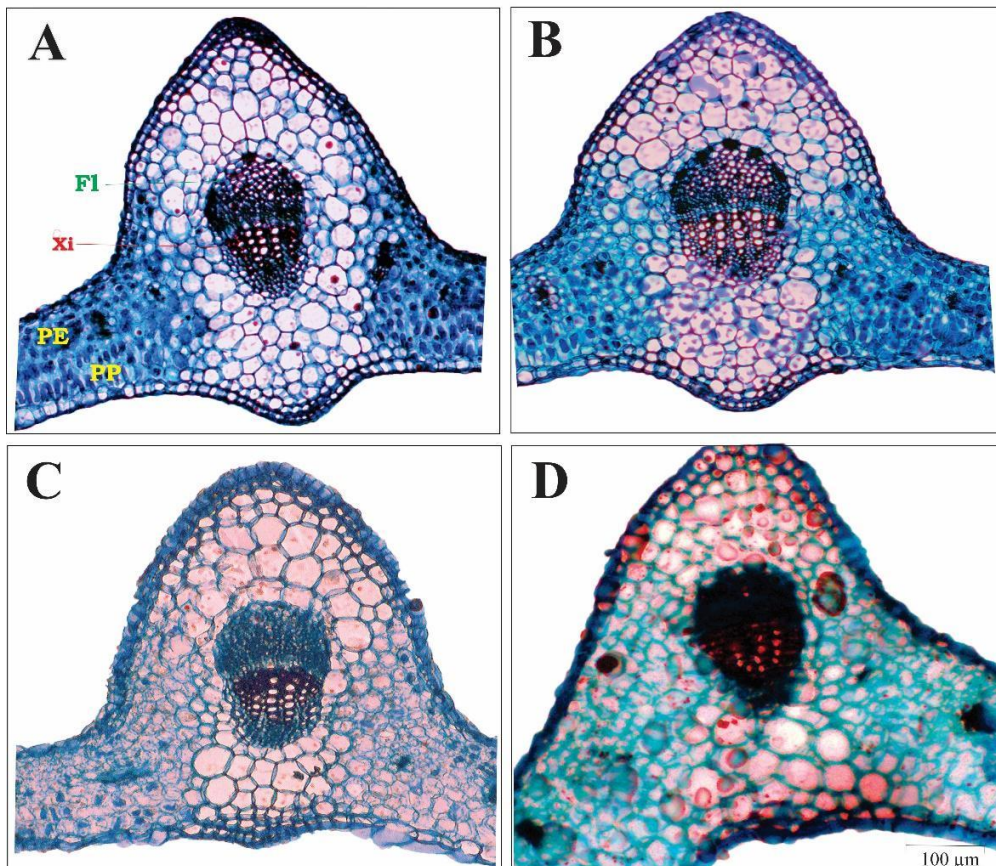
Fonte: Da autora (2023).

Houve diferença significativa entre as épocas de plantio para a espessura no limbo e no parênquima paliçádico no cultivo convencional, de modo que as plantas do sistema convencional tiveram um aumento significativo no limbo foliar e no parênquima paliçádico durante a época II (TABELA 2). A variável cutícula demonstrou diferenças no cultivo orgânico, sendo verificada cutícula estatisticamente maior na época II.

As espessuras das epidermes adaxial e abaxial apresentaram respostas similares. Na época I, as plantas em cultivo orgânico tiveram as espessuras das epidermes adaxial e abaxial significativamente superiores às do cultivo convencional. Em contrapartida, na época II, as plantas do cultivo convencional tiveram um aumento nas espessuras das epidermes adaxial e abaxial estatisticamente superior às plantas do sistema orgânico (TABELA 2).

O diâmetro do feixe e a área do xilema demonstraram similaridade nas respostas. Na época I, o cultivo orgânico obteve valores significativamente maiores, enquanto na época II os maiores valores foram verificados no cultivo convencional (TABELA 2 e FIGURA 3).

Figura 3 - Secções transversais da lâmina foliar de *S. oleraceus* submetidas em dois sistemas de cultivos e duas épocas de plantio (A= Convencional, época I; B= Convencional, época II; C= Orgânico, época I; D= Orgânico, época II). (Xi = Xilema; Fl = Floema; PP = Parênquima paliçádico; PE = Parênquima esponjoso). Barra de escala = 100µm.



Fonte: Da autora (2023).

No cultivo orgânico, as plantas de *S. oleraceus* tiveram o diâmetro de feixe vascular e área de xilema significativamente maior na época I. No entanto, quando as temperaturas subiram na época II, as plantas cultivadas em sistema convencional apresentaram diâmetro de feixe vascular e área de xilema notavelmente maior do que aquelas cultivadas em sistema orgânico (TABELA 2 e FIGURA 3). Foram verificadas diferenças em relação às espessuras nas variáveis analisadas na seção transversal. Para o cultivo orgânico, houve diminuição da espessura da epiderme adaxial e abaxial, bem como do parênquima paliçádico.

Observou-se divergência entre os tratamentos para espessura do mesofilo, parênquima esponjoso, diâmetros polar e equatorial dos estômatos na superfície abaxial de *S. oleraceus*. O cultivo convencional apresentou mesofilo e parênquima esponjoso mais espessos que o cultivo orgânico. Além disso, o diâmetro polar na face abaxial do cultivo orgânico foi significativamente maior (TABELA 3).

Tabela 3 - Características anatômicas dos tecidos foliares de *S. oleraceus* submetidos a dois sistemas de cultivos (convencional e orgânico) e duas épocas de plantio (I e II). ME= espessura do mesofilo (μm); EPE= espessura do parênquima esponjoso (μm); PoAb= diâmetro polar da face abaxial (μm); EqAb= diâmetro equatorial da face abaxial (μm).

Sistema de cultivo	ME	PE	PoAb	EqAb
Convencional	707,7 a	334,3 a	50,1 b	38,0 a
Orgânico	643,2 b	320,2 b	54,7 a	39,9 a
Época de plantio				
Época I	626,4 b	290,3 b	54,8 a	40,0 a
Época II	724,5 a	364,2 a	50,0 b	37,8 b

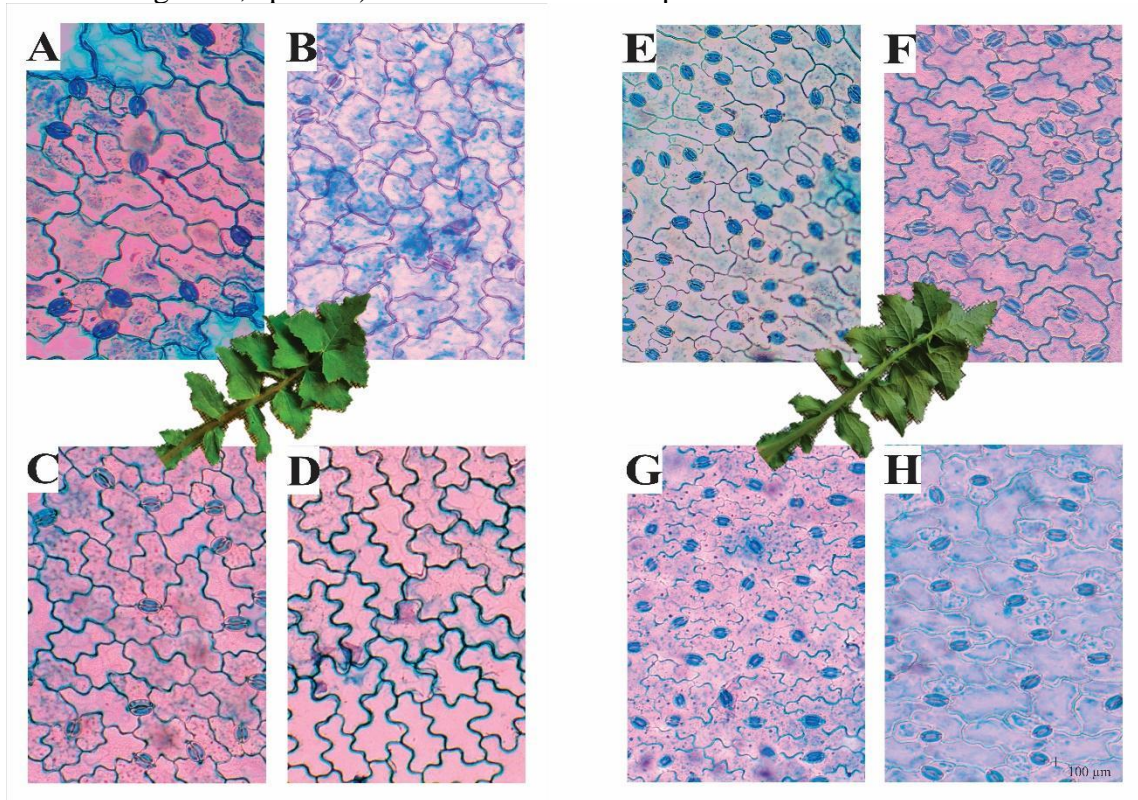
Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

Fonte: Da autora (2023).

Em relação à época de cultivo, a época II apresentou um aumento significativo na espessura do mesofilo e do parênquima esponjoso, enquanto que os diâmetros polar e equatorial dos estômatos na face abaxial foram estatisticamente maiores na época I.

Através das seções paradérmicas, foi observado que as folhas de *S. oleraceus* apresentam estômatos dorsiventrals e anfiestomáticos do tipo anomocítico. Embora possua estômatos em ambos os lados, a proporção de estômatos por unidade de área foi maior no lado abaxial do que no adaxial, independentemente dos tratamentos (FIGURA 4).

Figura 4 - Seção paradérmica da superfície adaxial (ADA) e abaxial (ABA) mostrando densidade de estômatos (μm) em folhas de *S. oleraceus* submetidas em dois sistemas de cultivos e duas épocas de plantio (ADA- A= Convencional, época I; B= Convencional, época II; C= Orgânico, época I; D= Orgânico, época II) (ABA- E= Convencional, época I; F= Convencional, época II; G= Orgânico, época I; H= Orgânico, época II). Barra de escala = $100\mu\text{m}$.



Fonte: Da autora (2023).

A época de plantio afetou a densidade estomática na face adaxial de folhas de *S. oleraceus*, isso foi especialmente evidente nas plantas cultivadas em sistemas orgânicos. As plantas do sistema orgânico não apresentaram estômatos na face adaxial durante a época II (FIGURA 4D). Já para o sistema de cultivo convencional na mesma época, foi observado a presença de estômatos na face adaxial, porém, em densidade reduzida. Os tratamentos tiveram um efeito significativo no número de estômatos, com a face abaxial apresentando maior densidade estomática do que a face adaxial (FIGURA 4 E-H).

Comparando a densidade estomática entre os cultivos na época I, nenhuma diferença foi encontrada. Na época II, as faces abaxiais das folhas das plantas cultivadas em sistema orgânico apresentaram densidade estomática significativamente maior que as folhas do sistema convencional (TABELA 4E, F, G e H).

Tabela 4 - Características anatômicas em seções paradérmicas dos tecidos foliares de *S. oleraceus* submetidos a dois sistemas de cultivos (convencional e orgânico) e duas épocas de plantio (I e II). NEAb= número de estômatos na face abaxial; NEAd= número de estômatos na face adaxial; PoAd= diâmetro polar da face adaxial (μm); EqAd= diâmetro equatorial da face adaxial (μm); FeAb= funcionalidade dos estômatos na face abaxial; FeAd= funcionalidade dos estômatos na face adaxial.

	NEAb	NEAd	PoAd	EqAd	FeAb	FeAd
Convencional I	31 aA	6 bA	63,3 aA	53,2 aA	1,3 bA	1,2 aA
Orgânico I	31 aB	8 aA	64,0 aA	49,6 aA	1,4 aA	1,3 aA
Convencional II	35 bA	5 aB	50,1 aB	41,8 aB	1,3 aA	1,2 aA
Orgânico II	40 aA	0 bB	0,00 bB	0,00 bB	1,3 aB	0,0 bB

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas dentro de cada época e maiúsculas dentro de cada cultivo se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

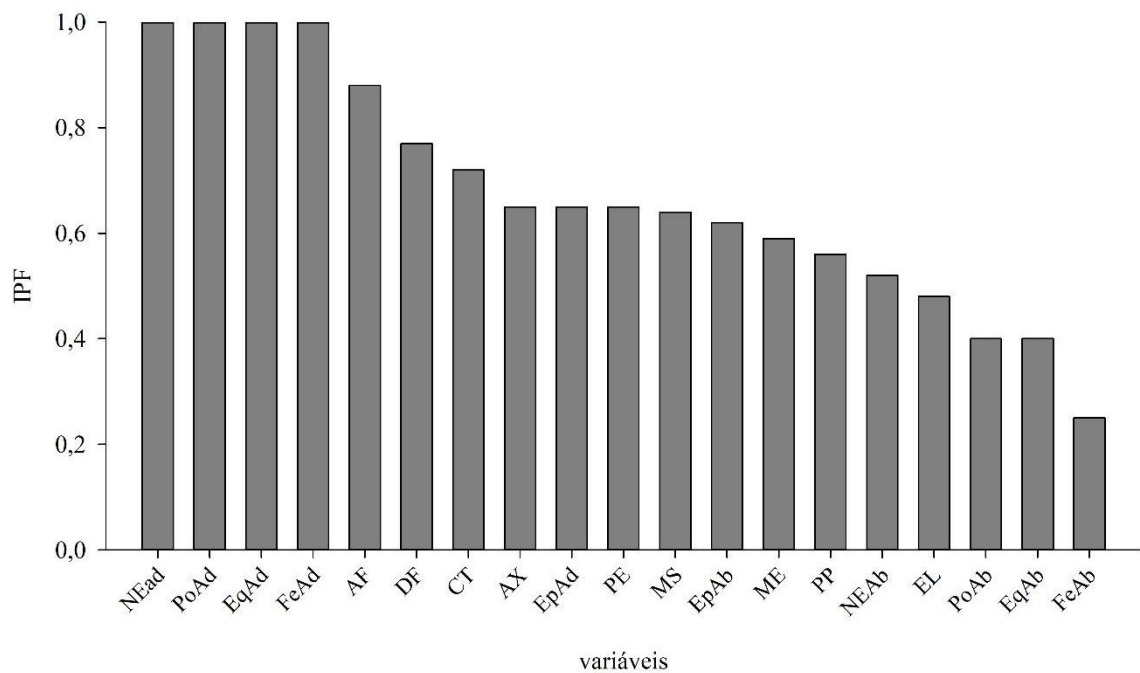
Fonte: Da autora (2023).

Houve interação significativa para o diâmetro polar e equatorial da face abaxial e adaxial. Na época II, o diâmetro polar abaxial e adaxial foi significativamente maior no cultivo orgânico, enquanto que na época I não houve diferença entre os cultivos (TABELA 4).

Foram observadas variações estatísticas no desempenho estomático. Os estômatos da face abaxial apresentaram na época I maior funcionalidade nas plantas do sistema orgânico que no sistema convencional. Também foram verificadas diferenças entre épocas para o cultivo orgânico. Nas plantas orgânicas da época II, a funcionalidade estomática na face adaxial foi inexistente, assim como valores referentes ao diâmetro polar e equatorial dos estômatos destas plantas (TABELA 4).

Quanto ao índice de plasticidade fenotípica, os maiores valores foram observados para os parâmetros mensurados na face adaxial (número de estômatos, diâmetro polar e equatorial, funcionalidade dos estômatos), indicando que estas são as variáveis mais plásticas. Em contrapartida, os mesmos parâmetros mensurados agora na face abaxial das folhas foram os menos plásticos (FIGURA 5).

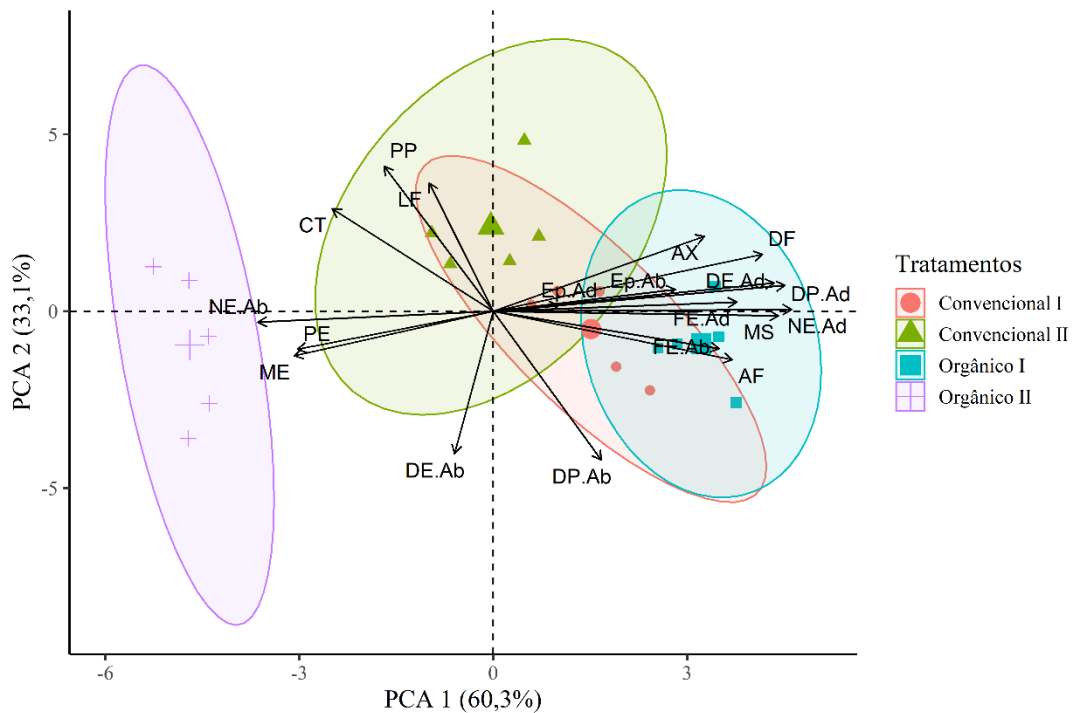
Figura 5 - Índice de plasticidade fenotípica em plantas de *S. oleraceus* submetidas em dois sistemas de cultivos (convencional e orgânico) e duas épocas de plantio (I e II). As variáveis foram relacionadas em ordem de importância da mais plástica para a menos plástica. MS= massa seca; AF= área foliar; DF= diâmetro do feixe; AX= área do xilema; LF= limbo foliar; CT= cutícula; ME= espessura do mesofilo; EpAd= epiderme da face adaxial; EpAb= epiderme da face abaxial; PP= parênquima paliçádico; PE= parênquima esponjoso; NEAb= número de estômatos na face abaxial; NEAd= número de estômatos na face adaxial; FeAb= funcionalidade dos estômatos na face abaxial; FeAd= funcionalidade dos estômatos na face adaxial; PoAd= diâmetro polar da face adaxial; EqAd= diâmetro equatorial da face adaxial; PoAb= diâmetro polar da face abaxial; EqAb= diâmetro equatorial da face abaxial.



Fonte: Da autora (2023).

A análise de componentes principais possibilitou uma visão do padrão de resposta aos tratamentos analisados. Foi verificado que as variações dos dados foram explicadas com 93,4% de variância e os dois primeiros componentes, PC1 e PC2 contribuíram para explicar a variação de dados em 60,3% e 33,1%, respectivamente (FIGURA 6).

Figura 6 - Representação gráfica da análise de componentes principais (PCA) relacionando as variáveis analisadas com os sistemas de cultivo (convencional e orgânico) e as épocas de plantio (I e II). MS= massa seca; AF= área foliar; DF= diâmetro do feixe; AX= área do xilema; LF= limbo foliar; CT= cutícula; ME= espessura do mesofilo; EpAd= epiderme da face adaxial; EpAb= epiderme da face abaxial; PP= parênquima paliçádico; PE= parênquima esponjoso; NEAb= número de estômatos na face abaxial; NEAd= número de estômatos na face adaxial; FeAb= funcionalidade dos estômatos na face abaxial; FeAd= funcionalidade dos estômatos na face adaxial; PoAd= diâmetro polar da face adaxial; EqAd= diâmetro equatorial da face adaxial; PoAb= diâmetro polar da face abaxial; EqAb= diâmetro equatorial da face abaxial.



Fonte: Autor (2023).

Parâmetros morfológicos (AF e MS) e alguns anatómicos (AX, DF, EpAd, EpAb, DEAd, DPAd, DPAb, NEAd, FEAd, FEAb) foram significativamente correlacionados positivamente com PC1, enquanto que os parâmetros PP, CT, LF, NeAb, PE, ME e DEAb foram correlacionados negativamente com PC1. É possível identificar um agrupamento específico para esses parâmetros na época I de plantio, formando grupos sobrepostos entre os cultivos convencional e orgânico (FIGURA 6).

Analisando a PC2, verifica-se uma correlação positiva com PP, CT, LF, AX, DF, EpAd, EpAb, DEAd, DPAd, DPAb. Em contrapartida, NeAb, PE, ME, DEAb, NEAd, FEAd, FEAb, AF e MS tiveram uma correlação negativa com PC2. O cultivo orgânico na época II demonstrou menor correlação com os parâmetros analisados.

4 DISCUSSÃO

A evolução das culturas é um processo dinâmico, constantemente influenciado pelas mudanças nos padrões climáticos e pelas interações entre o meio ambiente e as atividades metabólicas das plantas (SNOWDON *et al.*, 2021). Pensando nisso, é possível afirmar pelos resultados observados no trabalho que a temperatura e o sistema de cultivo proporcionaram alterações estruturais nas folhas de *S. oleraceus*.

Na época I de cultivo (maio a junho), a temperatura máxima oscilou de 19,2 a 29,2 °C, enquanto na época II (outubro a novembro) ficou entre 20,8 e 32,6 °C. A temperatura mínima durante este período variou entre 6,6 a 16,1 °C no inverno e de 10,6 a 23,8 °C no verão (FIGURA 1). A produção de *S. oleraceus* foi afetada pelas condições ambientais, de modo que o ciclo das plantas foi mais precoce na segunda época de plantio.

O aumento na temperatura pode diminuir o rendimento das culturas (HATFIELD *et al.*, 2015). Além disso, a redução no ciclo pode explicar as diferenças na fitomassa das plantas entre as épocas, confirmando que em temperaturas mais altas há uma limitação no crescimento de *S. oleraceus*. Essa limitação pode ser potencializada a depender das condições de cultivo, que pode influenciar na assimilação de nutrientes e, conseqüentemente, no metabolismo da cultura (JOSWIG *et al.*, 2022; PANDEY *et al.*, 2017).

A temperatura pode afetar diretamente na taxa de reações metabólicas, incluindo aquelas envolvidas na absorção e utilização de nutrientes (CARRERA *et al.*, 2021). Em baixas temperaturas, a taxa metabólica das plantas é reduzida, levando a uma absorção e utilização mais lenta dos nutrientes. Por outro lado, altas temperaturas podem desnaturar as enzimas envolvidas nas reações metabólicas, diminuindo assim, a taxa de assimilação de nutrientes (NIEVOLA *et al.*, 2017). A temperatura também pode afetar a solubilidade de alguns nutrientes no solo, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (HASANUZZAMAN *et al.*, 2013). Isso poderia explicar as diferenças ocorridas entre os dois ambientes de cultivo na mesma época, nas variáveis estudadas.

A planta pode manter um nível constante de fotossíntese sem precisar ajustar sua área foliar (CARRERA *et al.*, 2021). Por outro lado, isso pode ser uma desvantagem quando uma planta é exposta a uma mudança drástica no ambiente, pois não consegue ajustar sua área foliar para melhor se adequar às novas condições (MORALES *et al.*, 2020). Nesse caso, a planta pode não conseguir aproveitar ao máximo os recursos do novo ambiente e seu crescimento pode ser prejudicado (LAMALAKSHMI *et al.*, 2017).

O aumento da temperatura pode ocasionar um aumento na taxa de respiração, o que resulta em uma diminuição da fotossíntese líquida e na respiração dos carboidratos armazenados (HATFIELD *et al.*, 2015). Além disso, com um comprometimento no conteúdo de água celular, o tamanho das células diminui e o crescimento das plantas é reduzido. Isso, por sua vez, leva à redução da biomassa vegetal devido à perda de energia e nutrientes para o crescimento (SCHEEPENS *et al.*, 2018).

Em geral, temperaturas mais baixas tendem a aumentar a área foliar de uma planta, enquanto temperaturas mais altas tendem a diminuí-la. Isso ocorre porque temperaturas mais baixas geralmente diminuem a taxa metabólica de uma planta, levando a um aumento no tamanho da célula e, portanto, no tamanho da folha (NIEVOLA *et al.*, 2017). Por outro lado, temperaturas mais altas podem levar a um aumento na taxa de evaporação, que pode reduzir a quantidade de água disponível para a planta, levando à diminuição da área foliar (RIVERO *et al.*, 2022).

Quando os estômatos estão fechados, o balanço hídrico da planta é determinado principalmente pela taxa de transpiração cuticular, que pode ser afetada pela espessura da cutícula. Assim, é essencial para a sobrevivência da planta que a permeabilidade da cutícula seja mantida (MUNIZ *et al.*, 2018). Desse modo, as plantas orgânicas em temperaturas mais elevadas demonstraram espessura da cutícula mais espessa, o que pode ser uma estratégia para reduzir as perdas de água (LI *et al.*, 2019).

Podem ocorrer padrões compensatórios para favorecer o ajuste metabólico das plantas (XU *et al.*, 2022). A exemplo, houve uma redução no parênquima paliçádico com o aumento da temperatura para as plantas em cultivo orgânico (TABELA 2), em contrapartida para essa mesma época o parênquima esponjoso aumentou (TABELA 3). A fim de mitigar as perdas por transpiração e manter o equilíbrio hídrico, algumas plantas podem desenvolver células epidérmicas com paredes espessas para aumentar sua resistência contra a desidratação (TIAN *et al.*, 2016).

Também foram verificados ajustes no sistema vascular com o aumento da temperatura (TABELA 2). A redução no diâmetro do sistema vascular das plantas em cultivo orgânico na época cujas temperaturas sejam mais altas podem ser um mecanismo fisiológico para mitigar a perda de água (XU *et al.*, 2022).

A época I independentemente do sistema de cultivo, apresentou potencial para obter planta com maiores índices de área foliar, massa seca, diâmetro do feixe, área do xilema, espessuras da epiderme adaxial e abaxial, número de estômatos adaxial, número de estômatos abaxial, funcionalidade de estômatos, diâmetros equatorial e polar de estômatos. Tais respostas

indicam que determinar tratamentos culturais, como o espaçamento entre as plantas e o momento de colheita, devem ser ajustados de acordo com a época de produção. Assim, levando em consideração as condições climáticas predominantes e o ciclo de vida das plantas, *S. oleraceus* pode ajustar seu aparato para preservar seus recursos, a fim de maximizar o rendimento e a qualidade dos cultivos (SNOWDON *et al.*, 2021; XU *et al.*, 2022).

Os tratamentos levaram a uma variação no número de estômatos, fazendo com que a densidade estomática mudasse em função da época de plantio e do sistema de cultivo. A diminuição da densidade estomática na face adaxial das plantas sob cultivo orgânico, durante a segunda época de plantio, pode ser uma resposta fisiológica às altas temperaturas, visando preservar a água das folhas e, conseqüentemente, a sobrevivência da planta (VILE *et al.*, 2012). É importante destacar que a regulação da densidade estomática é uma forma de controle da taxa de transpiração, portanto, a diminuição dos estômatos pode ser entendida como uma estratégia de conservação hídrica, permitindo que a planta mantenha seu equilíbrio hídrico (ZANDALINAS *et al.*, 2018).

As variações no número de estômatos na face adaxial e abaxial de *S. oleraceus* demonstra a plasticidade da planta em resposta ao sistema de cultivo. Acredita-se que o aumento da densidade estomática esteja ligado a maior condutância estomática, evitando assim, que a fotossíntese seja limitada em condições desfavoráveis (HATFIELD *et al.*, 2015). Em última análise, essa plasticidade da planta em resposta às condições ambientais permite que ela prospere e sobreviva (RIVERO *et al.*, 2022).

Os resultados deste estudo evidenciam que a primeira época foi caracterizada por valores mais elevados na maioria das variáveis morfoanatômicas, levando a um melhor desempenho produtivo de *S. oleraceus*. A análise dos componentes principais reforçou ainda mais esses resultados, destacando o impacto positivo da época I no crescimento e desenvolvimento da planta.

Este resultado confirma a hipótese de que a observação de variáveis morfológicas e anatômicas podem ser utilizadas como indicadores confiáveis do desenvolvimento de *S. oleraceus* em diferentes ambientes. Variáveis anatômicas, podem fornecer informações valiosas sobre as melhores condições para seu cultivo, incluindo a época ideal para o plantio e as condições ambientais mais adequadas para um maior crescimento e produtividade desta espécie.

Em geral, os resultados deste estudo sugerem que é importante levar em consideração as condições ambientais de cultivo, já que estas podem afetar características morfoanatômicas e, conseqüentemente, a capacidade de sobrevivência e produção das culturas. No entanto, mais

pesquisas são necessárias para apoiar essas conclusões e fornecer mais informações sobre o crescimento e desenvolvimento de *S. oleraceus*.

5 CONCLUSÕES

Sonchus oleraceus apresenta plasticidade em resposta a diferentes sistemas de cultivo, apresentando variações na área foliar, massa seca, espessura do tecido, diâmetro do feixe vascular, área do xilema e densidade estomática.

A época de cultivo afetou a densidade estomática, especialmente na face adaxial das plantas em cultivo orgânico. Estes resultados sugerem que a época de cultivo e as condições ambientais, como temperatura e sistema de cultivo, influenciam significativamente na resposta das plantas.

A capacidade de *S. oleraceus* de se adaptar a diferentes condições ambientais é uma característica importante que influencia as características morfoanatômicas de suas folhas. A temperatura desempenha um papel crucial na regulação dessas características em *S. oleraceus*.

REFERÊNCIAS

- AL JUHAIMI, F.; GHAFOOR, K.; AHMED, I. A. M.; BABIKER, E. E. *et al.* Comparative study of mineral and oxidative status of *Sonchus oleraceus*, *Moringa oleifera* and *Moringa peregrina* leaves. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [S.l.], v.11, n. 4, p. 1745-1751, 2017.
- ANDRADE, L. I. F. de.; SANTOS, J. P. de.; DUARTE, G. N.; FREITAS, C. G. de. *et al.* The cultivation environment influences the physiological quality of stored *Sonchus oleraceus* L. seeds. **Research, Society and Development**, [S.l.], v.11, n. 15, p. 11-14, 2022.
- BECKLIN, K. M.; ANDERSON, J. T.; GERHART, L. M.; WADGYMAR, S. M. *et al.* Examining Plant Physiological Responses to Climate Change through an Evolutionary Lens **Plant Physiology**, [S.l.], v. 172, n. 2, p. 635-649, 2016.
- BERTEL, C.; KAPLENIG, D.; RALSER, M.; ARC, E. *et al.* Parallel Differentiation and Plastic Adjustment of Leaf Anatomy in Alpine *Arabidopsis arenosa* Ecotypes. **Plants**, v. 11, n. 19, p. 2626, 2022.
- CARRERA, C. S.; SOLÍS, S. M.; FERRUCCI, M. S.; VEGA, C. C. R. *et al.* Leaf structure and ultrastructure changes induced by heat stress and drought during seed filling in field-grown soybean and their relationship with grain yield. In: ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, 2021., 93, [S.l.]. **Anais [...]**, [S.l.], 2021.
- CHO, M.-S.; KIM, J. H.; KIM, C.-S.; MEJÍAS, J. A. *et al.* Sow Thistle Chloroplast Genomes: Insights into the Plastome Evolution and Relationship of Two Weedy Species, *Sonchus asper* and *Sonchus oleraceus* (Asteraceae). **Genes (Basel)**, [S.l.], v.10, n. 11, p. 881, 2019.
- DIAS, J. S. Nutritional quality and health benefits of vegetables: A review. **Food Nutrition Sciences**, [S.l.], v. 3, n. 10, p. 1354-1374, 2012.
- FANG, Q.; FAN, Z.; XIE, Y.; WANG, X. *et al.* Screening and evaluation of the bioremediation potential of Cu/Zn-resistant, autochthonous *Acinetobacter* sp. FQ-44 from *Sonchus oleraceus* L. **Frontiers in Plant Science**, 7, n. September2016, 2016. Article.
- FERREIRA, E.; CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. J. A. E. **ExpDes. pt: Pacote experimental designs** (portuguese). Version 1.2.2, 10 Abr. 2021.
- FOX, J.; WEISBERG, S.; PRICE, B.; ADLER, D.; BATES, D.; BAUD-BOVY, G.; BOLKER, B. **car: Companion to Applied Regression**. R package version 3.0-2, 2019. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=car>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ALAM, M. M.; ROYCHOWDHURY, R. *et al.* Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. **Int J Mol Sci**, [S.l.], v, 14, n. 5, p. 9643-9684, 03 May. 2013.
- HASSAN, M. O.; GOMAA, N. H.; FAHMY, G. M.; GONZÁLEZ, L. *et al.* Interactions between *Sonchus oleraceus* L. and some weeds in agroecosystems in Egypt. **Annals of Agricultural Sciences**, [S.l.], v. 59, n. 2, p. 221-228, 01 Dec. 2014.

HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes**, [S.l.], v. 10, p. 4-10, 2015.

JOSWIG, J. S.; WIRTH, C.; SCHUMAN, M. C.; KATTGE, J. *et al.* Climatic and soil factors explain the two-dimensional spectrum of global plant trait variation. **Nature Ecology & Evolution**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 36-50, 01 Jan. 2022.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. Package ‘factoextra’ visualize the results of multivariate data analyses. **Extract**, [S.l.], v. 76, 2017.

LAMALAKSHMI, D. E.; KUMAR, S.; BASANTA SINGH, T.; SHARMA, S. K. *et al.* Adaptation Strategies and Defence Mechanisms of Plants During Environmental Stress. *In*: GHORBANPOUR, M. e VARMA, A. (Ed.). **Medicinal Plants and Environmental Challenges**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 359-413.

LI, Y.; ZOU, D.; SHRESTHA, N.; XU, X. *et al.* Spatiotemporal variation in leaf size and shape in response to climate. **Journal of Plant Ecology**, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 87-96, 2019.

MANALIL, S.; ALI, H. H.; CHAUHAN, B. S. Interference of Annual Sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in Wheat. **Weed Science**, [S.l.], n. 1, p. 98-103, 106, 2020.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; DOS SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. J. R. B. d. C. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2018.

MORALES, F.; ANCÍN, M.; FAKHET, D.; GONZÁLEZ-TORRALBA, J. *et al.* Photosynthetic Metabolism under Stressful Growth Conditions as a Bases for Crop Breeding and Yield Improvement. **Plants (Basel)**, [S.l.], v. 9, n. 1, Jan. 2020.

MUNIZ, L. F.; BOMBO, A. B.; FILARTIGA, A. L.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. Can climate and soil conditions change the morpho-anatomy among individuals from different localities? A case study in *Aldama grandiflora* (Asteraceae). **Brazilian Journal of Biology**, [S.l.], v. 78, 2018.

NIEVOLA, C. C.; CARVALHO, C. P.; CARVALHO, V.; RODRIGUES, E. Rapid responses of plants to temperature changes. **Temperature (Austin)**, [S.l.], v.4, n. 4, p. 371-405, 2017.

PANDEY, P.; IRULAPPAN, V.; BAGAVATHIANNAN, M. V.; SENTHIL-KUMAR, M. J. F. I. P. S. Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits. **Front. Plant Sci.**, [S.l.] v.18, p. 537, 2017.

PEERZADA, A. M.; O’DONNELL, C.; ADKINS, S. Biology, impact, and management of common sowthistle (*Sonchus oleraceus* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, [S.l.], v. 41, n. 8, p. 136, 16 Jul. 2019.

RENNA, M.; SIGNORE, A.; PARADISO, V. M.; SANTAMARIA, P. Faba greens, globe artichoke’s offshoots, crenate broomrape and summer squash greens: Unconventional vegetables of Puglia (Southern Italy) with good quality traits. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 9, p. 378, 2018.

RIVERO, R. M.; MITTLER, R.; BLUMWALD, E.; ZANDALINAS, S. I. Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. **Plant J.**, [S.l.], v. 109, n. 2, p. 373-389, 2022.

SANDOVAL, J. R.; RODRÍGUEZ, P. A.; POPAY, A. I. *Sonchus oleraceus* (common sowthistle). **Cabi Compendium**, [S.l.], n. 50, p. 584, 2019.

SCHEEPENS, J. F.; DENG, Y.; BOSSDORF, O. Phenotypic plasticity in response to temperature fluctuations is genetically variable, and relates to climatic variability of origin, in *Arabidopsis thaliana*. **AoB PLANTS**, [S.l.], v. 10, n. 4, 2018.

SNOWDON, R. J.; WITTKOP, B.; CHEN, T.-W.; STAHL, A. Crop adaptation to climate change as a consequence of long-term breeding. **Theoretical and Applied Genetics**, [S.l.], v. 134, n. 6, p. 1613-1623, 01 Jun. 2021.

TIAN, M.; YU, G.; HE, N.; HOU, J. Leaf morphological and anatomical traits from tropical to temperate coniferous forests: Mechanisms and influencing factors. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 19703, 2016.

VALLADARES, F.; SANCHEZ-GOMEZ, D.; ZAVALA, M. A. Quantitative Estimation of Phenotypic Plasticity: Bridging the Gap between the Evolutionary Concept and Its Ecological Applications. **Journal of Ecology**, [S.l.], v. 94, n. 6, p. 1103-1116, 2006.

VILE, D.; PERVENT, M.; BELLUAU, M.; VASSEUR, F. *et al.* *Arabidopsis* growth under prolonged high temperature and water deficit: independent or interactive effects? **Plant Cell Environ.**, v. 35, n. 4, p. 702-718, 2012.

VILELA, F. C.; PADILHA, M. M.; SILVA, L. d. S.; SILVA, G. A. *et al.* Evaluation of the antinociceptive activity of extracts of *Sonchus oleraceus* L. in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, [S.l.], v. 124, n. 2, p. 306-310, 2009.

XU, S. Y.; WENG, J.-K. Climate change shapes the future evolution of plant metabolism. 1, n. 1, p. e10022, 2020.

XU, Y.; FU, X. Reprogramming of Plant Central Metabolism in Response to Abiotic Stresses: A Metabolomics View. **Int J Mol Sci.**, [S.l.], v. 23, n. 10, May. 2022.

ZANDALINAS, S. I.; MITTLER, R.; BALFAGÓN, D.; ARBONA, V. *et al.* Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. **Physiol Plant**, v. 162, n. 1, p. 2-12, 2018.