



JEREMIAS JOSÉ FERREIRA LEITE

**CULTIVO DE *Sonchus oleraceus* L. SOB MALHAS
COLORIDAS E ADUBAÇÃO VERDE EM RESPOSTA AS
CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E ACÚMULO DE
ÁCIDO CHICÓRICO**

**LAVRAS-MG
2024**

JEREMIAS JOSÉ FERREIRA LEITE

**CULTIVO DE *Sonchus oleraceus* L. SOB MALHAS COLORIDAS E ADUBAÇÃO
VERDE EM RESPOSTA AS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E ACÚMULO
DE ÁCIDO CHICÓRICO**

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

Prof. Ph.D. José Eduardo Brasil Pereira Pinto.

Orientador

Profa. Dra. Suzan Kelly vilela Bertolucci

Coorientadora

**LAVRAS-MG
2024**

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

Leite, Jeremias José Ferreira.

Cultivo de *sonchus oleraceus* L. sob malhas coloridas e adubação verde em resposta as características agrônômicas e acúmulo de ácido chicórico / Jeremias José Ferreira Leite. - 2024.

102 p.

Orientador(a): José Eduardo Brasil Pereira Pinto.

Coorientador(a): Suzan Kelly vilela Bertolucci.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Crotalária. 2. Espectro. 3. Metabolismo secundário. I. Pinto, José Eduardo Brasil Pereira. II. Bertolucci, Suzan Kelly vilela. III. Título.

JEREMIAS JOSÉ FERREIRA LEITE

CULTIVO DE *Sonchus oleraceus* L. SOB MALHAS COLORIDAS E ADUBAÇÃO VERDE EM RESPOSTA AS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E ACÚMULO DE ÁCIDO CHICÓRICO

CULTIVATION OF *Sonchus oleraceus* L. UNDER COLORED NETS AND GREEN MANURE IN RESPONSE TO AGRONOMIC CHARACTERISTICS AND CHICORIC ACID ACCUMULATION

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

Aprovada em 09 de abril de 2024.

Prof. Dra. Suzan Kelly Vilela Bertolucci	UFLA
Prof. Dra. Andressa Giovannini Costa	UFU
Prof. Dr. Felipe Campos Figueiredo	IFSULDEMINAS
Prof. Dr. Manuel Losada Gavilanes	UFLA

Prof. Dr. José Eduardo Brasil Pereira Pinto

Orientador

Profa. Dra. Suzan Kelly vilela Bertolucci

Coorientadora

**LAVRAS-MG
2024**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de viver, aos meus pais, Almeida e Ozana, e aos meus familiares que sempre me apoiaram ao longo dessa longa jornada.

Agradeço ao meu orientador, José Eduardo Brasil Pereira Pinto, pela dedicação e por sempre estar disponível para me ajudar. Sou grato também a Profa. Suzan Kelly Vilela Bertolucci, pela disponibilização do Laboratório de Fitoquímica e pelas orientações. Agradeço ao João Pedro pela realização das análises de cromatografia líquida.

À Profa. Suzana Leitão, Profa. Ivana Leal e Dra. Simony Carvalho Mendonça da Central Analítica do Departamento de Produtos Naturais e Alimentos (CA-DPNA) da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) pelas análises de UHPLC-UVMS-MS.

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, ao CNPq e FAPEMIG, pelo apoio financeiro no desenvolvimento deste projeto.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Agricultura (DAG) e o Setor de Plantas Medicinais, Aromáticas e Condimentares, em especial ao laboratório de fitoquímica, pela disponibilidade, estrutura e oportunidade.

Ao Evaldo, Rafaela, Leandro, Giulia, Annete, Rafael Marlon pela ajuda nas análises e nas avaliações. À Marli, secretária do programa Agronomia/Fitotecnia pela atenção e disponibilidade. E todos os demais que contribuíram direta e indiretamente na execução do meu projeto.

RESUMO

A *Sonchus oleraceus* L. é uma planta consumida na alimentação em várias regiões brasileiras. É uma planta com propriedades medicinais, devido principalmente a presença de ácido chicórico. A qualidade de luz e a adubação verde influenciam diretamente o crescimento e o metabolismo secundário das plantas. Objetivou-se avaliar o cultivo de *Sonchus oleraceus* sob efeito de diferentes doses de adubo verde e cultivo em malhas coloridas no crescimento, pigmentos fotossintéticos e teores nutrientes e metabólitos secundários. O experimento de adubação verde foi feito em duas épocas de cultivo, em vasos de seis litros com os seguintes tratamentos: Sem adubação (controle), 30, 60, 90, 120 t/ha de crotalária. No experimento com malhas coloridas, as plantas foram cultivadas sob: malha preta, vermelha, azul e sob pleno sol (controle) no outono e primavera. Após 50 dias da implantação dos experimentos, avaliou-se o número de folhas e de ramos, área foliar, diâmetro do caule, comprimento da parte aérea, matéria seca do caule, da folha e da raiz e doseamento de pigmentos fotossintéticos, compostos fenólicos, flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico. A adubação verde demonstrou aumentar significativamente o crescimento de biomassa em *Sonchus oleraceus*, promovendo também maiores teores de pigmentos fotossintéticos. No entanto, o tratamento sem adubação verde resultou em maiores acumulações de compostos fenólicos, flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico, sugerindo uma influência diferenciada no metabolismo secundário. Além disso, o uso de malhas de sombreamento coloridas desempenhou um papel fundamental na produção de biomassa e compostos bioativos. A malha vermelha foi mais eficaz na promoção de matéria seca no outono e na primavera, enquanto a malha preta e o cultivo a pleno sol destacaram-se na produção de compostos fenólicos. A produção de flavonas/flavonóis foi otimizada sob a malha preta no outono e a pleno sol na primavera, e os teores de ácido chicórico foram maiores sob a malha azul no outono e a malha preta na primavera. Esses resultados ressaltam a importância da adubação verde e do manejo da luz, utilizando malhas coloridas, para otimizar o crescimento, a produção de pigmentos e o acúmulo de compostos bioativos em *Sonchus oleraceus*, evidenciando essas práticas como ferramentas agronômicas promissoras.

Palavras-chave: Crotalária; Fertilidade do solo; Espectro; Metabolismo secundário.

ABSTRACT

Sonchus oleraceus L. is a plant consumed as food in various regions of Brazil. It has medicinal properties, mainly due to the presence of chicoric acid. Light quality and green manure directly influence the growth and secondary metabolism of plants. This study aimed to evaluate the cultivation of *Sonchus oleraceus* under the effect of different doses of green manure and cultivation under colored nets on growth, photosynthetic pigments, and nutrient and secondary metabolite contents. The green manure experiment was conducted during two cultivation periods, in six-liter pots with the following treatments: no fertilization (control), and 30, 60, 90, and 120 t/ha of crotalaria. In the experiment with colored nets, plants were grown under black, red, and blue nets, and full sun (control), in autumn and spring. Fifty days after the experiments were set up, the number of leaves and branches, leaf area, stem diameter, shoot length, and dry matter of stem, leaf, and root were evaluated, along with the quantification of photosynthetic pigments, phenolic compounds, total flavones/flavonols, and chicoric acid. Green manure significantly increased biomass growth in *Sonchus oleraceus*, also promoting higher levels of photosynthetic pigments. However, the treatment without green manure resulted in higher accumulations of phenolic compounds, total flavones/flavonols, and chicoric acid, suggesting a differentiated influence on secondary metabolism. Furthermore, the use of colored shading nets played a key role in biomass and bioactive compound production. The red net was more effective in promoting dry matter in both autumn and spring, while the black net and full sun stood out in phenolic compound production. Flavones/flavonols production was optimized under the black net in autumn and full sun in spring, and chicoric acid levels were higher under the blue net in autumn and the black net in spring. These results highlight the importance of green manure and light management, using colored nets, to optimize growth, pigment production, and bioactive compound accumulation in *Sonchus oleraceus*, showcasing these practices as promising agronomic tools.

Keywords: Crotalaria; Soil fertility; Spectrum; Secondary metabolism.

INDICADORES DE IMPACTO

O presente estudo gerou impactos significativos nas áreas social, econômica, tecnológica e cultural ao explorar o potencial de *Sonchus oleraceus* como uma nova e promissora fonte natural de ácido chicórico, um composto amplamente valorizado na medicina e na indústria de suplementos. Nos experimentos envolvendo adubação verde e o uso de malhas coloridas, as plantas cultivadas apresentaram um maior acúmulo de biomassa, especialmente sob a malha vermelha e com doses de adubo verde, que se destacaram na promoção de matéria seca. Além disso, os teores de ácido chicórico foram superiores aos encontrados nas raízes da tradicional *Echinacea purpurea*, a principal fonte natural conhecida desse composto. Esses resultados sugerem que *Sonchus oleraceus* pode ser uma alternativa viável e sustentável para substituir *Echinacea purpurea* como fonte de ácido chicórico, diversificando assim as fontes de matérias-primas utilizadas pela indústria farmacêutica e de suplementos. No âmbito social, o estudo reforça a importância da pesquisa em plantas medicinais, promovendo a conscientização sobre a biodiversidade local e gerando informações valiosas aos agricultores sobre o cultivo de *Sonchus oleraceus*. Do ponto de vista econômico, o cultivo dessa espécie pode oferecer uma nova oportunidade de geração de renda para agricultores familiares, aumentando sua competitividade no mercado de plantas medicinais e suplementos naturais. Tecnologicamente, os resultados destacam o potencial de novas práticas agrícolas, como o uso de adubação verde em diferentes doses e sombreamento com malhas coloridas, que não apenas otimizam a produção de compostos bioativos de interesse industrial, mas também promovem um maior acúmulo de biomassa. Culturalmente, o estudo valoriza e integra o conhecimento tradicional, propondo alternativas economicamente viáveis e sustentáveis para o uso de recursos vegetais. Assim, este trabalho contribui diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), ao propor uma solução natural para a indústria farmacêutica, e o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao incentivar o uso de práticas agrícolas sustentáveis.

IMPACT INDICATORS

This study generated significant impacts in social, economic, technological, and cultural areas by exploring the potential of *Sonchus oleraceus* as a new and promising natural source of chicoric acid, a compound highly valued in medicine and the supplement industry. In experiments involving green manure and the use of colored shading nets, the plants cultivated showed greater biomass accumulation, especially under the red net and with doses of green manure, which stood out in promoting dry matter production. Additionally, the chicoric acid levels were higher than those found in the roots of the traditional *Echinacea purpurea*, the main known natural source of this compound. These results suggest that *Sonchus oleraceus* may be a viable and sustainable alternative to replace *Echinacea purpurea* as a chicoric acid source, thus diversifying the raw materials used by the pharmaceutical and supplement industries. Socially, the study emphasizes the importance of medicinal plant research, raising awareness about local biodiversity and providing valuable information to farmers on cultivating *Sonchus oleraceus*. From an economic standpoint, the cultivation of this species can offer a new income-generating opportunity for small farmers, increasing their competitiveness in the medicinal plant and natural supplement market. Technologically, the results highlight the potential of new agricultural practices, such as using green manure in different doses and shading with colored nets, which not only optimize the production of bioactive compounds of industrial interest but also promote greater biomass accumulation.

Culturally, the study values and integrates traditional knowledge, proposing economically viable and sustainable alternatives for using plant resources. Thus, this work directly contributes to the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 3 (Good Health and Well-being), by proposing a natural solution for the pharmaceutical industry, and SDG 12 (Responsible Consumption and Production), by encouraging the use of sustainable agricultural practices.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II.....	39
Tabela 1 – Parâmetros de crescimento de <i>Sonchus oleraceus</i> sob diferentes doses de adubo verde sobre área foliar (AF), número de folhas (NF), número de ramos (NR), diâmetro do caule (DC), comprimento da planta (CP). UFLA - Lavras, 2024	50
Tabela 2 – Acúmulo de matéria seca de <i>Sonchus oleraceus</i> cultivadas por 50 dias sob doses de adubo verde. MSF: matéria seca foliar; MSC: matéria seca do caule; MSR: matéria seca da raiz; MST: matéria seca total. UFLA - Lavras, 2024.....	54
Tabela 3 – Acúmulo de macro e micronutrientes em folhas secas de <i>Sonchus oleraceus</i> sob diferentes doses de adubo verde, aos 50 dias. UFLA - Lavras, 2024. Macronutrientes (A) e micronutrientes (B).....	55
Tabela 4 – Concentração de pigmentos fotossintéticos <i>Sonchus oleraceus</i> em diferentes doses de adubo verde, aos 50 dias. UFLA - Lavras, 2024.	58
Tabela 5 – Tabela de teores de compostos fenólicos, flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico de plantas de <i>Sonchus oleraceus</i> sob diferentes doses de adubo verde, aos 50 dias. UFLA - Lavras, 2024	63
CAPÍTULO III	72
Tabela 1 – Caracterização química do solo e do esterco bovino (Lab. de análise 3r lab-Lavras-MG).	78
Tabela 2 – Parâmetros de crescimento de <i>Sonchus oleraceus</i> sob influência de malhas coloridas em duas épocas (outono e primavera). Número de folhas (NF), número de ramos (NR), diâmetro do caule (DC), comprimento da planta (CP), UFLA - Lavras, 2024	81
Tabela 3 – Acúmulo de matéria seca de <i>Sonchus oleraceus</i> cultivadas por 50 dias sob influência de malhas coloridas. MSF: matéria seca foliar; MSC: matéria seca do caule; MSPA: matéria seca da parte aérea; MSR: matéria seca da raiz; R/PA: raiz/parte aérea; MST: matéria	

seca total. T: tratamentos; S: sol; V: vermelho; P: preto; a: azul; C: CV%. UFLA-Lavras, 2024 83

Tabela 4 – Concentração de pigmentos fotossintéticos sob influência de malhas coloridas de *Sonchus oleraceus*, aos 50 dias. UFLA - Lavras, 2024..... 89

Tabela 5 – Análise de fenóis, flavonas/flavonóis e ácido chicórico de plantas de *Sonchus oleraceus* sob diferentes malhas coloridas, aos 50 dias. UFLA - Lavras, 2024..... 94

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I	16
Figura 1 – Imagem de <i>Sonchus Oleraceus</i> L. cultivada em vaso.....	19
CAPÍTULO II	39
Figura 1 – Curva analítica média obtida por HPLC-DAD para a quantificação de ácido chicórico nas amostras de <i>Sonchus oleraceus</i>	48
Figura 2 – Plantas de serralha (<i>Sonchus oleraceus</i>) sob diferentes doses de adubo verde, aos 50 dias, oriundas do primeiro cultivo (verão/outono). UFLA - Lavras, 2024.	51
Figura 3 – Plantas de serralha (<i>Sonchus oleraceus</i>) sob diferentes doses de adubo verde, aos 50 dias, oriundas do segundo cultivo (verão). UFLA - Lavras, 2024.	52
Figura 4 – Cromatograma obtido por UHPLC-MS/MS (modo negativo) do extrato liofilizado de <i>Sonchus oleraceus</i>	59
Figura 5 – Espectro ESI-MS/MS no modo negativo do íon de m/z 473.9 [M+H] ⁺	60
Figura 6 – Perfil cromatográfico do extrato liofilizado de folhas <i>Sonchus oleraceus</i> , obtido por HPLC-DAD. A: amostra; B: Co-injeção da amostra com o padrão de ác. chicórico; C: padrão de ácido chicórico. Os espectros no UV foram obtidos on-line pelo detector DAD para a amostra e o padrão ácido chicórico a 320 nm.....	61
Figura 7 – Análise de componentes principais (PCA) da correlação da matriz construída usando dados parâmetro de crescimento e teor de metabólitos avaliados de serralha cultivada no primeiro (A) e segundo (B) cultivo com adubação verde	64
CAPÍTULO III	72
Figura 1 – Caracterização espectral das malhas coloridas	79

Figura 2 – Distribuição de matéria seca (%) entre os diferentes órgãos das plantas de <i>Sonchus oleraceus</i> , sob diferentes colorações de malhas e a pleno sol em duas épocas de cultivo, durante 50 dias	83
Figura 3 – Relação raiz/parte aérea de plantas de serralha, sob diferentes colorações de malhas e a pleno sol em duas épocas de cultivo, durante 50 dias	84
Figura 4 – Plantas de serralha (<i>Sonchus oleraceus</i>) sob diferentes malhas coloridas, aos 50 dias, oriundas do cultivo no outono. UFLA - Lavras, 2024	86
Figura 5 – Plantas de serralha (<i>Sonchus oleraceus</i>) sob diferentes malhas coloridas, aos 50 dias, oriundas do cultivo na primavera. UFLA - Lavras, 2024.	87
Figura 6 – Folhas de serralha (<i>Sonchus oleraceus</i>) sob diferentes malhas coloridas, aos 50 dias, oriundas do cultivo no outono e primavera. UFLA - Lavras, 2024	88
Figura 7 – Cromatograma obtido por UHPLC-MS/MS (modo negativo) do extrato liofilizado de <i>Sonchus oleraceus</i>	91
Figura 8 – Espectro ESI-MS/MS no modo negativo do íon de m/z 473.9 [M+H] ⁺	92
Figura 9 – Perfil cromatográfico do extrato liofilizado de folhas <i>Sonchus oleraceus</i> , obtido por HPLC-DAD. A: amostra; B: Co-injeção da amostra com o padrão de ác. chicórico; C: padrão de ácido chicórico. Os espectros no UV foram obtidos on-line pelo detector DAD para a amostra e o padrão ácido chicórico a 320 nm.....	93
Figura 10 – Análise de componentes principais (PCA) da correlação da matriz construída usando parâmetro de crescimento e teor de metabólitos avaliados de serralha cultivada no outono (A) e primavera (B) cultivo com malhas coloridas.	96

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	16
1 INTRODUÇÃO GERAL	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Caracterização botânica da espécie e usos na medicina tradicional	18
2.2 A química da espécie e seu potencial nutritivo e medicinal	20
2.3 Adubação como fator influenciador do metabolismo secundário de plantas	22
2.3.1 Adubação verde	23
2.3.2 Crotalaria juncea	25
2.4 A importância da luz no crescimento e metabolismo vegetal	26
2.4.1 Manejo da luminosidade no cultivo de plantas hortícolas	28
3 REFERÊNCIAS	31
CAPÍTULO II	39
CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE METABÓLICOS SECUNDÁRIOS DE <i>Sonchus oleraceus</i> EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO VERDE	39
1 INTRODUÇÃO	41
2.1 Localização experimental	42
2.2 Produção de mudas <i>in vitro</i>	42
2.3 Cultivo da espécie	43
2.4 Análise química de nutrientes foliares	44
2.5 Análise de pigmentos fotossintetizantes	44
2.6 Preparo dos extratos e condições gerais	45
2.6.1 Doseamento de compostos fenólicos e flavonas/flavonois totais	45
2.6.2 Análises cromatográficas	46
2.6.2.1 Caracterização do ácido chicórico nas amostras	46
2.6.2.2 Quantificação do ácido chicórico por UPLC-DAD	47
2.7 Análise estatística	48
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
3.1 Crescimento vegetativo e acúmulo de nutrientes foliares	49
3.2 Pigmentos fotossintéticos	56
3.3 Caracterização cromatológica do ácido chicórico, doseamento de compostos fenólicos e flavonas/flavonois totais	58
3.3.1 Análises cromatográficas	58
3.3.2 Quantificação do ácido chicórico	61
3.4 Análise dos componentes principais (PCA)	63
4 CONCLUSÃO	65

5	RERÊNCIAS	66
	CAPÍTULO III	72
	CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE METABÓLICOS SECUNDÁRIOS DE <i>Sonchus oleraceus</i> CULTIVADAS SOB MALHAS COLORIDAS	72
1	INTRODUÇÃO	74
2	MATERIAL E MÉTODOS	75
2.1	Localização experimental	75
2.2	Produção de mudas in vitro	76
2.3	Cultivo da espécie	76
2.4	Análise de pigmentos fotossintetizantes	79
2.4.1	Preparo dos extratos e condições gerais	79
2.4.3	Análise cromatográfica e caracterização do ácido chicórico nas amostras	80
2.5	Análise estatística	80
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
3.1	Análise de crescimento	80
3.2	Pigmentos fotossintéticos	89
3.3	Caracterização cromatologica do ácido chicórico, doseamento de compostos fenólicos e flavonas/flavonóis totais	90
3.3.1	Análises cromatográficas	90
3.3.2	Quantificação do ácido chicórico	93
3.4	Análise dos componentes principais (PCA)	95
4	CONCLUSÃO	97
5	REFERÊNCIAS	98

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

A *Sonchus oleraceus* L. pertence à família Asteraceae, originada da Europa e bem adaptada ao território nacional devido sua rusticidade, é uma planta consumida em várias regiões brasileiras (MAPA, 2010). É considerada uma Planta Alimentícia Não Convencional (PANC), pois apresenta desenvolvimento espontâneo, sendo considerada por muitos como erva daninha, apesar disso o seu consumo vem crescendo ao longo dos anos, devido ao gosto levemente amargo e propriedades medicinais, que incluem potenciais benefícios para a saúde humana, como a atividade antioxidante e anti-inflamatória (BASSO, 2020; EMBRAPA, 2017).

A *Sonchus oleraceus* possui um grande potencial medicinal, sendo utilizada em diversas tradições populares para tratar inflamações e outras condições de saúde. Seu valor econômico está crescendo, sendo utilizada na nutrição e medicina desde os tempos antigos e têm contribuído para a segurança alimentar, enriquecendo a diversidade da dieta e prevenindo a desnutrição (NIRMALA, 2022; GUIL-GUERRERO et al., 1998). Contudo, seu potencial ainda é subexplorado, representando uma oportunidade significativa para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios e farmacêuticos (SALIM et al 2023; YIN, KWON e WANG, 2007).

Embora o consumo das PANCs esteja em ascensão, ainda há uma carência de estudos sobre o cultivo e manejo de diversas plantas, o que limita a sua utilização na produção de alimentos e consumo pela população em geral, devido à falta de conhecimento sobre seus benefícios (RAUBER, LEANDRINI e FRANZENER, 2021). A escassez de trabalhos nesse campo pode ser um fator limitante para o cultivo de diversas espécies.

O manejo adequado da *Sonchus oleraceus* é crucial para maximizar seu potencial econômico e nutritivo. O cultivo de plantas utilizando adubação verde pode ser uma alternativa para uma agricultura sustentável e contribuir para a diminuição do uso de fertilizantes. Os adubos verdes, normalmente leguminosas, são plantas que além de produzirem grande massa de matéria verde e apresentar sistema radicular profundo, possui capacidade de fixar nitrogênio através da simbiose com bactérias (MACHADO et al., 2021; LIMA et al., 2022).

O adubo verde melhora a qualidade do solo, diminui a sua densidade, aumenta o carbono da biomassa microbiana e melhora as atividades enzimáticas do solo, levando ao aumento da produção (MA et al., 2021). Além disso, o uso de adubo verde pode aumentar o

rendimento das plantas, melhorando o conteúdo de água do solo, a disponibilidade de fósforo (P) e elevando o potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis (NAZ *et al.*, 2021).

Outro fator ambiental de extrema importância no cultivo é a luminosidade. As respostas das plantas às várias condições de luminosidade vão além do fornecimento de energia para a fotossíntese, elas envolvem também o uso de receptores sensíveis à luz de várias qualidades (ALBUQUERQUE *et al.*, 2015). Neste contexto, o cultivo em malhas coloridas pode influenciar o desenvolvimento de diversas espécies. A cobertura vegetal em malha reduz a radiação solar e melhora o microambiente das plantas, reduzindo potencialmente os fatores de estresse abióticos (VARGAS *et al.*, 2023). O uso de malhas de sombreamento pode levar a um aumento da altura da planta, diâmetro do caule, índice de área foliar, número de folhas por planta, matéria seca e menor índice de clorofila (PADRÓN *et al.*, 2015).

Portanto, o cultivo sob malhas coloridas permite o controle da qualidade da luz recebida pelas plantas, o que pode influenciar diretamente a produção de metabólitos secundários em plantas medicinais (ZHANG *et al.*, 2021).

Visto que ainda não existem trabalhos na literatura sobre o cultivo de *Sonchus oleraceus* sob malhas coloridas e utilizando diferentes doses de adubo verde, objetivou-se avaliar os efeitos desses cultivos no crescimento, pigmentos fotossintéticos e acúmulo de metabólitos secundários. Espera-se que o manejo adequado não apenas potencie o valor nutricional e medicinal da espécie, mas também contribua para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização botânica da espécie e usos na medicina tradicional

A *Sonchus oleraceus* é uma planta que pertence à família Asteraceae. O gênero *Sonchus* é composto por aproximadamente 60 espécies e subespécies distribuídas mundialmente, caracterizado por apresentar um sabor amargo e com vários benefícios ao trato gastrointestinal, principalmente à mucosa estomacal (LIMA, 2009; MCCARREN e SCOTT, 2013).

A planta *Sonchus oleraceus* é uma espécie que pode ser encontrada durante todo ano, caracterizada lactescentes, eretas e seu caule apresenta tamanho entre 20 e 150 cm de comprimento. Suas folhas possuem formato variável ao mesmo tempo simples, com rosulado

basilares ou inseridas ao longo da haste da planta, podendo ser observadas amplexicaules, inteiras ou profundamente dentadas, pinatipartidas ou pinatilobadas. As suas inflorescências terminais racemosas e capítulos com flores hermafroditas de corola ligulada e amarela (ARANHA *et al.*, 1982; JORGE e FERRO, 1989). As suas sementes são dispersadas pelo vento, podendo ficar no solo por volta de oito anos (FRAGA e TASENDE, 2003).

Figura 1 – Imagem de *Sonchus Oleraceus* L. cultivada em vaso.



Fonte: Imagem do autor (2022).

As *Sonchus oleraceus* (Figura 1) faz parte das ervas cosmopolitas, podem ser encontradas em todo o mundo, em destaque no Norte da África, Europa, Canadá, Ásia e Brasil, fazendo parte da alimentação de muitas pessoas para fins medicinais e como planta alimentícia não convencional (PANC) (HUTCHINSON *et al.*, 1984; AKEPIC, 2010). As PANC's representam grande importância e potencial produtivo crescente na região sul de

Minas Gerais. Sendo esta espécie bastante cultivada e comercializada por meio de venda direta no varejo e feiras livres (OLIVEIRA *et al.*, 2022).

O gênero *Sonchus* contém importante concentração de fibras alimentares e baixa densidade calórica, o que é um bom indicador de qualidade nutricional, tendo em vista que quanto maior a densidade calórica do alimento ingerido, maior o risco de desenvolver obesidade e doenças cardiovasculares (FILHO, BARREIRA, SANTANA, 2022).

De acordo com a tabela brasileira de composição de alimentos (TACO), a *Sonchus oleraceus* crua contém 90% de umidade, 30 kcal, 2,7g de proteína, 0,7g de lipídeos, 4,9g de carboidratos, 3,5g de fibra, 1,4g de cinzas, 126 mg de cálcio e 30mg de magnésio. Sendo considerada fonte de fibras, potássio, manganês, cálcio, ferro, vitamina B9 e vitamina C (SÁNCHEZ-AGUIRRE *et al.*, 2024).

Nos últimos anos, tem sido relatado uma enorme variedade de atividades fitoquímicas e farmacológicas acerca desta espécie. Sendo os usos mais comuns para problemas gastrointestinais, diabetes, inflamações, infecções, hepatite, feridas. Dentre as atividades farmacológicas se destacam a antioxidante, antimicrobiana, antiproliferativo e citotóxico (SÁNCHEZ-AGUIRRE *et al.*, 2024).

Na medicina tradicional brasileira, as raízes, folhas e inflorescências de *Sonchus oleraceus* são usadas por via oral na forma de infusões ou decocções no tratamento de dores de estômago e outros problemas gastrointestinais, como agente anti-inflamatório e no tratamento de problemas cardiovasculares (VECCHIA *et al.*, 2022).

2.2 A química da espécie e seu potencial nutritivo e medicinal

Sonchus oleraceus é um vegetal folhoso funcional subutilizado com altos valores nutricionais e farmacológicos com uma vasta distribuição global, e tem atraído cada vez mais atenção científica devido aos seus metabólitos bioativos. Essa planta contém flavonoides, ácidos fenólicos e outros antioxidantes que são responsáveis pelas propriedades nutritivas e medicinais. Podendo ser destaque em diversas indústrias, enfatizando a necessidade de estudar mais a fundo suas propriedades e aplicações (NOBELA *et al.*, 2021; NOUIDHA *et al.*, 2023).

Dentro do gênero *Sonchus*, a *Sonchus oleraceus* possui o maior conteúdo total de flavonoides (YIN, SI, WANG, 2008). Na literatura foram demonstrados trinta e seis compostos isolados de diferentes partes de *Sonchus oleraceus*. Os mais relatados são os

flavonoides e as lactonas terpênicas, sendo os principais grupos de metabólitos secundários nesta espécie (SÁNCHEZ-AGUIRRE *et al.*, 2024). Ácido caftárico, ácido clorogênico e ácido chicórico são os três principais antioxidantes identificados no extrato metanólico das folhas dessa espécie, sendo a atividade antioxidante desse extrato de 70% (OU, RADES, MCDOWELL 2015; SAXENA, KUMAR, 2020). Além disso, análises fitoquímicas das folhas e raízes apontaram a presença de antraquinonas, flavonoides, fenóis, taninos e saponinas (JAIN e SINGH, 2014).

A demanda por alternativas naturais impulsiona o interesse por plantas que oferece benefícios à saúde e oportunidades econômicas no mercado global de produtos de origem vegetal. A *Sonchus oleraceus* possui metabólitos como compostos fenólicos e flavonoides, que são valiosos nas indústrias farmacêutica e alimentícia devido às suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (LI e YANG, 2018).

A *Sonchus oleraceus* é uma planta que pode ser introduzida numa dieta equilibrada por apresentar vitaminas, minerais e fibras, além de compostos que atuam como antioxidantes naturais. Esta planta é utilizada na nutrição e medicina desde os tempos antigos e têm contribuído para a segurança alimentar, enriquecendo a diversidade da dieta e prevenindo a desnutrição (NIRMALA, 2022; GUIL-GUERRERO *et al.*, 1998).

Sonchus oleraceus é uma planta que tem sido usada como alimento por suas propriedades medicinais, incluindo o uso de folhas e da planta inteira para o tratamento de problemas gastrointestinais, inflamação, infecções, diabetes e câncer. Os metabólitos secundários encontrados nesta espécie apontam sua eficácia para algumas condições relacionadas aos seus usos tradicionais. Essas propriedades são essenciais para a saúde humana, pois podem ajudar a combater o estresse oxidativo, reduzir inflamações e prevenir infecções. Estudos científicos revelam o potencial de *Sonchus oleraceus* como uma planta medicinal promissora (SÁNCHEZ-AGUIRRE *et al.*, 2024; VILELA *et al.*, 2010).

O potencial medicinal de *Sonchus oleraceus* vai além de seu uso tradicional, estendendo-se a aplicações mais modernas e industriais. Os extratos de *Sonchus oleraceus* tiveram atividade antioxidante eficaz contra o crescimento das células cancerígenas do estômago e no tratamento de diabetes. Além de uma ótima fonte de alimento e antioxidantes naturais, a extração desses compostos para uso em novos medicamentos e produtos de saúde representa uma aplicação para uso industrial significativa (SALIM *et al.*, 2023; YIN, KWON e WANG, 2007).

2.3 Adubação como fator influenciador do metabolismo secundário de plantas

A adubação desempenha um papel fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas, influenciando diretamente a produção de metabólitos secundários, que são compostos essenciais para a defesa e sobrevivência das espécies vegetais. Esses metabólitos, são altamente sensíveis às mudanças na disponibilidade de nutrientes, especialmente quando se trata de macronutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio (WATERMAN e MOLE, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O nitrogênio é um macronutriente que influencia os principais aspectos do desenvolvimento da planta, afeta o rendimento da biomassa, bem como o conteúdo de metabólitos secundários. A deficiência de nitrogênio pode desencadear a produção de flavonas/flavonóis e outros compostos antioxidantes, que são cruciais para a proteção contra o estresse ambiental. Portanto, a gestão cuidadosa da adubação nitrogenada é essencial para otimizar a produção desses compostos (LANDI *et al.*, 2019; GALIENI *et al.*, 2015).

Além do nitrogênio, a adubação orgânica tem mostrado influenciar positivamente o metabolismo secundário de plantas. Estudos mostram que plantas cultivadas com adubação orgânica tendem a apresentar níveis mais elevados de compostos fenólicos e flavonoides, que possuem propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (NAGUIB *et al.*, 2012).

A adubação verde, prática que envolve a incorporação de plantas específicas no solo para melhorar sua fertilidade, também desempenha um papel importante na modulação do metabolismo secundário. As plantas utilizadas como adubos verdes, ao decompor-se, liberam nutrientes de forma gradual, o que pode levar a uma resposta mais equilibrada da planta em termos de produção de metabólitos. Além disso, a adubação verde contribui para a melhoria da estrutura do solo e o aumento da matéria orgânica, fatores que são essenciais para a saúde geral das plantas e, conseqüentemente, para a produção de compostos bioativos (ASSIS *et al.*, 2024; HERATH *et al.*, 2023; LYU *et al.*, 2024).

Finalmente, a interação entre a adubação e fatores ambientais, como luz, temperatura e disponibilidade hídrica, também influencia o metabolismo secundário. As condições ambientais podem potencializar ou mitigar os efeitos da adubação, fazendo com que as plantas ajustem sua produção de metabólitos em resposta a essas variáveis. As plantas têm a capacidade de sintetizar uma variedade de metabólitos secundários para lidar com os efeitos negativos do estresse. Assim, a compreensão dessas interações é crucial para o desenvolvimento de estratégias de manejo que maximizem a produção de compostos de

interesse, sejam eles para fins farmacêuticos, alimentícios ou industriais (PANT, PANDEY e DALL'ACQUA, 2021; QADERI, MARTEL e STRUGNELL, 2023).

2.3.1 Adubação verde

O Brasil se destaca como um grande produtor agrícola, necessitando de uma grande demanda de fertilizantes para suprir as lavouras. No entanto, grande parte desses fertilizantes são importados, e a oscilação do valor do dólar, pode aumentar significativamente os valores desses fertilizantes (OLIVEIRA, MALAGOLLI e CELLA, 2019). Diante disso, uma alternativa é o uso de adubo verde.

A adubação verde é o cultivo e incorporação de plantas ao solo, principalmente espécies leguminosas, produzidas com a finalidade de preservar ou repor a matéria orgânica (SARMENTO, 2019). O uso de adubo verde pode ser uma alternativa para uma agricultura sustentável e diminuir cada vez mais o uso de fertilizantes, melhorando os aspectos físicos, químicos e biológicos dos solos, por meio do cultivo e incorporação de espécies com grande produção de biomassa e ciclagem de nutrientes, auxiliando na conservação dos solos (LIMA *et al.*, 2022).

O adubo verde é uma cultura utilizada principalmente como fonte de nutrientes para culturas subsequentes. Abordagens de adubo verde podem melhorar a viabilidade econômica da produção agrícola, ao mesmo tempo em que reduzem os impactos ambientais da agricultura (CHERR, SCHOLBERG e MCSORLEY, 2006).

As espécies de plantas de adubação verde mais abundantes no Brasil incluem *Brachiaria decumbens*, *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Crotalaria spectabilis*, *Lablab purpureus*, *Mucuna pruriens* e *Neonotonia wightii* (BARBOSA *et al.*, 2021). *Cajanus cajan* e *Crotalaria juncea* são as espécies mais utilizadas para promoverem cobertura vegetal rápida e aumentarem a matéria orgânica e o teor de nitrogênio no solo (FONSECA, MARTINS e VILAA, 2023).

Dentre os adubos verdes utilizados, a crotalária também se destaca pela grande produção de matéria seca e acúmulo de macro e micronutrientes no solo (SANTOS *et al.*, 2021). Caracteriza-se por apresentar porte herbáceo ou arbustivo; folhas digitado-trifolioladas, unifolioladas ou simples; flores com corola predominantemente amarela; estames monadelfos, formando um tubo aberto por uma fenda, anteras dimorfas e legumes inflados (FLORES e MIOTTO 2005).

Os adubos verdes, especialmente plantas da família das fabáceas, são plantas que além de produzirem massa de matéria verde, possuem sistema radicular profundo. Têm a capacidade de fixar nitrogênio através da simbiose com bactérias, reduzindo a necessidade de adubos nitrogenados para a cultura subsequente, beneficiando a rentabilidade da produção e contribuindo para a redução de emissão de gases de efeito estufa, com preservação da biodiversidade dos solos (MACHADO *et al.*, 2021).

Além disso, o adubo verde com leguminosas aumenta significativamente o nitrogênio, enquanto o adubo verde não leguminoso eleva o potássio disponível (MA *et al.*, 2021). Devido ao potencial de fixação biológica de nitrogênio, leguminosas utilizadas como adubo verde são uma fonte alternativa de nitrogênio para as culturas, podendo suplementar ou até mesmo substituir a fertilização com nitrogênio mineral (AMBROSANO *et al.*, 2005).

Em comparação com as gramíneas, as leguminosas possuem maior capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes devido às suas maiores concentrações de nutrientes na biomassa. A incorporação de biomassa acelera sua decomposição e favorece os efeitos benéficos dos adubos verdes (ALCÂNTARA *et al.*, 2000).

Abordagens de adubação verde para a produção agrícola podem melhorar a viabilidade econômica e reduzir os impactos ambientais, mas requerem técnicas complexas de investigação e gestão para utilizar eficazmente as culturas (CHERR, SCHOLBERG e MCSORLEY, 2006).

Os adubos verdes possuem impacto direto no desenvolvimento vegetativo de diversas hortaliças. A crotalária, em particular, tem demonstrado promover incrementos significativos no diâmetro de pseudocaule de cebola, além de maiores rendimentos de alface comparados aos obtidos com adubação mineral (SANTOS *et al.*, 2018; SARMENTO *et al.*, 2019).

Em sistemas agrícolas, a manutenção da matéria orgânica é uma estratégia para reduzir a degradação do solo. Práticas agrícolas como a adição de esterco e adubos verdes são práticas de manejo que podem aumentar o conteúdo de nutrientes e melhorar a agregação do solo (YANG *et al.*, 2014). Adubos verdes aumentam o teor de matéria orgânica dissolvida no solo, o que pode aumentar a estabilidade e contribuir para a retenção de umidade (CHANG *et al.*, 2017).

O cultivo contínuo e frequente do solo pode contribuir para a quebra dos agregados e a remoção da matéria orgânica, reduzindo a fertilidade e a produtividade do solo. A adubação verde é um método eficiente e de baixo custo para preservar a fertilidade do solo e reduzir o

uso de fertilizantes inorgânicos na agricultura sustentável (SINGH, 2023). Os adubos verdes melhoram as propriedades físico-químicas e biológicas do solo, a fertilidade, o fornecimento de nutrientes, controlam a erosão e fornecem proteção às plantas (SAINI, YADAV e YADAV, 2019).

Espécies vegetais da família Fabaceae, como hospedeiras de espécies de fungos micorrízicos arbusculares, são importantes para a melhoria da biodiversidade do solo, processos ecológicos, a fisiologia vegetal e a produtividade do solo (BARBOSA *et al.*, 2021). No entanto, o efeito dos tipos de adubo verde (leguminosa e não leguminosa) nos grupos e atividades microbianas do solo é desconhecido (KHAN *et al.*, 2020).

2.3.2 *Crotalaria juncea*

A *Crotalaria juncea*, conhecida popularmente como crotalária ou "sunn hemp," é uma leguminosa tropical amplamente utilizada na adubação verde devido às suas propriedades para a melhoria do solo e para o cultivo sustentável. Esta planta é valorizada por sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e por sua adaptação a uma ampla gama de condições ambientais, tornando-a uma escolha eficaz para incrementar a fertilidade do solo e promover práticas agrícolas sustentáveis (BHANDARI *et al.*, 2022).

Uma das principais características da *Crotalaria juncea* é sua habilidade de formar simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, como *Bradyrhizobium* spp. e *Rhizobium* spp. Essas bactérias colonizam os nódulos radiculares da planta e convertem o nitrogênio atmosférico em formas utilizáveis pelas plantas. A fixação de nitrogênio realizada pela *Crotalaria juncea* pode fornecer uma fonte significativa de nitrogênio para o solo, reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos e contribuindo para uma gestão mais sustentável dos nutrientes (BERRIEL, MONZA e PERDOMO, 2020; CLÚA *et al.*, 2018; MAHMUD *et al.*, 2020).

A utilização de *Crotalaria juncea* como adubo verde proporciona vários benefícios para a fertilidade do solo. A planta possui um sistema radicular profundo que ajuda a melhorar a estrutura do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e promovendo uma melhor aeração. A incorporação da biomassa de *Crotalaria juncea* no solo aumenta o teor de matéria orgânica, o que, por sua vez, melhora a atividade microbiana e a qualidade geral do solo. Esses efeitos são cruciais para a saúde do solo e para a sustentabilidade das práticas agrícolas (ARALDI *et al.*, 2016).

Além dos benefícios para a fertilidade do solo, a *Crotalaria juncea* oferece vantagens ecológicas e fitossanitárias. Sua densa cobertura do solo ajuda a suprimir o crescimento de plantas daninhas e reduzir a erosão. A planta também pode atuar como uma cultura de cobertura que melhora a biodiversidade do solo e proporciona um ambiente menos favorável para patógenos e pragas. Estudos têm mostrado que a *Crotalaria juncea* pode reduzir a incidência de algumas doenças de plantas, contribuindo para uma agricultura mais saudável e menos dependente de produtos químicos (MAKKARENNU e KADIR, 2018; GEVENS, MAIA e JORDAN, 2009).

Embora a *Crotalaria juncea* seja eficaz como adubo verde, é importante considerar aspectos como a escolha da época de plantio e a gestão adequada da biomassa. A planta deve ser cultivada e incorporada ao solo de forma a maximizar seus benefícios, garantindo que a matéria orgânica seja adequadamente decomposta para enriquecer o solo. A seleção das condições ideais de cultivo, como o tipo de solo e a disponibilidade de água, é fundamental para obter os melhores resultados na adubação verde (FILHO, 2014).

A pesquisa sobre *Crotalaria juncea* deve continuar a explorar os diferentes aspectos de seu uso na adubação verde, incluindo a eficácia em diferentes tipos de solo e condições climáticas. Investigações adicionais podem focar na interação da planta com outros métodos de manejo sustentável e no desenvolvimento de práticas otimizadas para maximizar seus benefícios. A compreensão aprofundada dessas dinâmicas pode promover práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis, contribuindo para a conservação dos recursos naturais e a melhoria da produtividade agrícola (DINIZ *et al.*, 2017; TEODORO *et al.*, 2011).

2.4 A importância da luz no crescimento e metabolismo vegetal

As plantas possuem respostas a diferentes condições de luminosidade não apenas para a fotossíntese, mas também para sinalizar o desenvolvimento através de receptores sensíveis à luz, que detectam intensidades, qualidade espectral e estado de polarização variáveis (ALBUQUERQUE *et al.*, 2015).

O espectro de luz desempenha um papel importante no ajuste do metabolismo das plantas às mudanças nas condições ambientais, com os espectros azul e vermelho exercendo papel decisivos na regulação do metabolismo (BORBÉLY *et al.*, 2022). As plantas respondem à qualidade espectral da luz através de vias metabólicas e de sinalização subjacentes, que podem ser otimizadas para o crescimento (DUECK, IEPEREN e TAULAVUORI, 2016).

A luz azul, em quantidade adequada, pode aumentar o desempenho fotossintético, estimulando respostas morfológicas e fisiológicas, embora não haja correlação positiva entre a taxa fotossintética e o acúmulo de massa seca da parte aérea (WANG *et al.*, 2016). O espectro azul é essencial para o desenvolvimento fotossintético eficiente das folhas sob condições de pouca luz, promovendo o desenvolvimento eficiente do cloroplasto e estimulando o crescimento geral das plantas (WANG, XU e CUI, 2015).

Por outro lado, a luz vermelha, altera fortemente a morfologia e a fisiologia da planta em comparação com a luz branca, embora não mostre um efeito positivo consistente no metabolismo secundário (LANDI *et al.*, 2019). A adição de luz vermelha resultou em aumento na área foliar das plantas, facilitando uma melhor eficiência na interceptação de luz e melhor uso da radiação solar pela planta (ZOU *et al.*, 2019).

Além de fornecer energia para a fotossíntese, a luz também dita sinais específicos que regulam o desenvolvimento, a modelagem e o metabolismo das plantas no fenômeno complexo da fotomorfogênese, influenciado pelas diferentes cores da luz. Estes sinais são percebidos mesmo em intensidade muito baixa pelos fotorreceptores (PARADISO e PROIETTI, 2021).

A luz é um elemento crucial no metabolismo das plantas, desempenhando um papel central na fotossíntese, o processo vital para a produção de energia e biomassa. Durante a fotossíntese, as plantas capturam a luz solar por meio dos cloroplastos, convertendo energia luminosa em energia química para a síntese de carboidratos a partir de dióxido de carbono e água (TAIZ *et al.*, 2017).

Esse processo não só gera glicose, que é a principal fonte de energia para o crescimento e desenvolvimento das plantas, mas também libera oxigênio, essencial para a respiração de organismos aeróbicos. A eficiência da fotossíntese depende diretamente da intensidade e da qualidade da luz, tornando a luz um fator determinante para o metabolismo vegetal (JOHNSON, 2016; WIMALASEKERA, 2019).

A qualidade da luz, que inclui diferentes comprimentos de onda, afeta significativamente o metabolismo secundário das plantas. Metabólitos secundários, como flavonoides e terpenoides, são produzidos em resposta a diferentes espectros de luz e desempenham papéis essenciais na defesa contra patógenos e na adaptação ao ambiente (PARADISO e PROIETTI, 2021). A luz azul e vermelha, por exemplo, influencia a produção desses compostos, afetando características como o conteúdo antioxidante e a capacidade de

proteção das plantas. A manipulação da qualidade da luz pode, portanto, otimizar a produção de metabólitos secundários de interesse para a saúde e qualidade dos produtos vegetais (JUNG *et al.*, 2021).

A luz também é um regulador chave no ciclo de vida das plantas, incluindo germinação, crescimento, florificação e senescência (TAIZ *et al.*, 2017). A duração do dia e da noite, conhecida como fotoperiodicidade, influencia os ritmos circadianos e os sinais hormonais que controlam esses processos. Por exemplo, muitas plantas requerem um determinado período de luz para iniciar a floração (SONG, ITO e IMAIZUMI, 2010). Assim, o controle da fotoperiodicidade por meio de iluminação artificial ou manipulação das condições naturais pode ser utilizado para sincronizar e otimizar o ciclo de vida das plantas, melhorando o rendimento e a qualidade das culturas (RENGASAMY *et al.*, 2022).

Além de seu impacto direto no crescimento e desenvolvimento, a luz também afeta a saúde e a qualidade das plantas. A exposição a luzes específicas, como a luz ultravioleta, pode estimular a produção de compostos bioativos que conferem propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Esses compostos não apenas protegem as plantas contra danos oxidativos e estresses ambientais, mas também melhoram a qualidade nutricional e medicinal dos produtos vegetais. A manipulação da luz é, portanto, uma estratégia importante para promover a saúde das plantas e a qualidade dos alimentos (LOGEMANN *et al.*, 2000; TEIXEIRA, 2020).

A compreensão da luz no metabolismo vegetal levou ao desenvolvimento de tecnologias como iluminação artificial e malhas coloridas, que otimizam o cultivo e melhoram a produtividade agrícola. Essas técnicas permitem controlar com precisão as condições de crescimento, aumentando o rendimento e a qualidade das culturas. A pesquisa contínua sobre a luz e seu impacto é vital para inovar práticas agrícolas e atender à demanda por alimentos sustentáveis e de alta qualidade (DELGADO-VARGAS *et al.*, 2023; PARRADISO e PROIETTI 2021).

2.4.1 Manejo da luminosidade no cultivo de plantas hortícolas

As plantas precisam se adaptar constantemente a um ambiente de luz em mudança, a fim de otimizar a conversão de energia através do processo de fotossíntese e minimizar os fotodanos. Além disso, as plantas usam sinais luminosos para cronometrar as principais transições de desenvolvimento, como o início da floração. Equipadas com uma variedade de fotorreceptores que lhes permite detectar um espectro de luz muito amplo, desde o UV-B até

comprimento de onda do vermelho extremo (280-750 nm). Esses fotorreceptores permitem que as plantas se adaptem às mudanças no ambiente luminoso, influenciando vários aspectos do seu crescimento e desenvolvimento ao longo do seu ciclo de vida (GALVÃO e FANKHAUSER, 2015).

O fototropismo, o movimento dos cloroplastos e a abertura estomática são regulados pelas proteínas fototropina e fitocromo, promovendo o crescimento das plantas através da captura eficiente de luz para a fotossíntese (SUETSUGU e WADA, 2007). As plantas respondem ao fototropismo otimizando a captura de luz das folhas em ambientes com pouca luz e aumentando a produtividade fotossintética por meio da ativação de fototropina e gradientes de auxina. O fototropismo positivo, leva ao crescimento em direção à luz, enquanto as raízes frequentemente apresentam fototropismo negativo, desencadeando o crescimento longe da luz. Esse processo otimiza a captura de luz pelas folhas, consequentemente, aumenta a produtividade fotossintética (FANKHAUSER e CHRISTIE, 2015).

As plantas utilizam fotorreceptores para detectar e interpretar informações da luz que chega, regulando as vias de sinalização para se adaptarem a ambientes em mudança e manterem sua plasticidade (PAIK e HUNG, 2019). Os fotorreceptores medem a luz e a temperatura ambiente, ajustando o desenvolvimento conforme necessário e regulando amplamente o desenvolvimento das plantas através da auxina (KÜPERS e PIERIK, 2020).

O uso de malhas de sombreamento modifica principalmente a quantidade e a qualidade da luz, reduzindo a intensidade luminosa em uma porcentagem aproximadamente pré-determinada. Essas malhas também reduzem a velocidade do vento e a temperatura do solo, com impacto mínimo na temperatura da copa e na umidade relativa (MUPAMBI *et al.*, 2018).

As malhas de sombreamento protegem as plantas contra radiação solar excessiva, atenuando a fração da irradiância global recebida e variando as proporções espectrais conforme diferentes padrões, cores e fatores de sombreamento. Essas malhas transmitem a luz solar em um comprimento de onda específico, afetando potencialmente a morfologia e a fisiologia das plantas (KOTILAINEN, ROBSON e HERNÁNDEZ, 2018).

A utilização de redes de sombreamento coloridas permite manipular o espectro de luz, fornecendo a quantidade e qualidade de luz adequada para cada espécie e maximizando a produção. Diferentes tipos de malhas de sombreamento incluem branco, azul, vermelho e preto (SILVA *et al.*, 2018).

Malhas de sombreamento pretas, azuis e vermelhas aumentam o índice de crescimento das plantas, a taxa fotossintética líquida e a condutância estomática, diminuem as temperaturas do ar e da superfície das folhas no verão e reduzem os danos causados pelo frio no inverno. (ZHANG, *et al.*, 2022).

O uso de malhas de sombreamento coloridas aumenta a produção de frutos e melhora a qualidade de pimentões e tomates (BEN-YAKIR *et al.*, 2012). Na viticultura, as malhas de sombreamento são utilizadas para reduzir o estresse térmico e hídrico e melhorar a eficiência do uso da água (PALLOTTI *et al.*, 2023). Elas também reduzem as queimaduras solares, melhoram a cor do cladódio e aumentam o comprimento dos frutos e o acúmulo de betacianina em plantas de pitaya (CHANG, HSIEH e JIANG, 2016). Malhas coloridas podem modificar a qualidade da luz, desencadeando diferentes respostas das árvores frutíferas, como mecanismos de evitar sombra, relação fonte-dreno e disponibilidade de carboidratos (VUKOVIĆ *et al.*, 2022). O uso das malhas é uma estratégia utilizada na horticultura para aumentar a produtividade das culturas.

O cultivo de plantas medicinais em malhas de sombreamento pode influenciar o seu desenvolvimento. Manjeriço cultivado nessas malhas mostrou maior comprimento da parte aérea e maiores índices de clorofila, enquanto, plantas cultivadas em pleno sol apresentaram maiores valores na produção de biomassa (ALMEIDA *et. al.*, 2021).

O uso de malhas coloridas para filtragem de radiação pode ser uma opção viável para aumentar a produção de metabólitos secundários em plantas medicinais (ZHANG *et al.*, 2021). Em plantas de *Mikania glomerata*, o espectro de luz proporcionada pelas malhas de sombreamento influenciou positivamente no crescimento e acúmulo de fitomassa. A utilização de malhas fotoconversora vermelha e termorefletora favorece o aumento nos índices de clorofila de plantas de guaco (ZUFFO e AGUILERA, 2020).

3 REFERÊNCIAS

- AKEPIC (Alaska Exotic Plant Information Clearinghouse). Data base. 2010. Disponível em: <<http://accs.uaa.alaska.edu/>>. Acessado em 30/03/2024.
- ALBUQUERQUE, T. C. S.; EVANGELISTA, T. C.; DE ALBUQUERQUE NETO, A. A. R. Níveis de sombreamento no crescimento de mudas de castanheira do Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 9, n. 4, p. 440-445, 2015.
- ALCÂNTARA, F. A. *et al.* Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 277-288, 2000.
- AMBROSANO, E. J. *et al.* Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 6, p. 534-542, 2005.
- ARALDI, D. A. *et al.* Effect of sowing depth and presence of straw on the substrate in the emergence of *Crotalaria juncea*. 2016.
- ARANHA, C.; BACCHI, O.; LEITÃO FILHO, H. In: Plantas invasoras de culturas. **Instituto Campineiro de Ensino Agrícola**, v. 2, p. 412-413. 1982.
- ASSIS, R. M. *et al.* Green manure (*Crotalaria juncea* L.) enhances *Origanum vulgare* L. biomass accumulation, essential oil yield, and phytochemical properties. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 96, n. 1, p. e20230539, 2024.
- BARBOSA, L. S. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi diversity and transpiratory rate in long-term field cover crop systems from tropical ecosystem, northeastern Brazil. **Symbiosis**, v. 85, p. 207-216, 2021.
- BASSO, A. *et al.* Plantas Alimentícias Não Convencionais-PANC: Resgatando a Soberania Alimentar e Nutricional. 1. ed. Caxias do Sul: UCS, 2020. 102 p.
- BEN-YAKIR, D. *et al.* Colored shading nets impede insect invasion and decrease the incidences of insect-transmitted viral diseases in vegetable crops. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 144, n. 3, p. 249-257, 2012.
- BERRIEL, V.; MONZA, J.; PERDOMO, C. H. Cover crop selection by jointly optimizing biomass productivity, biological nitrogen fixation, and transpiration efficiency: application to two *crotalaria* species. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1116, 2020.
- BHANDARI, HR *et al.* Sunn Hemp: A Climate-Smart Crop. In: Development of Climate-Resilient Forage and Grain Legumes. Cingapura: **Springer Nature Singapore**, 2022. p. 277-296.
- BORBÉLY, P. *et al.* Light intensity-and spectrum-dependent redox regulation of plant metabolism. **Antioxidants**, v. 11, n. 7, p. 1311, 2022.
- BRANT, R. S. *et al.* Growth, content and composition of lemon balm essential oil cultivated under color shading nets. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1401-1407, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de hortaliças nãoconvencionais**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: Mapa/ACS, 2010. 92 p.

CHANG, D., *et al.* Effects of green manures on dissolved organic matter in wet soils in northern China. *37* 1, 221-6, 2017.

CHANG, P.; HSIEH, C.; JIANG, Y. Responses of ‘Shih Huo Chuan’ pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britt. & Rose) to different degrees of shading nets. *Scientia horticulturae*, v. 198, p. 154-162, 2016.

CHERR, C.; SCHOLBERG, J.; MCSORLEY, R. Green manure approaches to crop production: A synthesis. ***Agronomy journal***, v. 98, n. 2, p. 302-319, 2006.

CLÚA, J. *et al.* Compatibility between legumes and rhizobia for the establishment of a successful nitrogen-fixing symbiosis. ***Genes***, v. 9, n. 3, p. 125, 2018.

DE ALMEIDA, V. G. S. *et al.* Influence of Luminosity on the Phytomass and Quality of the Plant *Ocimum basilicum* L. ***Brazilian Journal of Development***, v. 7, n. 6, p. 58404-58415, 2021.

DELGADO-VARGAS, V. A. *et al.* Mesh Crop Cover Optimizes the Microenvironment in a Tropical Region and Modifies the Physiology and Metabolome in Tomato. ***Horticulturae***, v. 9, n. 6, p. 636, 2023.

DINIZ, E. R. *et al.* Levels of *Crotalaria juncea* on growth, production, recovery and efficiency of the use of N in broccoli. ***Horticultura Brasileira***, v. 35, n. 3, p. 395-401, 2017.

DONG, N. *et al.* Effects of green-manure and tillage management on soil microbial community composition, nutrients and tree growth in a walnut orchard. ***Scientific reports***, v. 11, n. 1, p. 16882, 2021.

DUECK, T., IEPEREN, W. E TAULAVUORI, K. Special Issue: Light perception, signalling and plant responses to spectral quality and photoperiod in natural and horticultural environments. ***Environmental and Experimental Botany***, 121, 1-3, 2016.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2015.06.012>.

EMBRAPA. **Hortaliças não convencionais. Hortaliças tradicionais: serralha**. 2017.

FANKHAUSER, C.; CHRISTIE, J. M. Plant phototropic growth. ***Current Biology***, v. 25, n. 9, p. R384-R389, 2015.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A Computer Analysis System to Fixed Effects Split Plot Type Designs. ***Revista Brasileira de Biometria***, [s.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FILHO, G. X. P.; BARREIRA, T. F.; SANTANA, H. M. P. Chemical Composition and Nutritional Value of Three *Sonchus* Species. ***International Journal of Food Science***, v. 1, pág. 4181656, 2022.

FILHO, O. F. L. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. 2014.

FLORES, A. S.; MIOTTO, S. T. S. Phytogeographic aspects of the *Crotalaria* L. species (Leguminosae, Faboideae) in southern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 245-249, 2005.

FONSECA, W. S.; MARTINS, S. V.; VILLA, P. M. Green manure as an alternative for soil recovery in a bauxite mining environment in Southeast Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 1, pág. e20220041, 2023.

FRAGA, M. I.; TASENDE, M. G. Mechanisms of resistance to simazine in *Sonchus oleraceus*. **Weed Research**, v. 43, n. 5, p. 333-340, 2003.

GALIENI, A. et al. Effects of nutrient deficiency and abiotic environmental stresses on yield, phenolic compounds and antiradical activity in lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 187, p. 93-101, 2015.

GALVÃO, V. C.; FANKHAUSER, C. Sensing the light environment in plants: photoreceptors and early signaling steps. **Current opinion in neurobiology**, v. 34, p. 46-53, 2015.

GEVENS, A. J.; MAIA, G.; JORDAN, S. A. First report of powdery mildew caused by *Golovinomyces cichoracearum* on *Crotalaria juncea* ('Tropic Sun' Sunn hemp). **Plant Disease**, v. 93, n. 4, p. 427-427, 2009.

GUIL-GUERRERO, J. L. et al. Nutritional composition of *Sonchus* species (*S. asper* L., *S. oleraceus* L. and *S. tenerrimus* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 76, n. 4, p. 628-632, 1998.

HERATH, U. S. et al. Decomposition and nitrogen mineralization of *Gliricidia sepium* leaf green manure under diverse nutrient management strategies in irrigated lowland rice cropping systems in Sri Lanka. 2023.

HISCOX, J.; ISRAELSTAM, G. F. Different methods of chlorophyll extraction. **Can. J. Bot.** [s.l.], v. 57, n. 1332-1332, 1979.

HUTCHINSON, I.; COLOSI, J.; LEWIN, R. A. The biology of canadian weeds.: 63. *Sonchus asper* (L.) Hill and *S. oleraceus* L. **Revista canadense de ciência vegetal**, v. 64, n. 3, p. 731-744, 1984.

JAIN, S. K.; SINGH, G. K. Preliminary phytochemical screening and in vitro antioxidant activity of extracts of whole plant of *Sonchus Oleraceus* Asteraceae. **Res J Pharm Sci**, v. 3, n. 3, p. 1-12, 2014.

JOHNSON, M. P. Correction: Photosynthesis. **Essays in Biochemistry**, v. 61, n. 4, p. 429, 2017.

JORGE, L. I. F.; FERRO, V. O. Identificação de *Sonchus oleraceus* L. (serralha) principais características estruturais e químicas. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 2, p. 67-77, 1989.

JUNG, W. et al. Application of light-emitting diodes for improving the nutritional quality and bioactive compound levels of some crops and medicinal plants. **Molecules**, v. 26, n. 5, p. 1477, 2021.

KHAN, M. I. *et al.* Short-term effects of different green manure amendments on the composition of major microbial groups and microbial activity in a submerged rice cultivation system. **Applied Soil Ecology**, v. 147, p. 103400, 2020.

KOTILAINEN, T.; ROBSON, T. M.; HERNANDEZ, R. Characterization of light quality under climate screens and shade nets for controlled environment agriculture. **PLoS One**, v. 13, n. 6, p. e0199628, 2018.

KÜPERS, J. J.; PIERIK, R. Photoreceptors regulate plant developmental plasticity through auxin. **Plants**, v. 9, n. 8, p. 940, 2020.

LANDI, M. *et al.* Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v. 1861, n. 2, p. 148131, 2020.

LANDI, S. et al. Impact of nitrogen nutrition on *Cannabis sativa*: an update on the current knowledge and future prospects. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 22, p. 5803, 2019.

LI, Xiu-Mei; YANG, Pei-Long. Research progress on *Sonchus* species. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 147-157, 2018.

LIMA, J. M. *et al.* Prospecção fitoquímica de *Sonchus oleraceus* e sua toxicidade sobre o microcrustáceo *Artemia salina* (phytochemical prospecting of *Sonchus oleraceus* and its toxicity to *Artemia salina*). **Planta daninha**, v. 27, n. 1, p. 7-11, 2009.

LIMA, R. F. *et al.* Desempenho de leguminosas para adubação verde na Amazônia Meridional. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 59, n. 3, p. 802-815, 2022.

LOGEMANN, E. et al. UV light selectively coinduces supply pathways from primary metabolism and flavonoid secondary product formation in parsley. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 97, n. 4, p. 1903-1907, 2000.

LYU, Hanqiang et al. Drive soil nitrogen transformation and improve crop nitrogen absorption and utilization—a review of green manure applications. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1305600, 2024.

MA, D. *et al.* Meta-analysis of the effects of green manure on soil properties and crop yields in northern China. **Field Crops Research**, v. 266, p. 108146, 2021.

MACHADO, P. A. *et al.* Cover crops and green manures for adapting agriculture to climate change and reducing greenhouse gas emissions in the Cerrado. 2021.

MAHMUD, K. et al. Current progress in nitrogen fixing plants and microbiome research. **Plants**, v. 9, n. 1, p. 97, 2020.

MAKKARENNU, O. K.; KADIR, A. R. Business Development Strategy of Sago for Food security. In: **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**. 2018. p. 1-8.

MCCARREN, K. L.; SCOTT, J. Host range and potential distribution of *Aceria thalgi* (Acari: Eriophyidae): a biological control agent for *Sonchus* species. **Australian Journal of Entomology**, v. 52, p. 393-402, 2013.

MUPAMBI, G. *et al.* The influence of shading nets on tree physiology and apple fruit quality: A review. *Scientia Horticulturae*. **Scientia Horticulturae**, v. 236, p. 60-72, 2018.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, [s.l.], v. 15, n. 3, p. 473-497, 1962.

NAGUIB, A. E. M. *et al.* Enhancement of phenolics, flavonoids and glucosinolates of Broccoli (*Brassica oleracea*, var. *Italica*) as antioxidants in response to organic and bio-organic fertilizers. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 11, n. 2, p. 135-142, 2012.

NASCIMENTO, G. S. *et al.* Physicochemical soil properties, biomass production, and root density in a green manure cultivation system in a tropical ecosystem, Northeast Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 21, p. 2203-2211, 2021.

NAZ, A. *et al.* Impact of green manure on the health of low-fertility calcareous soils. **Land**, v. 12, n. 3, p. 546, 2023.

NIRMALA, C. *et al.* Promising underutilized wild plants of cold desert Ladakh, India for nutritional security and health benefits. **Applied Food Research**, v. 2, n. 2, p. 100145, 2022.

NOBELA, O. *et al.* Tapping into the realm of underutilised green leafy vegetables: Using LC-IT-Tof-MS based methods to explore phytochemical richness of *Sonchus oleraceus* (L.) L. **South African Journal of Botany**, v. 145, p. 207-212, 2022.

NOUIDHA, S. *et al.* Metabolomics Profiling of Tunisian *Sonchus oleraceus* L. Extracts and Their Antioxidant Activities. **Chemistry & Biodiversity**, v. 20, n. 8, p. e202300290, 2023.

OLIVEIRA, A. L. R. *et al.* Effect of fertilization and liming on the content of secondary metabolites in *Hydrocotyle umbellata* L. var. *bonariensis* (Lam.) Mr. Spreng. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e297101321337-e297101321337, 2021.

OLIVEIRA, M. P.; MALAGOLLI, G. A.; CELLA, D. MERCADO DE FERTILIZANTES: dependência de importações do Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 489-498, 2019. Disponível em:

<<https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/606>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

OU, Z.-Q.; RADES, T.; MCDOWELL, A. Anti-Ageing Effects of *Sonchus oleraceus* L. (pūhā) Leaf Extracts on H₂O₂-Induced Cell Senescence. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 20, n. 3, p. 4548-4564, 2015. <https://doi.org/10.3390/molecules20034548>.

PADRÓN, R. A. R. et al. Supplemental irrigation levels in bell pepper under shading screen and open field: absolute growth rate, dry mass, leaf area, and chlorophyll. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 42, p. 3968-3976, 2015.

PAIK, I.; HUQ, E. Plant photoreceptors: multifunctional sensory proteins and their signaling networks. In: **Seminars in Cell & Developmental Biology**. Academic Press, 2019. p. 114-121.

PALLOTTI, L. *et al.* Effects of shading nets as a climate change adaptation strategy in grape production: A review. **OENO One**, v. 57, n. 2, p. 467-476, 2023.

PANT, P.; PANDEY, S.; DALL'ACQUA, S. The influence of environmental conditions on secondary metabolites in medicinal plants: A literature review. **Chemistry & Biodiversity**, v. 18, n. 11, p. e2100345, 2021.

PARADISO, R. e PROIETTI, S. Manipulation of light quality to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture: the state of the art and opportunities with modern LED systems. **Journal of Plant Growth Regulation**, 41, 742-780, 2021.
<https://doi.org/10.1007/S00344-021-10337-Y>.

PARADISO, R.; PROIETTI, S. Light-quality manipulation to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture: The state of the art and the opportunities of modern LED systems. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 41, n. 2, p. 742-780, 2022.

QADERI, M. M.; MARTEL, A. B.; STRUGNELL, C. A. Environmental factors regulate plant secondary metabolites. **Plants**, v. 12, n. 3, p. 447, 2023.

RAUBER, A. C.; LEANDRINI, J. A.; FRANZENER, G. Plantas Alimentícias Não Convencionais utilizadas pelas famílias agricultoras do Núcleo luta camponesa da rede Ecológica de agroecologia, Paraná. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 2, p. 195-204, 2021.

RENGASAMY, N. et al. Artificial lighting photoperiod manipulation approach to improve productivity and energy use efficiencies of plant factory cultivated Stevia rebaudiana. **Agronomy**, v. 12, n. 8, p. 1787, 2022.

SAINI, P. K.; YADAV, R. K.; YADAV, G. C. Green manures in agriculture: A review. **Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika**, v. 34, n. 1, p. 1-10, 2019.

SALIM, Nesrein S. et al. Phenolic Profiles, Antihyperglycemic, Anti-Diabetic, and Antioxidant Properties of Egyptian *Sonchus oleraceus* Leaves Extract: An In Vivo Study. **Molecules**, v. 28, n. 17, p. 6389, 2023.

SÁNCHEZ-AGUIRRE, O. A. et al. *Sonchus oleraceus* L.: Ethnomedical, Phytochemical, and Pharmacological Aspects. **Arquivos de Farmacologia de Naunyn-Schmiedeberg**, p. 1-24, 2024.

SANTOS, C. F. B. *et al.* Efeito de Plantas de Cobertura no Desenvolvimento Vegetativo de Cultivares de Cebola irrigada em Dourados/MS. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 2, p. 10-10, 2018.

SANTOS, J. J. *et al.* Potencial de leguminosas para adubação verde nas condições edafoclimáticas da fazenda rio manso em couro de Magalhães de Minas. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 92319-92331, 2021.

SARMENTO, J. J. *et al.* Agronomic performance of lettuce subjected to green manure with different leguminous species. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, pág. 114-118, 2019.

SAXENA, A.; KUMAR, J. Phytochemical screening, metal-binding studies and applications of floral extract of *Sonchus oleraceus* as a corrosion inhibitor. **Journal of bio- and tribo-corrosion**, v. 6, n. 2, 2020. <https://doi.org/10.1007/s40735-020-00349-8>.

SILVA, D. F. *et al.* Productive and qualitative parameters of four *Physalis* species cultivated under colored shade nets. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 2, p. e-528, 2018.

SILVA, N. O. *et al.* Non-conventional edible plants produced in the south of Minas Gerais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e51211125159-e51211125159, 2022.

SINGH, D. *et al.* Green manure: Aspects and its role in sustainable agriculture. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 13, n. 11, p. 39-45, 2023.

SONG, Y. H.; ITO, S.; IMAIZUMI, T. Similarities in circadian clocks and photoperiodism in plants. **Current opinion in plant biology**, v. 13, n. 5, p. 594-603, 2010.

SUETSUGU, N.; WADA, M. Phytochrome-dependent phototropic responses mediated by phototropin family proteins in cryptogamic plants. **Photochemistry and photobiology**, v. 83, n. 1, p. 87-93, 2007.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. Disponível em: <https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf>. Acessado em mar. 2024.

TEIXEIRA, R. T. Distinct responses to light in plants. **Plants**, v. 9, n. 7, p. 894, 2020.

TEODORO, R. B. *et al.* Agronomic aspects of leguminous to green fertilization in the Cerrado of the High Jequitinhonha Valley. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 635-640, 2011.

VARGAS, V. A. D. *et al.* Mesh Crop Cover Optimizes the Microenvironment in a Tropical Region and Modifies the Physiology and Metabolome in Tomato. **Horticulturae**, v. 9, n. 6, p. 636, 2023.

VECCHIA, C. A. D. *et al.* *Sonchus oleraceus* L. promotes gastroprotection in rodents via antioxidant, anti-inflammatory, and antisecretory activities. **Evidence-based complementary and alternative medicine**: v. 2022, p. 7413231, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7413231>.

VILELA, F. C. *et al.* Anti-inflammatory and Antipyretic Effects of *Sonchus oleraceus* in Rats. *Journal of Ethnopharmacology*. **Journal of ethnopharmacology**, v. 127, n. 3, p. 737-741, 2010.

VUKOVIĆ, M. *et al.* Sustainable food production: Innovative network concepts and their mode of action in fruit crops. **Sustainability**, v. 14, n. 15, p. 9264, 2022.

WANG, J. *et al.* Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, and stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red to blue light. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 250, 2016.

WANG, XU.; CUI, J. The importance of blue light for leaf area expansion, photosynthetic apparatus development, and chloroplast ultrastructure in *Cucumis sativus* grown under low light. **Photosynthetica**, v. 53, n. 2, p. 213-222, 2015.

WATERMAN, P. G.; MOLE, S. Extrinsic factors influencing production of secondary metabolites in plants. In: **Insect-plant interactions**. CRC press, 2019. p. 107-134.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of plant physiology**, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994.

WIMALASEKERA, Rinukshi. Effect of light intensity on photosynthesis. **Photosynthesis, productivity and environmental stress**, p. 65-73, 2019.

YANG, Z. P. *et al.* Long-term effects of winter-planted green manure on the distribution and storage of organic carbon and nitrogen in water-stable soil aggregates under a double rice cropping system. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, n. 8, p. 1772-1781, 2014.

YIN, J.; SI, C.-L.; WANG, M.-H. Antioxidant Activity of Flavonoids and Their Glucosides from *Sonchus oleraceus* L. **Journal of applied biological chemistry**, v. 51, n. 2, p. 57-60, 2008. <https://doi.org/10.3839/jabc.2008.010>

YIN, Jie; KWON, Gu-Joong; WANG, Myeong-Hyeon. The antioxidant and cytotoxic activities of *Sonchus oleraceus* L. extracts. **Nutrition research and practice**, v. 1, n. 3, p. 189-194, 2007.

ZHANG, Q. *et al.* Color Shade Nets Affect Plant Growth and Seasonal Leaf Quality of *Camellia sinensis* Grown in Mississippi, the United States. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 786421, 2022.

ZHANG, S. *et al.* Effects of light on secondary metabolite biosynthesis in medicinal plants. **Frontiers in plant science**, v. 12, p. 781236, 2021.

ZOU, J. *et al.* Morphological and physiological properties of lettuce grown in controlled environments in response to additional far-red light. **Scientia Horticulturae**, v. 257, p. 108725, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2019.108725>.

ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G. Agronomia Avanços e perspectivas. **Nova Xavantina, Mt: Pantanal Editora**, 2020.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE METABÓLICOS SECUNDÁRIOS DE *Sonchus oleraceus* EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO VERDE

RESUMO

Sonchus oleraceus popularmente conhecida como serralha, é uma planta alimentícia não convencional e medicinal apresentar compostos fenólicos, flavonas/flavonóis e ácido chicórico em sua composição. O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas as avaliações agronômicas de *Sonchus oleraceus* à diferentes doses de adubo verde (*Crotalaria juncea*) em produção de pigmentos fotossintéticos, compostos fenólicos, flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico. O experimento foi realizado em duas épocas de cultivo, em vasos de seis litros com os seguintes tratamentos: Sem adubação (controle), 30, 60, 90, 120 t/ha de crotalária. Aos 50 dias após a implantação da cultura, avaliou-se a área foliar, número de folhas, de ramos, diâmetro do caule, massa seca do caule, da folha e da raiz, pigmentos fotossintéticos, compostos fenólicos, flavonas/flavonóis e ácido chicórico. A adubação verde aumentou o crescimento da biomassa em *Sonchus oleraceus*, com aumentos significativos. As plantas adubadas com adubo verde mostraram maiores teores de pigmentos fotossintéticos. Quanto ao metabolismo secundário, o tratamento sem adubo verde resultou em maiores acumulações de compostos fenólicos, flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico. Esses resultados destacam a eficiência agronômica da adubação verde como prática agrícola benéfica e recomendável para a *Sonchus oleraceus*.

Palavras chaves: Crotalária; Fertilidade do Solo; Compostos fenólicos; Serralha.

CHAPTER II

GROWTH AND PRODUCTION OF SECONDARY METABOLITES OF *Sonchus oleraceus* IN RESPONSE TO GREEN MANURE

ABSTRACT

Sonchus oleraceus, commonly known as sow thistle, is an unconventional food and medicinal plant that contains phenolic compounds, flavones/flavonols, and chicoric acid in its composition. The objective of this study was to evaluate the agronomic responses of *Sonchus oleraceus* to different doses of green manure (*Crotalaria juncea*) in the production of photosynthetic pigments, phenolic compounds, total flavones/flavonols, and chicoric acid. The experiment was conducted in two cultivation periods, using six-liter pots with the following treatments: no fertilization (control), 30, 60, 90, and 120 t/ha of crotalaria. Fifty days after the crop was established, leaf area, number of leaves, number of branches, stem diameter, dry mass of stem, leaf and root, photosynthetic pigments, phenolic compounds, flavones/flavonols, and chicoric acid were evaluated. Green manure increased biomass growth in *Sonchus oleraceus*, with significant increases. Plants fertilized with green manure showed higher levels of photosynthetic pigments. Regarding secondary metabolism, the treatment without green manure resulted in higher accumulations of phenolic compounds, total flavones/flavonols, and chicoric acid. These results highlight the agronomic efficiency of green manure as a beneficial and recommendable agricultural practice for *Sonchus oleraceus*.

Key-words: Crotalaria; Soil fertility; Phenolic compounds; Serralha.

1 INTRODUÇÃO

A *Sonchus oleraceus* L. é uma hortaliça folhosa com alto valor nutricional e farmacológico destacando-se como uma rica fonte de compostos bioativos, como flavonoides, ácido chicórico e outros compostos fenólicos que desempenham funções antioxidantes e anti-inflamatórias (NOBELA *et al.*, 2021). É conhecida popularmente como serralha, uma espécie herbácea, anual ou bianual, com caule cilíndrico, lactescente, canaliculado, ceríceo e verde com poucas ramificações (MOREIRA; BRAGANÇA, 2011).

Originária da Europa, *Sonchus oleraceus* é hoje cultivada em todo o mundo, é uma fonte potencial de bioativos. Os recursos silvestres dessa espécie são abundantes, possuindo rico valor nutricional, caracterizado pela presença de vitaminas, minerais e fibras, além de seu valor medicinal, que inclui propriedades diuréticas e depurativas (MO *et al.*, 2023).

O ácido chicórico é um dos principais compostos bioativos encontrados em *Sonchus oleraceus*, tem atraído atenção especial devido às suas propriedades antioxidantes (OU *et al.*, 2013). Sendo utilizado na indústria de alimentos, medicamentos, criação de animais e outros produtos comerciais devido às suas atividades farmacológicas significativas (YANG *et al.*, 2022). Esse bioativo é altamente sensível às mudanças na disponibilidade de nutrientes (WATERMAN e MOLE, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O crescimento e desenvolvimento das plantas dependem da fonte de nutrientes, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, zinco, ferro, boro, enxofre, magnésio e outros, que são essenciais para o aumento do rendimento das culturas. (TOOR, 2021). Um sistema de cultivo utilizando espécies de plantas das famílias Poaceae e Fabaceae como fonte de adubo verde, melhora as propriedades físicas e químicas do solo e aumenta o crescimento das plantas sem o uso de fertilizantes (NASCIMENTO *et al.*, 2021).

A adubação verde é uma prática agrícola viável que pode contribuir para atenuar a degradação do solo e a perda de biodiversidade resultantes da aplicação de fertilizantes inorgânicos a longo prazo. No entanto, o impacto dos tipos de adubo verde (leguminosas e não leguminosas) nos grupos e atividades microbianas do solo é pouco compreendido. A alteração do adubo verde resulta em uma maior proporção de fungos em relação às bactérias, além de uma diminuição nas atividades de enzimas oxidativas (KHAN *et al.*, 2020).

O uso de crotalária como adubo verde merece destaque por seu papel crucial no aumento da produção de matéria seca, enriquecimento do teor de matéria orgânica e nutrientes no solo, além de promover maior absorção de fósforo nas plantas. Além disso, pode

aumentar os teores de clorofila, produtividade, resultar em maior biomassa, índice de área foliar e rendimento de sementes em diferentes culturas (HUNDAL, DHILLON e DEV, 1992; IRIN *et al.*, 2020; KARYOTI *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2022). Apesar das várias vantagens da adubação verde, ainda são desconhecidos os efeitos desta prática na cultura da *Sonchus oleraceus*, o que justifica a realização de estudos que avaliem seu impacto.

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar o acúmulo de matéria seca, concentração de pigmentos fotossintéticos e acúmulo de compostos fenólicos e ácido chicórico em *Sonchus oleraceus* submetido a diferentes doses de adubo verde.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização experimental

O experimento foi conduzido a céu aberto no Horto de Plantas Medicinais no Departamento de Agricultura e as análises químicas foram realizadas no Laboratório de Fitoquímica e Controle de Qualidade da Universidade Federal de Lavras (DAG / UFLA), localizada na região sul de Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas 21°14 ' S e 45°00 ' W, com 918 m de altitude. Exsicata de *Sonchus oleraceus* foi depositada sob o número 58897, no Herbário da EPAMIG (Empresa Agropecuária de Minas Gerais), em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

2.2 Produção de mudas *in vitro*

As mudas utilizadas nos experimentos foram obtidas de germinação de sementes de *Sonchus oleraceus in vitro*. As sementes são provenientes da coleção de germoplasma de hortaliças não convencionais (PANCS) do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Em câmara de fluxo, as sementes foram transferidas para um recipiente contendo álcool 70%, sendo agitadas por 1 minuto. Posteriormente, foram transferidos para água sanitária diluída em água na proporção 1/1 (1,5% de cloro ativo), agitado manualmente em um período de 15 minutos, e lavados três vezes com água destilada autoclavada. Após a assepsia, as sementes foram transferidas para tubos de ensaio (25x150 mm) contendo 15 mL de meio de cultura MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962), suplementado com 30 g L⁻¹ de sacarose, solidificado com 5,5 g L⁻¹ de ágar e pH ajustado para 5,7± 0,1 e autoclavado a 120 °C e 1 atm, por 20 minutos. As sementes foram germinadas em sala de crescimento com fotoperíodo de 16h luz/8h escuro, sob intensidade luminosa de 42 μmol m⁻²

s⁻¹, à temperatura de 26±1 °C. Depois de 40 dias de estabelecimento, as plântulas foram repicadas em frascos de vidro (250 mL) contendo 40 mL de meio MS sem sacarose, solidificado com 5,5 g L⁻¹ de ágar e pH ajustado para 5,7±0,1 e autoclavado a 120 °C e 1 atm, por 20 minutos. Para melhor troca gasosa utilizou-se tampas com quatro filtros com membranas porosas. Após 15 dias as mudas de *Sonchus oleraceus* foram aclimatizadas em casa de vegetação do Laboratório de Cultura de Tecidos da Universidade Federal de Lavras-UFLA, no município de Lavras, situado na região Sul do estado de Minas Gerais, a 918,87 metros de altitude, latitude de 21°14'S e longitude de '62 45°00'W GRW.

2.3 Cultivo da espécie

O experimento foi conduzido em duas épocas de cultivo, sendo o primeiro no período de 25 de fevereiro a 14 de abril de 2022, os dados meteorológicos desse período foram: insolação 8 h e 36 min; precipitação 146,4 mm; temperatura máxima 30,84°C; temperatura mínima 18,6 °C; umidade 70,1% e os da segunda época de 16 de janeiro a 9 de março de 2023 insolação 6 h e 27 min; precipitação 439,3 mm; temperatura máxima 30,85°C; temperatura mínima 18,98 °C; umidade 70,52% (INMET, 2024).

As plantas foram cultivadas em vaso de 6 litros, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com substrato composto de Latossolo vermelho distrófico de textura argilosa e areia na proporção de 2:1 (solo:areia). Os tratamentos consistiam em: sem adubação (controle), 30, 60, 90, 120 t/ha de crotalária. Cada tratamento foi composto com quatro repetições, contendo quatro plantas por repetição, totalizando 16 vasos por tratamento. A *Crotalaria juncea* foi cultivada em área experimental, com 70 a 80% de florescimento foi cortada, triturada e incorporada ao solo. A análise química da crotalária utilizada no primeiro cultivo (verão/outono) com as seguintes concentrações de nutrientes: N 34,5 (g kg⁻¹); P 1,9 (g kg⁻¹); K 9,9 (g kg⁻¹); Ca 11,2 (g kg⁻¹); Mg 3,2 (g kg⁻¹); S 2,1 (g kg⁻¹); B 24,9 (mg kg⁻¹); Cu 6,3 (mg kg⁻¹); Fe 665 (mg kg⁻¹); Mn 50,5 (mg kg⁻¹); Zn 34,3 (mg kg⁻¹). Já a análise da crotalária utilizada no segundo cultivo (verão) com os seguintes valores: N 22,4 (g kg⁻¹); P 1,8 (g kg⁻¹); K 13,7 (g kg⁻¹); Ca 8,8 (g kg⁻¹); Mg 2,9 (g kg⁻¹); S 1,1 (g kg⁻¹); B 23,6 (mg kg⁻¹); Cu 5,7 (mg kg⁻¹); Fe 726 (mg kg⁻¹); Mn 46,4 (mg kg⁻¹); Zn 27 (mg kg⁻¹).

Após 15 dias, as mudas foram transplantadas para o vaso. As irrigações foram realizadas manualmente adicionada ao vaso num volume 300 ml três vezes por semana. Análise do solo foi realizada pelo Laboratório de análise agropecuárias 3r lab. (Lavras-MG).

As características químicas do solo foram as seguintes: pH em água 6,4; Al+H (cmol_c.dm⁻³) 1,7, V% 52,38; matéria orgânica (dag.kg⁻¹) 1,0; T (cmol_c.dm⁻³) 3,57 P mehlich (mg.dm⁻³) 2,2; K (mg.dm⁻³) 97,8; Na ((mg.dm⁻³) 3,8; Ca (cmol_c.dm⁻³) 1,4; Mg (cmol_c.dm⁻³) 0,2; S (mg.dm⁻³) 60,2; B (mg.dm⁻³) 0,06; Cu (mg.dm⁻³) 2,5; Fe (mg.dm⁻³) 27,6; Mn (mg.dm⁻³) 7,0; Zn (mg.dm⁻³) 0,3.

Aos 50 dias de transplântio das mudas, as plantas foram coletadas e analisadas as variáveis de crescimento: matéria seca da folha (MSF), caule (MSC), raiz (MSR) e total (MST), número de folha (NF) e de ramos (NR), diâmetro do caule (DC), comprimento da planta (CP) e área foliar (AF). Também foram determinados teores de pigmentos fotossintetizantes (Clorofila *a* e *b*, carotenoides), e compostos fenóis totais, flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico.

O material vegetal fresco foi coletado e transferido para sacos de papel kraft e acondicionado em estufa de circulação forçada de ar, a 37 °C ±2, até peso constante. Em seguida, as matérias secas (g) foram mensuradas em balança de precisão.

2.4 Análise química de nutrientes foliares

As folhas das plantas foram secadas em temperatura 37 °C ±2, moídas e enviadas para laboratórios de análises químicas onde foram analisados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, B, Mn, Cu, Fe conforme métodos descritos por Malavolta *et al.* (1997). Para calcular o acúmulo de nutrientes, multiplicou-se o valor da concentração de cada nutriente obtido na análise pela quantidade de matéria seca das folhas, em gramas. Em seguida, o resultado foi dividido por 1000 para converter os valores para gramas de nutriente acumulado por amostra. Este procedimento permitiu a determinação precisa do acúmulo de nutrientes na biomassa foliar das plantas.

2.5 Análise de pigmentos fotossintetizantes

Os teores de pigmentos fotossintetizantes foram mensurados a partir de 50 mg de folha fresca sem nervura. Os pigmentos foram extraídos com 10 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com carbonato de cálcio (CaCO₃) em tubos de Falcon revestidos com papel alumínio e mantidos em estufa de circulação forçada por 48 h na temperatura de 65 °C, de acordo a metodologia de Hiscox e Israelstam (1979). Para cada tratamento foi preparada uma amostra branco. A leitura foi feita em cubeta de quartzo a 480 (carotenoides), 649 (clorofila *a*) e 665

(clorofila *b*) nm em espectrofotômetro TECAN INFINITY M200 PRO, contra o branco. As amostras foram preparadas em triplicatas. A determinação das concentrações das clorofilas *a*, *b* e carotenoides utilizou-se as equações propostas por Wellburn (1994): Clorofila *a* = $(12,47 \times A_{665}) - (3,62 \times A_{649})$; clorofila *b* = $(25,06 \times A_{649}) - (6,5 \times A_{665})$; carotenoides: $(1000 \times A_{480} - 1,29 \times Ca - 53,78 \times Cb)/220$. Para determinar a clorofila total foi realizada a soma dos resultados das equações de clorofila *a* e *b*. Os resultados foram expressos em mg g⁻¹ de matéria seca.

2.6 Preparo dos extratos e condições gerais

Folhas de plantas de *Sonchus oleraceus* cultivadas com adubo verde foram desidratadas em estufa de circulação de ar à 37°C ± 1°C até peso constante. Em seguida, foram trituradas em almofariz e peneiradas em tamis com malha de 20 mesh. O método extrativo foi adaptado da metodologia descrita por AISSANI *et al.* (2021). Os extratos (5%, p/v) foram preparados por refluxo com solução hidrometanólica a 50% (v/v) por 20 minutos a partir da fervura. Em seguida, os extratos foram filtrados à vácuo em funil de Büchner, concentrados em rotavapor a 40°C e, mantidos em dessecador à vácuo até secura. Posteriormente, o extrato aquoso foi liofilizado e mantidos sob refrigeração a 4°C, até as análises.

2.6.1 Doseamento de compostos fenólicos e flavonas/flavonois totais

Foram pesados 10 mg do extrato liofilizado diretamente em microtubos de 2 mL, adicionados em 1 mL de Etanol 70%, e agitado em vórtex por 2 minutos. O extrato foi centrifugado a 10000 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante foi coletado e dessa solução inicial de 10 mg/mL foi realizado uma diluição seriada em concentração distintas 5; 2,5; 1,25; 0,625; 0,3125 mg/mL.

A dosagem de compostos fenólicos totais foi feita pelo método de Folin Ciocalteu (SINGLETON; ROSSI, 1965). Em microplacas de 96 poços, foram adicionados 40 µL da amostra, 120 µL de solução aquosa de Folin-Ciocalteu (10%) e após 2 min de reação, foi adicionado 120 µL de Na₂CO₃ (7,0%). As amostras foram mantidas por 2 horas no escuro à temperatura ambiente. Em seguida a absorbância foi lida a 760 nm. A curva de calibração foi construída com padrão ácido gálico (Sigma-Aldrich, 98%) na faixa de 0,2336 a 2,4108 mg mL⁻¹, gerando a equação $y = 64,809x + 0,126$ ($R^2 = 0,9981$). Os resultados expressos em

miligramas de equivalente de ácido gálico por grama de matéria seca de extrato (mg EAG g MSE⁻¹).

A quantificação de flavonas/flavonóis totais empregou-se a metodologia de Pękal e Pyrzynska (2014) com modificações. Em microplacas de 96 poços, foram adicionados 100 µL da amostra seguidas de 100 µL de AlCl₃ (10%) preparados em etanol a 70%. Em seguida, as amostras foram incubadas em ambiente escuro durante 40 min. A absorbância foi mensurada a 420 nm. A curva de calibração foi gerada a partir de solução aquosa de quercetina na faixa de concentração de 0,2283 a 2,5953 mg mL⁻¹ ($y = 26,916x + 0,0904$ R² = 0,9994). Os testes foram realizados em triplicata e os resultados foram apresentados como mg equivalente de quercetina (EQ) g de extrato⁻¹.

2.6.2 Análises cromatográficas

2.6.2.1 Caracterização do ácido chicórico nas amostras

A presença de ácido chicórico em *Sonchus oleraceus* é bem documentada na literatura (OU *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2022). Entretanto, sua presença nos extratos obtidos das plantas tratadas com adubação verde e controle foi caracterizada empregando-se cromatografia líquida de ultra-alta eficiência acoplado à espectrometria de massa (UHPLC-MS/MS) e cromatografia líquida de alta eficiência com detector de arranjos de diodos (HPLC-DAD).

A caracterização do ácido chicórico nos extratos de *Sonchus oleraceus* por UHPLC-MS/MS foi realizada em um sistema Dionex™ Ultimate™ 3000 System, junto à Fleet LCQ (ThermoFisher Scientific, Waltham, MA, USA), consistindo em um forno, desgaseificador de solvente, uma bomba de ultra-alta pressão, um amostrador automático, um controlador de temperatura da coluna. Empregou-se uma coluna Acquity UHPLC BEH C18 (2,1 mm x 150 mm x 1,7 µm, Waters, Milford, MA), com fluxo de 0,45 mL min⁻¹. A temperatura da coluna foi de 40° C e a fase móvel foi água contendo 0,1% de ácido fórmico (A) e acetonitrila (B). Empregou-se eluição em gradiente: 0–5 min, 5% (B); 5–25 min, 5–100% (B); 25–30 min, 100% (B); 30–31 min, 100–5% (B); 31–36 min, 5% (B). O espectrômetro de massas (MS), equipado com fonte de electrospray (ESI), foi operado no modo de ionização negativo. O nitrogênio de alta pureza (N₂) foi usado como “sheath gas” (20 unidades arbitrárias) e “auxiliary gas” (10 unidades arbitrárias). O hélio de alta pureza (He) foi usado como gás de colisão (collision gas). Os parâmetros MS foram os seguintes: tensão de fonte 5 kV, tensão

capilar 7 V, tensão de lente do tubo 65 V e temperatura capilar 400 °C. Os espectros de massas foram adquiridos na faixa de 100-1000 m/z . Para os estudos de fragmentação, foi utilizado um CID (Collision Induced Dissociation) de 35 eV.

A caracterização do ácido chicórico nas amostras por HPLC-DAD foram realizadas em sistema Agilent 1200 Series (Agilent Technologies®, Waldbronn, Alemanha), equipado com bomba quaternária (G1311A), sistema de degasificação (G1322A), amostrador automático ALS (G1322A) e detector de arranjo de diodos (G1315D), com detector ultravioleta de comprimento de onda variável (G1315D), conectado ao computador com sistema controlado pelo software EzChrom, versão OpenLAB. As separações foram realizadas em uma coluna analítica de fase reversa Eclipse XDB-C18 (5 μm \times 250 mm \times 4,6 mm I.D.) (Agilent Technologies®, EUA), com pré-coluna, mantida a 35 °C. A eluição empregou água (A) e acetonitrila (B), ambos acidificados com 0,1% de ácido fosfórico, como segue: 0-5 min, 30%B; 5-8 min, 30-70% B; 8-10 min, 70-30; 10-15 min, 30% B. O volume de injeção de amostras foi de 10 μL , a taxa de fluxo de 1,0 mL min^{-1} e a detecção no comprimento de onda a 320 nm. A presença do ácido chicórico nas amostras foi realizada por meio de comparação dos tempos de retenção, espectros no UV e co-injeção com ácido chicórico de referência.

2.6.2.2 Quantificação do ácido chicórico por UPLC-DAD

A quantificação do ácido chicórico baseou-se no método do padrão externo (RIBANI *et al.*, 2004), empregando as mesmas condições cromatográficas realizadas para a caracterização do ácido chicórico por UPLC-DAD. Para a construção da curva analítica a faixa de concentração do ácido chicórico foi estimada a partir das áreas relativas do pico de interesse nas amostras e a partir de uma solução de referência com concentração de 0,50 mg mL^{-1} .

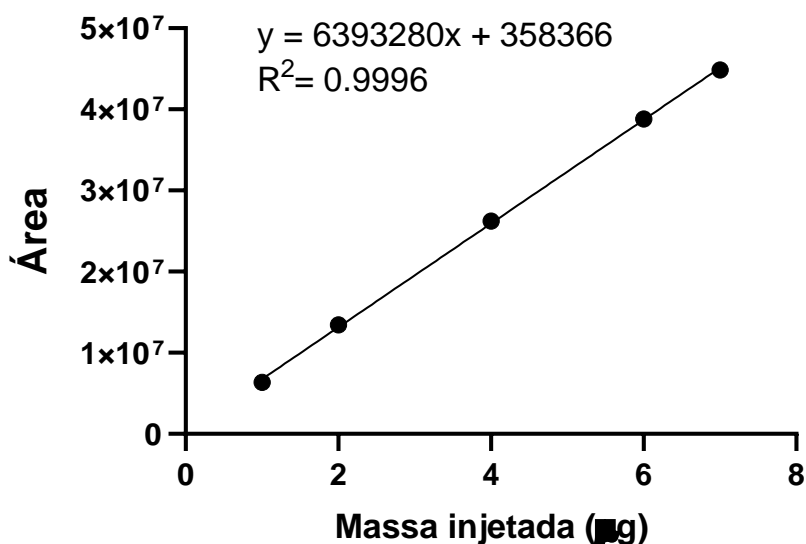
A linearidade do método foi determinada a partir de duas curvas analíticas construídas com cinco pontos em dias diferentes. Cada ponto das curvas foi obtido por injeção em triplicata de diferentes volumes (2 a 4 μL) uma solução de ácido chicórico de referência a 0,50 mg mL^{-1} . As curvas analíticas foram determinadas em relação a massa injetada (1 a 7 μg) de ácido chicórico.

Os dados obtidos para cada curva analítica foram submetidos à análise de regressão linear pelo método dos mínimos quadrados e os coeficientes de determinação (R^2)

correspondentes foram calculados. As curvas obtidas nos dois dias consecutivos foram comparadas estatisticamente por análise de covariância ($p < 0,05$) no *software* Graph Pad Prism 6. Comparada a similaridade estatística das curvas, empregou-se para os cálculos a curva média (Figura 1).

A quantificação do ácido chicórico nas amostras empregou cerca de 5 mg dos extratos liofilizados pesados diretamente em microtubos, acrescidos de 1.000 μL de água ultrapura e, solubilizados por agitação em vórtex por 2 min. Em seguida, a amostra foi centrifugada a 10.000 rpm por 10 min e 10 μL do sobrenadante foi injetado automaticamente em sistemas de cromatografia líquida. As amostras foram analisadas em triplicata e os teores de ácido chicórico foram expressos em mg por grama de planta (mg g^{-1}).

Figura 1 – Curva analítica média obtida por HPLC-DAD para a quantificação de ácido chicórico nas amostras de *Sonchus oleraceus*.



2.7 Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos aos testes de normalidade, e posteriormente aplicado à análise de variância, pelo teste F. As médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR para análise de variância (FERREIRA, 2019). O software Statistica[®], versão 13.3 (StatSoft, Tulsa, OK, EUA) foi utilizado para a análise de componentes principais (PCA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Crescimento vegetativo e acúmulo de nutrientes foliares

O cultivo de serralha com adubação verde foi realizado em duas épocas distintas. Em geral, o crescimento e o acúmulo de matéria seca seguiram a mesma tendência em ambas as épocas, ou seja, doses maiores resultaram em maior acúmulo. O primeiro cultivo ocorreu no verão/outono, enquanto o segundo foi realizado em pleno verão. As temperaturas médias de mínima (18°C) e máxima (30°C), assim como a umidade (70%), foram semelhantes nos dois períodos. A maior diferença foi observada na precipitação: 146,4 mm e 8 h 36 min de insolação no primeiro cultivo, comparado a 439,3 mm de precipitação e 6 h 27 min de insolação no segundo cultivo.

Comparado ao controle (sem adubação), em geral os parâmetros de crescimento das plantas de *Sonchus oleraceus* foram incrementadas significativamente com adubação verde no primeiro e no segundo cultivo (Tabela 1). As plantas de *Sonchus oleraceus* cultivadas com a maior dose de adubo verde desenvolveram maior área foliar, números de folhas e ramos, diâmetro do caule e comprimento da planta no primeiro cultivo. Comportamento similar foi observado para a área foliar e número de folhas e raízes no segundo cultivo (Tabela 1).

Quase todas as partes da serralha podem ser consumidas na alimentação, incluindo as flores e o talos. No entanto, as partes mais utilizadas são as folhas das plantas mais jovens que ainda não floriram e os brotos jovens, devido ser mais macias e saborosas. Assim, com a maior dose de adubo verde as plantas induziram 69 e 77% a mais no número de folhas do que as plantas não adubadas, no primeiro e no segundo cultivo respectivamente. Além disso, a área foliar aumentou em 90 a 110% em relação ao tratamento sem adubação, no primeiro e no segundo cultivo, respectivamente.

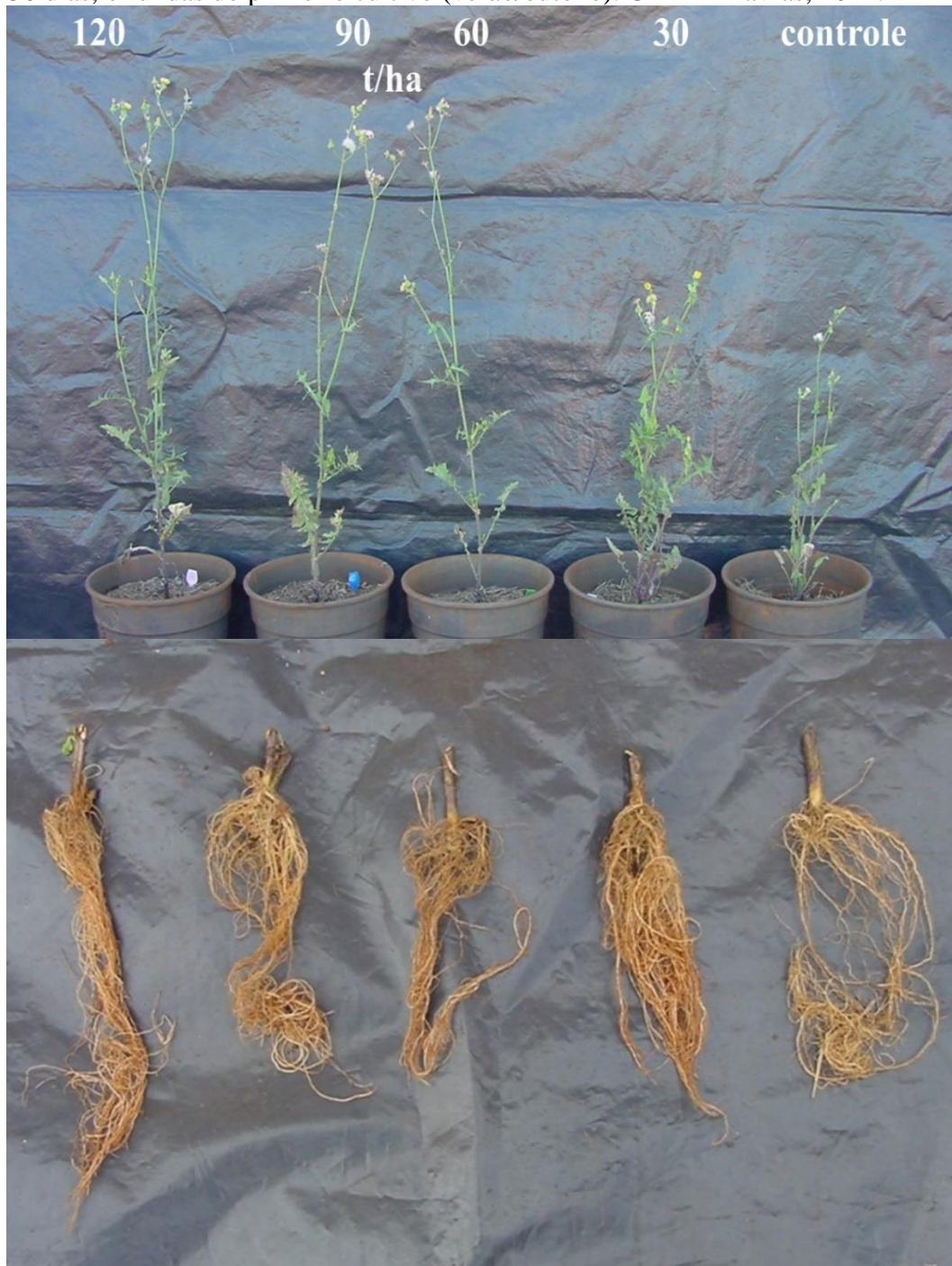
Tabela 1 – Parâmetros de crescimento de *Sonchus oleraceus* sob diferentes doses de adubo verde sobre área foliar (AF), número de folhas (NF), número de ramos (NR), diâmetro do caule (DC), comprimento da planta (CP). UFLA - Lavras, 2024.

Primeiro cultivo (verão/outono)					
Tratamentos	AF (cm²)	NF (unid.)	NR (unid.)	DC (mm)	CP (cm)
Sem adubação	245,39 c	12 b	1 c	0,42 c	57,06 c
30 t/ha	407,00 a	18 a	3 b	0,55 b	60,87 c
60 t/ha	349,15 b	16 b	3 b	0,59 b	68,18 b
90 t/ha	346,56 b	16 b	3 b	0,52 b	71,12 b
120 t/ha	467,78 a	22 a	4 a	0,65 a	80,37 a
CV%	18,42	18,09	20,67	9,67	11,68
Segundo cultivo (verão)					
Tratamentos	AF (cm²)	NF (unid.)	NR (unid.)	DC (mm)	CP (cm)
Sem adubação	354,36 c	12 b	1 c	0,46 c	51,90 a
30 t/ha	464,29 c	13 b	1 c	0,55 b	55,25 a
60 t/ha	501,36 c	16 b	2 b	0,62 b	55,56 a
90 t/ha	599,48 b	17 a	2 b	0,70 a	51,81 a
120 t/ha	742,48 a	21 a	4 a	0,81 a	58,50 a
CV%	18,64	18,66	23,55	13,46	8,76

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

A matéria seca de todas as partes da planta foi maior e estatisticamente diferente nas plantas adubadas com 120 t/há de adubo verde. A matéria seca de folha (MSF) foi 2,8 e 1,54 vezes superior ao tratamento sem adubação, no primeiro e no segundo cultivo respectivamente. Aplicação de crotalária na dose de 120 t/ha aumentou em 3,1 e 2,9 vezes o peso seco de caule (MSC) e raiz (MSR) no primeiro cultivo e de 1,3 e 1,9 no segundo cultivo, respectivamente. A matéria seca total (MST) foi superior ao controle 3,0 e 1,5 vezes, no primeiro e no segundo cultivo respectivamente (Tabela 2). Portanto, *Sonchus oleraceus* responde a adubação verde com 120 t/ha. Observa-se na Figura 2 plantas de serralha (*Sonchus oleraceus*) sob diferentes doses de adubo verde, aos 50 dias do primeiro e do segundo cultivos tendo a mesma tendência de crescimento.

Figura 2 – Plantas de serralha (*Sonchus oleraceus*) sob diferentes doses de adubo verde, aos 50 dias, oriundas do primeiro cultivo (verão/outono). UFLA - Lavras, 2024.



Fonte: Do autor

Figura 3 – Plantas de serralha (*Sonchus oleraceus*) sob diferentes doses de adubo verde, aos 50 dias, oriundas do segundo cultivo (verão). UFLA - Lavras, 2024.



Fonte: Do autor

Estudos recentes têm demonstrado os efeitos positivos da adubação verde em plantas condimentares. Assis *et al.* (2024) observaram que as plantas que receberam adubação com *C. juncea* expandiram significativamente a área foliar total e o peso seco de *Origanum vulgare*. Honorato *et al.* (2022) demonstraram associação da adubação verde (*C. juncea*) e esterco bovino melhoraram a produção de biomassa em *Thymus vulgaris*. Segundo Nascimento *et al.* (2021) sistemas de cultivos com adubo verde, que utilizam espécies de plantas das famílias Poaceae e Fabaceae, melhoram as propriedades físicas e químicas do solo e aumentaram o crescimento das plantas sem o uso de fertilizantes químicos. Os adubos verdes da crotalária contêm monocrotalina, um composto que ajuda no controle de nematoides e outras pragas do solo, favorecendo o controle biológico natural nos agroecossistemas (RECH *et al.*, 2022). A adubação verde com *Crotalaria juncea* promove boa cobertura vegetal, aumenta a matéria orgânica do solo e o teor total de nitrogênio (FONSECA, MARTINS e VILLA, 2023).

A *Crotalaria juncea* é uma leguminosa de grande importância para sistemas agrícolas devido à sua capacidade de melhorar naturalmente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BHANDARI *et al.*, 2022). Sua biomassa, ao se decompor, adiciona uma quantidade significativa de matéria orgânica ao solo, enriquecendo-o com nutrientes essenciais e promovendo um ambiente mais fértil para culturas subsequentes (PEREIRA, SOARES e MIRANDA, 2016). Além disso, a *Crotalaria juncea* se destaca por seu elevado potencial de fixação biológica de nitrogênio (FBN), capaz de suprir uma grande parte das necessidades de nitrogênio das culturas seguintes, reduzindo assim a dependência de fertilizantes sintéticos. A combinação desses atributos com a sua eficiência em cobertura vegetal, a *Crotalaria juncea* é uma excelente opção para rotações agrícolas sustentáveis, contribuindo tanto para a produtividade quanto para a conservação do solo (BERRIEL, MONZA e PERDOMO, 2020).

Tabela 2 - Acúmulo de matéria seca de *Sonchus oleraceus* cultivadas por 50 dias sob doses de adubo verde. MSF: matéria seca foliar; MSC: matéria seca do caule; MSR: matéria seca da raiz; MST: matéria seca total. UFLA - Lavras, 2024.

Primeiro cultivo (verão/outono)				
Tratamentos	MSF	MSC	MSR	MST
	g. planta ⁻¹			
Sem adubação	0,46 c	1,07 d	0,47 c	2,00 d
30 t/ha	0,95 b	1,61 c	0,71 b	3,28 c
60 t/ha	0,86 b	1,86 b	0,85 b	3,58 c
90 t/ha	0,98 b	2,08 b	0,95 b	4,02 b
120 t/ha	1,29 a	3,31 a	1,34 a	5,94 a
CV%	14,99	11,21	16,78	11,18
Segundo cultivo (verão)				
Tratamentos	MSF	MSC	MSR	MST
	g. planta ⁻¹			
Sem adubação	1,12 b	2,32 b	0,82 c	4,26 b
30 t/ha	0,77 c	1,63 b	0,89 c	3,30 c
60 t/ha	0,89 c	1,62 b	0,90 c	3,41 c
90 t/ha	1,11 b	1,95 b	1,35 b	4,41 b
120 t/ha	1,72 a	3,07 a	1,59 a	6,40 a
CV%	18,92	19,11	11,84	13,95

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 3, mostra o acúmulo de macro e micronutrientes de todas as folhas secas de *Sonchus oleraceus* cultivadas sob influência de doses de *Crotalaria juncea* nas duas épocas de cultivo. De modo geral as análises foliares corroboraram com os resultados de crescimento vegetativo. O acúmulo de nutrientes nas folhas secas de serralha foi maior sob o cultivo de adubação verde no cultivo feito no verão (Segundo cultivo). De acordo com Honorato *et al.* (2022) o acúmulo de nutrientes em folhas secas de tomilho aumentou com as doses de adubo orgânico.

Entretanto, o tratamento sem adubação verde apresentou maiores acúmulos de Fe e Mn no verão, enquanto no verão/outono a concentração de Cu foi maior na dose de 30 t/ha de adubação verde. Esse resultado pode ser explicado pela alta presença desses micronutrientes no solo. As plantas que receberam adubação verde, que forneceu macronutrientes, podem ter sofrido os efeitos da lei do incremento de rendimento decrescente. Segundo essa lei, ao aumentar a oferta de um nutriente específico, a disponibilidade de outros nutrientes podem ser reduzida (PANDEY, VENGAVASI e HAWKESFORD, 2021). Assim, os macronutrientes fornecidos pela adubação verde podem ter inibido a disponibilidade de Fe, Mn e Cu para as plantas.

Análise foliar da crotalaria determinou uma concentração de nitrogênio de 34,5 g Kg⁻¹ no primeiro cultivo e no segundo de 22,4 g Kg⁻¹ (Tabela 3). O nitrogênio (N), como macroelemento, desempenha um papel vital no crescimento e desenvolvimento das plantas. A deficiência de N afeta a produtividade das plantas, diminuindo a fotossíntese, a área foliar e a longevidade da folha verde. A deficiência de N diminui a fotossíntese em quase todas as plantas devido à redução da condutância estomática, da bioenergética e do conteúdo de proteínas captadoras de luz, e à diminuição da atividade das enzimas fotossintéticas (MU e CHEN, 2021). A presença de nitrogênio no solo e de clorofila nas plantas estão diretamente relacionadas; assim, a clorofila pode ser usada como um indicador indireto dos níveis de nitrogênio em sistemas de manejo de fertilizantes (JONES *et al.*, 2007).

Tabela 3 – Acúmulo de macro e micronutrientes em folhas secas de *Sonchus oleraceus* sob diferentes doses de adubo verde, aos 50 dias. UFLA - Lavras, 2024.
Macronutrientes (A) e micronutrientes (B).

A

Primeiro cultivo (verão/outono)						
Tratamentos	Macronutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Sem Adubação	0,0146 c	0,0010 c	0,0138 d	0,0072 c	0,0010 d	0,0027 d
30 t/ha	0,0296 b	0,0022 b	0,0320 c	0,0145 b	0,0019 b	0,0054 c
60 t/ha	0,0269 b	0,0017 b	0,0256 c	0,0130 b	0,0015 c	0,0047 c
90 t/ha	0,0276 b	0,0020 b	0,0389 b	0,0154 b	0,0016 c	0,0063 b
120 t/ha	0,0353 a	0,0028 a	0,0498 a	0,0236 a	0,0025 a	0,0084 a
CV%	14,84	15,39	15,27	15,45	15,38	15,26
Segundo cultivo (verão)						
Sem Adubação	0,0235 c	0,0017 b	0,0342 c	0,0202 c	0,0032 b	0,0014 b
30 t/ha	0,0192 c	0,0015 b	0,0237 c	0,0121 d	0,0018 c	0,0008 c
60 t/ha	0,0229 c	0,0016 b	0,0240 c	0,0174 c	0,0025 c	0,0009 c
90 t/ha	0,0316 b	0,0025 a	0,0342 b	0,0254 b	0,0036 b	0,0015 b
120 t/ha	0,0428 a	0,0028 a	0,0418 a	0,0347 a	0,0052 a	0,0021 a
CV%	18,75	17,75	17,74	19,03	19,2	18,98

B

Primeiro cultivo (verão/outono)					
Tratamentos	Micronutrientes				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹				
Sem Adubação	0,0254 d	0,0043 c	0,2817 c	0,0458 c	0,0164 c
30 t/ha	0,0483 c	0,0103 a	0,6547 b	0,0808 a	0,0358 b
60 t/ha	0,0443 c	0,0072 b	0,4446 a	0,0631 b	0,0313 b
90 t/ha	0,0562 b	0,0082 b	0,6686 a	0,0618 b	0,0383 b
120 t/ha	0,0723 a	0,0087 b	0,6850 a	0,0748 a	0,0470 a
CV%	15,02	15,36	15,3	15,03	15,01
Segundo cultivo (verão)					
Sem Adubação	0,0477 c	0,0089 b	1,4100 a	0,4224 a	0,0369 b
30 t/ha	0,0368 c	0,0042 c	0,6479 c	0,1238 c	0,0262 b
60 t/ha	0,0440 c	0,0057 c	0,4916 c	0,1520 c	0,0309 b
90 t/ha	0,0602 b	0,0113 a	0,7560 c	0,2084 b	0,0429 a
120 t/ha	0,0729 a	0,0131 a	1,1275 b	0,2377 b	0,0511 a
CV%	17,88	18,5	18,03	17,18	17,68

3.2 Pigmentos fotossintéticos

Os teores de clorofila e carotenoides no primeiro cultivo, não tiveram diferenças significativas entre as doses de adubo verde e a dose sem adubação (controle). Apenas a clorofila *a* obteve um menor conteúdo no tratamento controle (Tabela 4). Esse menor conteúdo pode estar relacionado às menores concentrações de nitrogênio e magnésio, nutrientes essenciais para a síntese de clorofila (ASSIS *et al.*, 2024).

No segundo cultivo, sob condições de maior índice pluviométrico e menos horas de luz, as doses de adubo verde proporcionaram maiores teores de pigmentos fotossintéticos em comparação ao controle, exceto na dose de 90 t/ha, que resultou em menor concentração de clorofila *b*. Isso pode ser explicado pelo maior acúmulo de N e Mg nas folhas, que favorece a produção de clorofilas e carotenoides (PERALTA-SÁNCHEZ *et al.*, 2023).

O papel vital dos pigmentos fotossintéticos no processo fotossintético e na condição fisiológica geral das plantas torna sua estimativa um meio valioso para monitorar a saúde das plantas. A aplicação de fertilizante adequado pode aumentar a concentração de pigmentos fotossintéticos, a intensidade da fotossíntese e, conseqüentemente, a produção de biomassa, mesmo em condições de salinidade elevada (SHAH, HOUBORG e MCCABE, 2017; POPOVIC *et al.*, 2015).

No primeiro cultivo, não foram observadas diferenças significativas nos teores de clorofila e carotenoides entre as doses de adubo verde e o controle, exceto pela clorofila *a*, que apresentou menor conteúdo no tratamento controle (Tabela 4). Este menor acúmulo de clorofila *a* pode estar relacionado às menores concentrações de nitrogênio e magnésio, elementos essenciais para a formação da molécula de clorofila, como relatado por Assis *et al.* (2024).

Já no segundo cultivo, as doses de adubo verde promoveram um aumento nos teores de pigmentos fotossintéticos em comparação com o controle, exceto na dose de 90 t/ha, que apresentou uma redução na concentração de clorofila *b* em relação aos demais tratamentos. Essa redução pode estar associada a um efeito de desequilíbrio nutricional, possivelmente causado pela alta concentração de nitrogênio, que, em excesso, pode comprometer os processos fotossintéticos e o metabolismo de carbono e nitrogênio, conforme observado por Saiz-Fernández *et al.* (2017).

Adicionalmente, o segundo cultivo foi caracterizado por maiores índices pluviométricos e menos horas de luz, o que resultou em maior área foliar e menor comprimento das plantas (Tabela 1). Esses fatores podem ter contribuído para o maior acúmulo de N e Mg nas folhas, promovendo assim um aumento nos teores de pigmentos fotossintéticos, como clorofilas *a*, *b* e carotenoides (Tabela 3). Este aumento reforça a relação direta entre a disponibilidade de nitrogênio e magnésio e a síntese de pigmentos fotossintéticos, conforme corroborado por Peralta-Sánchez *et al.* (2023).

Por fim, a literatura destaca o papel vital que os pigmentos fotossintéticos desempenham no processo fotossintético e na condição fisiológica das plantas, o que torna a sua estimativa um indicador valioso da saúde das plantas e da resposta ao estresse. Estudos indicam que doses adequadas de fertilizante podem aumentar a concentração desses pigmentos, melhorando a eficiência fotossintética e contribuindo para uma maior produção de biomassa, mesmo em condições adversas, como alta salinidade do solo (SHAH, HOUBORG e MCCABE, 2017; POPOVIC *et al.*, 2015). Essa análise indica que, embora a adubação verde aumente a concentração de pigmentos fotossintéticos, doses acima de 90 t/ha podem não resultar em incrementos proporcionais, dependendo da época do ano.

Tabela 4 – Concentração de pigmentos fotossintéticos *Sonchus oleraceus* em diferentes doses de adubo verde, aos 50 dias. UFLA - Lavras, 2024.

Primeiro cultivo (verão/outono)				
Tratamentos	clorofila a	clorofila b	clorofila total	carotenoides
	mg g ⁻¹			
Sem adubação	0,38 b	0,34 a	0,73 a	0,12 a
30 t/ha	0,44 a	0,30 a	0,74 a	0,13 a
60 t/ha	0,43 a	0,30 a	0,74 a	0,12 a
90 t/ha	0,43 a	0,33 a	0,76 a	0,12 a
120 t/ha	0,44 a	0,32 a	0,77 a	0,12 a
CV%	6,36	7,88	5,57	4,81
Segundo cultivo (verão)				
Tratamentos	clorofila a	clorofila b	clorofila total	carotenoides
	mg g ⁻¹			
Sem adubação	0,46 c	0,47 b	0,94 b	0,18 b
30 t/ha	0,60 b	0,60 a	1,21 a	0,22 a
60 t/ha	0,72 a	0,42 b	1,15 a	0,25 a
90 t/ha	0,66 b	0,19 d	0,85 b	0,24 a
120 t/ha	0,76 a	0,34 c	1,10 a	0,24 a
CV%	10,5	12,48	8,95	10,68

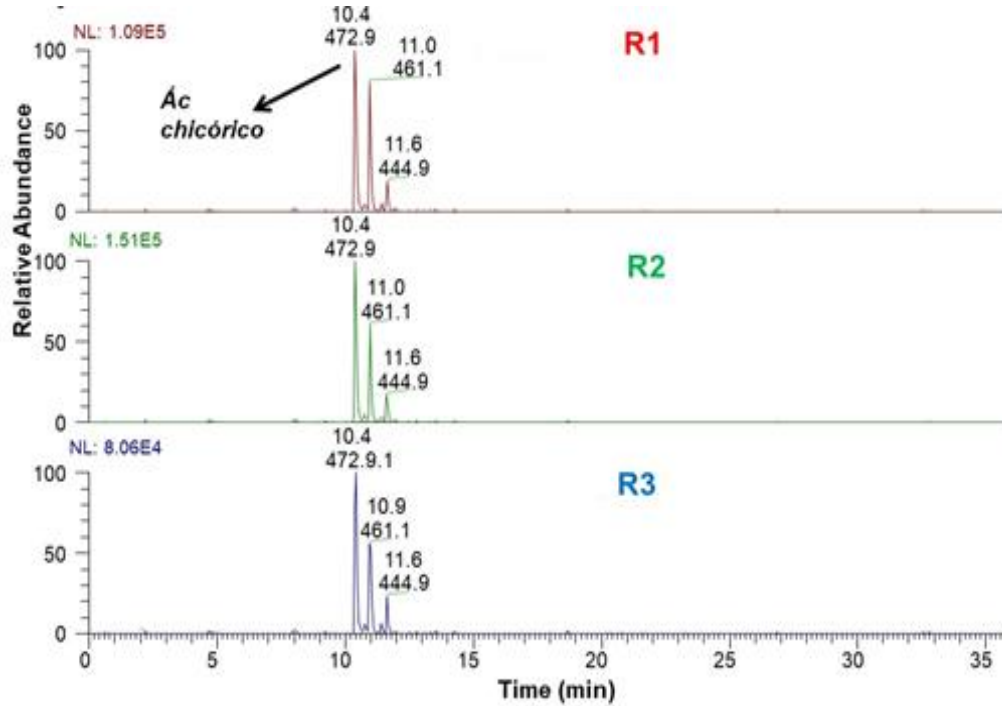
As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

3.3 Caracterização cromatológica do ácido chicórico, doseamento de compostos fenólicos e flavonas/flavonóis totais

3.3.1 Análises cromatográficas

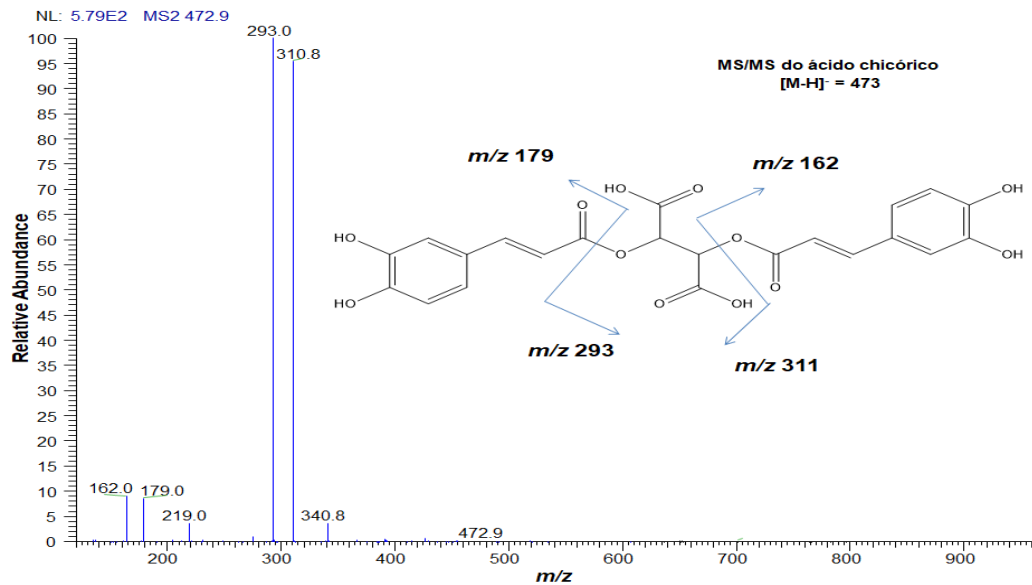
Análises por UHPLC-MS/MS confirmaram de forma inequívoca a presença de ácido chicórico nas amostras. O pico com tempo de retenção (TR) de 10,4 min (Figura 1) apresenta perfil de fragmentação por ESI-MS/MS (FIGURA 2) compatível com o do ácido chicórico. A molécula de ácido chicórico (C²²H¹⁸O¹²) em modo negativo de análise, gera o íon precursor de m/z 472,9 Da [M+H]⁺. No espectro ESI-MS/MS do íon m/z 472,9 [M-H]⁺(TR 10,4 min), foi possível observar os fragmentos de m/z 311, 293, 179 e 162 característicos dessa substância (ZHELEVA *et al.* 2023). O fragmento mais abundante de m/z 293 refere-se a perda de uma molécula de água [M-H-H₂O]⁺ pelo íon precursor protonado.

Figura 4 – Cromatograma obtido por UHPLC-MS/MS (modo negativo) do extrato liofilizado de *Sonchus oleraceus*.



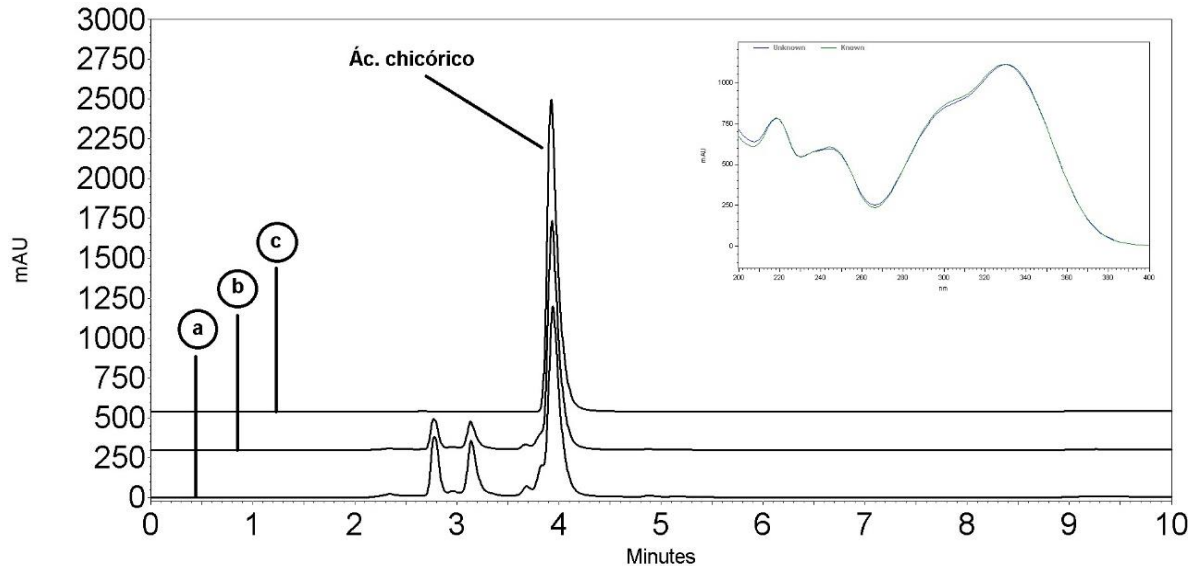
O pico base em m/z 311 indica a perda de uma porção cafeoíla $[M-H-162]^-$. O fragmento em m/z 293 corresponde a perda de uma unidade cafeoíla, seguida de desidratação $[M-H-162-18]^-$. O fragmento em m/z 179 sugere a ocorrência de resíduo de ácido cafeico, devido à perda de uma unidade cafeoiltartárica $[M-H-162-132]^-$ (CARAZZONE *et al.*, 2013). Por fim, o íon fragmento em m/z 162 é característico da perda de um resíduo cafeoila e outro de ácido tartárico $[M-H-162-149]^-$, levando à identificação do ácido dicafeoiltartárico, também conhecido como ácido chicórico (Figura 3).

Figura 5 – Espectro ESI-MS/MS no modo negativo do íon de m/z 473.9 $[M+H]^+$.



A caracterização do ácido chicórico por HPLC-DAD foi realizada a partir da comparação dos tempos de retenção, espectros no UV e co-injeção com padrão. A Figura 3 ilustra a presença de ácido chicórico na amostra pela sobreposição dos tempos de retenção da amostra, da co-injeção e do padrão de ácido chicórico em 3,97 min. O pico corresponde ao ácido chicórico na amostra apresentou homogeneidade espectral com o espectro do pico do padrão, atestando a seletividade do método.

Figura 6 – Perfil cromatográfico do extrato liofilizado de folhas *Sonchus oleraceus*, obtido por HPLC-DAD. A: amostra; B: Co-injeção da amostra com o padrão de ác. chicórico; C: padrão de ácido chicórico. Os espectros no UV foram obtidos on-line pelo detector DAD para a amostra e o padrão ácido chicórico a 320 nm.



3.3.2 Quantificação do ácido chicórico

As curvas analíticas obtidas em dois dias consecutivos indicaram relação linear entre a massa injetada de ácido chicórico (μg) versus a área do pico correspondente, sendo obtidos coeficientes de determinação (R^2) entre 0,9998 e 0,9994. A análise de covariância indicou que as inclinações e os interceptos das duas retas foram equivalentes. Portanto, a equação da reta foi estabelecida com os valores médios, resultando na equação média $y=6.393.280,13x+358.365,83$ e $R^2 = 0,9996$.

As doses de adubação verde afetaram significativamente os compostos fenólicos e flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico (Tabela 5). O tratamento sem adubação (controle) resultou em maiores valores desses compostos secundários, exceto para os compostos fenólicos no primeiro cultivo (verão/outono) onde a dose de 60 t/ha se destacou. Isso sugere que a ausência de adubação ou a aplicação de doses baixas favorece o acúmulo de metabólitos secundários nas plantas.

A disponibilidade de nutrientes, especialmente nitrogênio, desempenha um papel crucial na síntese de compostos secundários em plantas como *Sonchus oleraceus*. Altas doses de nitrogênio podem ter efeitos significativamente negativos na qualidade dos produtos, bem como no conteúdo de metabólitos secundários e vitaminas em vegetais e frutas (STEFANELLI, GOODWIN e JONES, 2010). O crescimento vegetativo é amplificado em

elevadas doses de nitrogênio, esse crescimento vigoroso pode diluir a concentração de compostos secundários, como o ácido chicórico, na biomassa total (SUN *et al.*, 2020).

Por outro lado, a fertilização com baixos teores de nitrogênio tem sido observada como estimulante para a produção de metabólitos secundários em plantas como *Labisia pumila*, enquanto níveis elevados de nitrogênio tendem a diminuir a produção desses metabólitos (IBRAHIM *et al.*, 2011). Fatores ambientais e a fertilidade do solo influenciam o acúmulo de metabólitos secundários nas plantas durante condições de estresse biótico e abiótico (JAN *et al.*, 2021). Este fenômeno explica por que plantas que não receberam adubação apresentaram maiores acúmulos de ácido chicórico.

Neste estudo as plantas de *Sonchus oleraceus* cultivadas sem adubação (controle) tiveram concentrações de ácido chicórico de 22,77 mg/g no verão/outono de cultivo e 26,29 mg/g no verão, sugerindo que *Sonchus oleraceus* pode ser uma alternativa promissora como fonte natural de ácido chicórico. A *Echinacea purpurea* (L.) é a principal fonte natural de ácido chicórico, sendo reconhecida por seu alto teor desse composto. Nas raízes de *Echinacea purpurea*, o conteúdo de ácido chicórico pode variar entre 16,80 e 24,30 mg/g, o que ressalta sua importância como uma rica fonte natural devido às suas promissoras propriedades bioativas (SAEED *et al.*, 2018). O ácido chicórico é amplamente valorizado por suas diversas atividades farmacológicas, o que o torna um composto de grande interesse na medicina e na indústria de suplementos (YANG *et al.*, 2022). A concentração de ácido chicórico nas folhas de *Sonchus oleraceus* é 16,22% maior que nas raízes de *Echinacea purpurea*.

Importantes metabólitos secundários das plantas, como fenólicos, flavonoides, terpenoides e alcaloides, são produzidos em resposta a vários estresses ambientais cruciais, incluindo irradiação luminosa, temperatura, disponibilidade de água no solo e fertilidade do solo (YANG, 2018). As plantas sob estresse alocam recursos para mecanismos de defesa, resultando em compensações entre crescimento e funções de defesa. Os fenólicos vegetais, entre outros compostos naturais, proporcionam às plantas adaptações específicas às mudanças nas condições ambientais e, portanto, são essenciais para os mecanismos de defesa das plantas. O estresse ambiental e os fenólicos induzidos pelo estresse estão ligados por uma via de transdução que envolve o ciclo redox da prolina, a via oxidativa estimulada da pentose fosfato e a redução do crescimento dos tecidos vegetais (CARETTO *et al.*, 2015).

Tabela 5 – Tabela de teores de compostos fenólicos, flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico de plantas de *Sonchus oleraceus* sob diferentes doses de adubo verde, aos 50 dias. UFLA - Lavras, 2024.

Primeiro cultivo (verão/outono)			
Tratamentos	Fenóis	Flavonas/flavonóis	Ácido chicórico
	mg EAG g planta ⁻¹	mg EQ g planta ⁻¹	mg/g planta ⁻¹
Sem adubação	4,30 b	2,75 a	22,77 a
30 t/ha	3,71 c	1,61 c	19,83 b
60 t/ha	4,78 a	2,70 a	19,74 b
90 t/ha	3,40 d	2,26 b	16,75 c
120 t/ha	3,84 c	2,33 b	16,34 d
CV%	4,76	3,17	0,41
Segundo cultivo (verão)			
Tratamentos	Fenóis	Flavonas/flavonóis	Ácido chicórico
	mg EAG g planta ⁻¹	mg EQ g planta ⁻¹	mg/g planta ⁻¹
Sem adubação	5,40 a	2,98 a	26,29 a
30 t/ha	4,09 c	2,66 b	17,53 b
60 t/ha	4,04 c	2,56 b	16,01 c
90 t/ha	4,18 c	2,02 d	17,73 b
120 t/ha	4,88 b	2,41 c	17,56 b
CV%	7,32	3,56	1,14

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

3.4 Análise dos componentes principais (PCA)

A Análise dos Componentes Principais (PCA) foi utilizada para simplificar a complexidade do conjunto dos dados para facilitar a visualização dos dados. E assim, identificar as interações existentes entre as variáveis de respostas e a adubação utilizada. O gráfico da PCA apresentado na Figura 6 A e B apresenta a correlação matricial entre crescimento vegetativo e conteúdo de pigmentos fotossintéticos, fenóis totais, flavonas/flavonóis e ácido chicórico, explicando 84,69% da variação total no primeiro cultivo e no segundo de 83,48%. Assim, com o uso das PC1 e PC2 foi possível identificar a separação dos tratamentos em quatro grupos nos dois cultivos. No primeiro cultivo foi possível observar uma diferenciação entre plantas: Grupo 1: que não receberam adubação; Grupo 2: plantas que receberam 60 t/ha de crotalária; Grupo 3: plantas que receberam 30 t/ha de crotalária e Grupo 4: plantas que receberam 120 t/ha de crotalária.

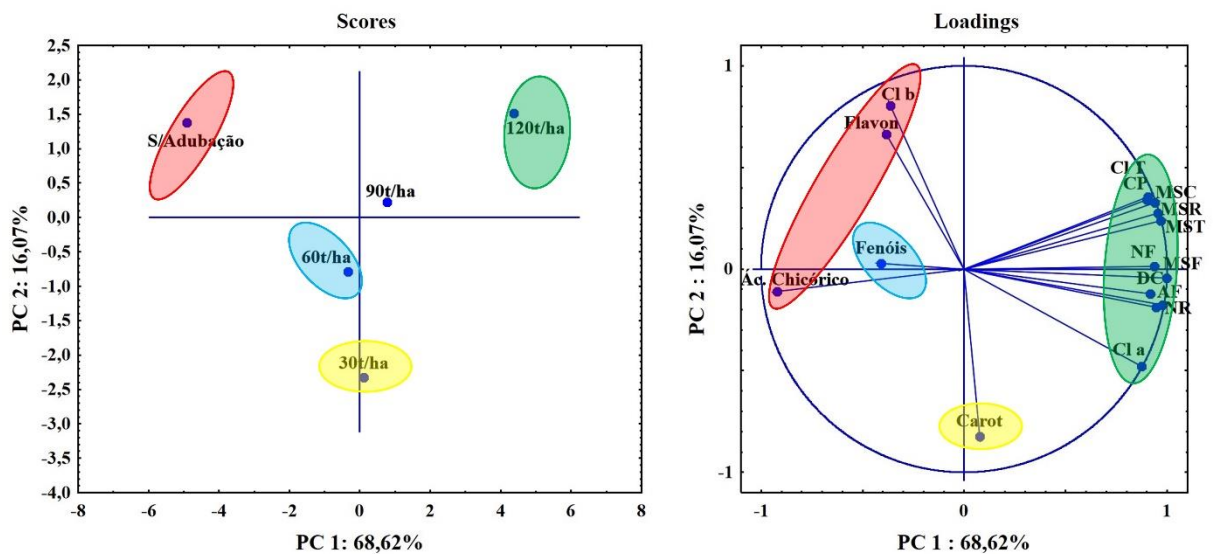
A PCA confirma os dados apresentados anteriormente, onde as plantas que não receberam adubação verde (Grupo 1) foram observadas os maiores teores de flavonas/flavonóis totais, ácido chicórico e clorofila *b*; Grupo 2 aos fenóis; Grupo 3 aos

carotenoides; Grupo 4 influenciaram positivamente sobre as variáveis: análise de crescimento (matérias secas das partes da planta, comprimento da planta, área foliar, número de folha, número de ramos e diâmetro do caule), no outono.

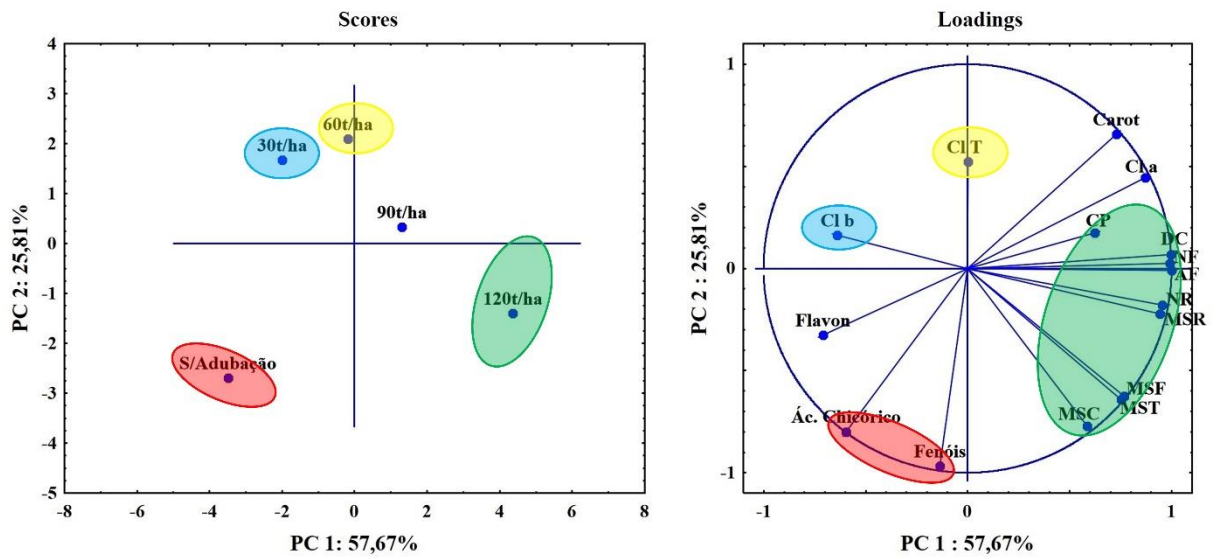
No segundo cultivo foi possível observar uma diferenciação entre plantas: Grupo 1: que não receberam adubação; Grupo 2: plantas que receberam 30 t/ha de crotalária; Grupo 3: plantas que receberam 60 t/ha de crotalária e Grupo 4: plantas que receberam 120 t/ha de crotalária. A PCA da segunda época de cultivo onde as plantas que não receberam adubação verde (Grupo 1) foram observadas os maiores teores de flavonas/flavonóis totais, ácido chicórico e fenóis; Grupo 2 a clorofila *b*; Grupo 3 a clorofila total; Grupo 4 influenciaram positivamente sobre as variáveis: análise de crescimento (matérias secas das partes da planta, comprimento da planta, área foliar, número de folha, número de ramos e diâmetro do caule), clorofila *a* e carotenoide. Os resultados da PCA corroboram e complementam as análises estatísticas e interpretações anteriores. O agrupamento de tratamentos identifica em contexto amplo que os tratamentos com adubo verde na maior dose são determinantes para proporcionar ganhos significativos sobre as principais variáveis de produção do cultivo de serralha, porém reduzem os teores de metabólitos secundários.

Figura 7 – Análise de componentes principais (PCA) da correlação da matriz construída usando dados parâmetro de crescimento e teor de metabólitos avaliados de serralha cultivada no primeiro (A) e segundo (B) cultivo com adubação verde.

A



B



4 CONCLUSÃO

A adubação verde aumentou o crescimento da biomassa em *Sonchus oleraceus*, com aumentos significativos. As plantas adubadas com adubo verde mostraram maiores teores de pigmentos fotossintéticos. Quanto ao metabolismo secundário, o tratamento sem adubo verde resultou em maiores acumulações de compostos fenólicos e flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico. Esses resultados destacam a eficiência agrônômica da adubação verde como prática agrícola benéfica e recomendável para a *Sonchus oleraceus*.

5 REFERÊNCIAS

- AISSANI, F. *et al.* Algerian *Sonchus oleraceus* L.: a comparison of different extraction solvent on phytochemical composition, antioxidant properties and anti-cholinesterase activity. **Advances in Traditional Medicine**, p. 1-12, 2022.
- AL JUHAIMI, F. *et al.* Comparative study of mineral and oxidative status of *Sonchus oleraceus*, *Moringa oleifera* and *Moringa peregrina* leaves. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, p. 1745-1751, 2017.
- ARAÚJO, D. X. *et al.* Photon flux density and wavelength influence on growth, photosynthetic pigments and volatile organic compound accumulation in *Aeollanthus suaveolens* (Catinga-de-mulata) under *in vitro* conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 168, p. 113597, 2021.
- ASSIS, R. M. *et al.* Green manure (*Crotalaria juncea* L.) enhances *Origanum vulgare* L. biomass accumulation, essential oil yield, and phytochemical properties. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 96, n. 1, p. e20230539, 2024.
- BERRIEL, V.; MONZA, J.; PERDOMO, C. H. Cover crop selection by jointly optimizing biomass productivity, biological nitrogen fixation, and transpiration efficiency: application to two *crotalaria* species. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1116, 2020.
- BHANDARI, H. R. *et al.* Sunn Hemp: A Climate-Smart Crop. In: **Developing Climate Resilient Grain and Forage Legumes**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. p. 277-296.
- CAMPOSTRINI, E. Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas. Rio de Janeiro: **UFNF**, 2001.
- CARAZZONE, C. *et al.* Identification of phenolic constituents in red chicory salads (*Cichorium intybus*) by high-performance liquid chromatography with diode-array detection and electrospray ionization tandem mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 1062-1071, 2013.
- CARETTO, S. *et al.* Carbon fluxes between primary metabolism and the phenolic pathway in plant tissues under stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 11, pág. 26378-26394, 2015. <https://doi.org/10.3390/ijms161125967>.
- COELHO, A. D. *et al.* Wavelength and light intensity enhance growth, phytochemical contents and antioxidant activity in micropropagated plantlets of *Urtica dioica* L. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 145, n. 1, p. 59-74, 2021.
- DE OLIVEIRA, T. *et al.* The effect of alternative membrane system, sucrose, and culture methods under photosynthetic photon flux on growth and volatile compounds of mint *in vitro*. **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant**, v. 57, n. 3, p. 529-540, 2021.
- EMBRAPA. Hortaliças não convencionais. Hortaliças tradicionais: serralha. 2017.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computational analysis system for fixed effects split-plot designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FONSECA, W. S.; MARTINS, S. V.; VILLA, P. M. Green manure as an alternative for soil recovery in a bauxite mining environment in Southeast Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 1, pág. e20220041, 2023.

HISCOX, J.; ISRAELSTAM, G. F. Different methods of chlorophyll extraction. **Can. J. Bot.**, 57, n. 1332-1332, 1979.

HONORATO, A. *et al.* Combining green manure and cattle manure to improve biomass, essential oil, and thymol production in *Thymus vulgaris* L. **Industrial Crops and Products**, v. 187, p. 115469, 2022.

HUNDAL, H., DHILLON, N., & DEV, G. Contribution of Different Green Manures to P Nutrition of Rice. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, 40, 76-81, 1992.

IBRAHIM, M. H. *et al.* Effects of Nitrogen Fertilization on Synthesis of Primary and Secondary Metabolites in Three Varieties of Kacip Fatimah (*Labisia Pumila Blume*). **Revista Internacional de Ciências Moleculares**, v. 12, n. 8, pág. 5238-5254, 2011.
<https://doi.org/10.3390/ijms12085238>.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). 2024. Dados meteorológicos. Disponível em: [<https://bdmep.inmet.gov.br/>]. Acesso em: 23 de julho de 2024.

IRIN, I. J. *et al.* Influence of green manuring crops on dry matter production and soil health improvement. **Bangladesh Agronomy Journal**, v. 22, n. 1, p. 39-45, 2019.

JAN, R. *et al.* Biossíntese de metabólitos secundários de plantas e regulação transcricional em resposta a condições de estresse biótico e abiótico. **Agronomia**, v. 11, n. 5, pág. 968, 2021.
<https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11050968>.

JONES, C. L. *et al.* Biosynthesis of plant secondary metabolites and transcriptional regulation in response to biotic and abiotic stress conditions. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 6, p. 2267-2273, 2007. <https://doi.org/10.13031/2013.24079>.

KARYOTI, A. *et al.* Effects of irrigation and green manure on corn (*Zea mays* L.) biomass and grain yield. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 18, n. 3, p. 820-832, 2018.

KHAN, M. I. *et al.* Short-term effects of different green manure amendments on the composition of major microbial groups and microbial activity in a submerged rice cropping system. **Applied Soil Ecology**, v. 147, p. 103400, 2020.

LV, B. *et al.* Light participates in the auxin-dependent regulation of plant growth. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 63, n. 5, p. 819-822, 2021.

- MA, D. *et al.* Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. **Field Crops Research**, v. 108146, 2021.
<https://doi.org/10.1016/J.FCR.2021.108146>.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas. **Piracicaba: Potafos**, 1997. p. 319.
- MARLES, R. J. Mineral nutrient composition of vegetables, fruits, and grains: The context of reports of apparent historical declines. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 56, p. 93-103, 2017. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2016.11.012>.
- MITTLER, R. are good. *Trends in Plant Science*, v. 22, n. 1, p. 11-19, 2017.
- MO, C. *et al.* Complete genome features of Ageratum Yellow Vein China virus infecting *Sonchus oleraceus*. **Plant Disease**, v. 107, n. 10, pág. 2944-2948, 2023.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-11-22-2688-SC>.
- MOREIRA, H. J. C.; BRAGANÇA, H. B. N. Manual de identificação de plantas infestantes. **FMC Agricultural Products**, Campinas, p, 2011.
- MU, X.; CHEN, Y. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 76-82, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.019>.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. **Physiologia plantarum**, 15, n. 3, p. 473-497, 1962.
- NAKONECHNAYA, O. V. *et al.* Effect of Light Intensity on the Morphogenesis of *Stevia rebaudiana* under *In Vitro* Conditions. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 66, n. 4, p. 656-663, 2019.
- NASCIMENTO, G. S. *et al.* Physicochemical properties of soil, biomass production, and root density in a green manure cultivation system in a tropical ecosystem, Northeast Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 21, p. 2203-2211, 2021.
- NOBELA, O. *et al.* Tapping into the realm of underutilised green leafy vegetables: Using LC-IT-Tof-MS based methods to explore phytochemical richness of *Sonchus oleraceus* (L.) L. **South African Journal of Botany**, v. 145, p. 207-212, 2022.
<https://doi.org/10.1016/J.SAJB.2021.03.010>.
- OLIVEIRA, A. L. R. *et al.* Effect of fertilization and liming on the content of secondary metabolites in *Hydrocotyle umbellata* L. var. *bonariensis* (Lam.) Mr. Spreng. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e297101321337-e297101321337, 2021.
- OU, Z. *et al.* Application of an online post-column derivatization HPLC-DPPH assay to detect compounds responsible for antioxidant activity in *Sonchus oleraceus* L. leaf extracts. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 65, n. 2, p. 271-279, 2013.

- OU, Z. Q. *et al.* Application of an online HPLC-DPPH post-column derivatization assay for detecting compounds responsible for antioxidant activity in *Sonchus oleraceus* L. leaf extracts. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 65, n. 2, p. 271-279, 2013.
- PANDEY, R.; VENGAVASI, K.; HAWKESFORD, M. J. Plant adaptation to nutrient stress. **Plant Physiology Reports**, v. 26, n. 4, p. 583-586, 2021.
- PEKAL, A.; PYRZYNSKA, K. Evaluation of the aluminum complexation reaction for flavonoid content assay. **Food Analytical Methods**, v. 7, p. 1776-1782, 2014.
- PERALTA-SÁNCHEZ, M. G. *et al.* Nitrogen nutrition differentially affects concentrations of photosynthetic pigments and antioxidant compounds in Mexican Marigold (*Tagetes erecta* L.). **Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 517, 2023.
- PEREIRA, N. S.; SOARES, I.; MIRANDA, F. R. Decomposição e liberação de nutrientes de espécies leguminosas de adubação verde na região de Jaguaribe-Apodi, Ceará, Brasil. **Ciência Rural**, v. 46, pág. 970-975, 2016.
- POPOVIC, Vladan *et al.* Effect of fertilizers on concentration of photosynthetic pigments in leaves of one-year-old seedlings of walnut (*Juglans regia* L.). **Poljoprivreda i Sumarstvo**, v. 61, n. 4, p. 243, 2015.
- RADMANN, E. B. *et al.* Influence of light flux density on the quality of micropropagated *Gypsophila paniculata* L. plants. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 7, n. 3, 2001.
- RECH, C. *et al.* Presença de monocrotalina no gênero de plantas *Crotalaria* (Fabaceae) e sua influência sobre artrópodes em agroecossistemas. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 84, p. e256916, 2022.
- RIBANI, M. *et al.* Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, p. 2-10, 2004.
- ROCHA, P. S. G. *et al.* Uso de LEDs na multiplicação *in vitro* de três cultivares de bananeira. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, n. 2, p. 247-252, 2017.
- ROSA, M. *et al.* Variations in photon flux density alter the morphophysiological and chemical characteristics of *Anacardium othonianum* Rizz. *in vitro*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 140, n. 3, p. 523-537, 2020.
- SAEED, M. *et al.* The use of chicoric acid from *Echinacea purpurea* as a feed additive in poultry nutrition. **World's Poultry Science Journal**, v. 74, n. 1, p. 69-78, 2018.
- SAIZ-FERNÁNDEZ, I. *et al.* The imbalance between C and N metabolism during high nitrate supply inhibits photosynthesis and overall growth in maize (*Zea mays* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 120, p. 213-222, 2017.
- SHAFIQ, I. *et al.* Photosynthetic response of crops to light quality and intensity. **Integrated Agriculture Journal**, v. 20, n. 1, pág. 23/04/2021.

- SHAH, S. H.; HOUBORG, R.; MCCABE, M. F. Chlorophyll, carotenoids, and SPAD-502 response to salinity and nutritional stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Agronomy**, v. 7, n. 3, pág. 61, 2017. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY7030061>.
- SINGH, A. S. *et al.* High light intensity stress as the limiting factor in micropropagation of sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 129, n. 2, p. 209-221, 2017.
- SINGLETON, V.L.; ROSSI, J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 1, p. 144-158, 1965.
- SRITHONGKUL, J. *et al.* Effects of light intensity on growth and accumulation of triterpenoids in three accessions of Asiatic pennywort (*Centella asiatica* (L.) Urb.). **J Food Agric Environ**, v. 9, p. 360-363, 2011.
- STEFANELLI, D.; GOODWIN, I.; JONES, R. Minimum nitrogen and water use in horticulture: Effects on quality and selected nutrient content. **Food Research International**, v. 7, pág. 1833-1843, 2010. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2010.04.022>.
- SUN, Y. *et al.* Negative effects of the simulated nitrogen deposition on plant phenolic metabolism: A meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 719, p. 137442, 2020.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. **Artmed Editora**, 2017. 8582713673.
- TEIXEIRA, R. T. Distinct responses to light in plants. *Plants*, v. 9, n. 7, p. 894, 2020.
- TOOR, M. D. *et al.* Nutrients and their importance in agricultural production: a review. **Indian Journal of Applied Pure Biosciences**, v. 1, pág. 1-6, 2021. <https://doi.org/10.18782/2582-2845.8527>.
- WANG, F. *et al.* The green manure (*Astragalus sinicus* L.) improved rice yield and quality and changed soil microbial communities of rice in the karst mountains area. **Agronomy**, v. 12, n. 8, p. 1851, 2022.
- WANG, H. *et al.* Simulation of bromide and nitrate leaching under heavy rainfall and high-intensity irrigation rates in the northern plain of China. **Agricultural Water Management**, v. 10, pág. 1646-1654, 2010. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2010.05.022>.
- WATERMAN, P. G.; MOLE, S. Extrinsic factors influencing production of secondary metabolites in plants. In: **Insect-plant interactions**. CRC press, 2019. p. 107-134.
- WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of plant physiology**, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994.

YANG, L. *et al.* Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, v. 23, n. 4, p. 762, 2018.

YANG, M. *et al.* Ácido chicórico: ocorrência natural, síntese química, biossíntese e seus efeitos bioativos. **Frontiers in chemistry**, v. 10, p. 888673, 2022.

YANG, M. *et al.* Chicoric acid: Natural occurrence, chemical synthesis, biosynthesis, and their bioactive effects. **Frontiers in chemistry**, v. 10, p. 888673, 2022.

ZERVOUDAKIS, G. *et al.* Influence of light intensity on growth and physiological characteristics of common sage (*Salvia officinalis* L.). **Brazilian archives of biology and technology**, v. 55, n. 1, p. 89-95, 2012.

ZHANG, H. *et al.* Cytotoxic sesquiterpenes from *Sonchus oleraceus*. **Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents)**, v. 20, n. 6, p. 709-714, 2020.

ZHELEVA, D. D. *et al.* Metabolite profiling and bioactivity of *Cicerbita alpina* (L.) Wallr. (Asteraceae, Cichorieae). **Plants**, v. 12, n. 5, p. 1009, 2023.

ZHENG, L.; VAN LABEKE, M. C. Effects of different irradiation levels of light quality on *Chrysanthemum*. **Scientia Horticulturae**, v. 233, p. 124-131, 2018.

CAPÍTULO III

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE METABÓLICOS SECUNDÁRIOS DE *Sonchus oleraceus* CULTIVADAS SOB MALHAS COLORIDAS

RESUMO

A *Sonchus oleraceus* é uma planta popularmente conhecida como serralha. A planta é utilizada tradicionalmente por suas propriedades nutricionais e medicinais. Seus benefícios para a saúde estão relacionados a presença de compostos fenólicos, incluindo o ácido chicórico. Este trabalho teve como objetivo avaliar o acúmulo de biomassa e o conteúdo de pigmentos fotossintéticos e compostos fenólicos totais, flavonas/flavonóis e ácido chicórico em plantas de *Sonchus oleraceus* cultivadas sob diferentes malhas coloridas. O experimento foi realizado em duas épocas de cultivo (outono e primavera), em vasos de seis litros com os seguintes ambientes protegidos: malha preta, vermelha, azul e sob pleno sol (controle). Aos 50 dias de implementação do experimento, foram feitas avaliações agronômicas (biomassa seca da folha, caule e raiz, número de folha, de ramos e diâmetro do caule) e quantificação de pigmentos fotossintéticos, compostos fenólicos e flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico. A manipulação das condições de luz impactou significativamente o crescimento e a composição química de *Sonchus oleraceus*. No outono e na primavera, a malha vermelha promoveu maior produção de matéria seca. A produção de pigmentos fotossintéticos variou com a malha vermelha sendo mais eficaz no outono e a malha azul e vermelha na primavera. A malha preta e o cultivo a pleno sol promoveram a maior produção de compostos fenólicos no outono, enquanto na primavera, a malha preta resultou nos maiores teores desses compostos. A produção de flavonas/flavonóis foi mais elevada sob a malha preta no outono e a pleno sol na primavera. Para o ácido chicórico, os maiores teores foram observados sob a malha azul no outono e sob a malha preta na primavera. O uso de malhas de sombreamento coloridas se mostrou essencial para otimizar a produção de biomassa e compostos bioativos em plantas de *Sonchus oleraceus*.

Palavras-chaves: Serralha; Qualidade de luz; ácido chicórico.

CHAPTER III

GROWTH AND PRODUCTION OF SECONDARY METABOLICS OF *Sonchus oleracea* CULTIVATED UNDER COLORED MESH

ABSTRACT

Sonchus oleraceus, commonly known as sow thistle, is a plant traditionally used for its nutritional and medicinal properties. Its health benefits are linked to the presence of phenolic compounds, including chicoric acid. The aim of this study was to evaluate biomass accumulation and the content of photosynthetic pigments, total phenolic compounds, flavones/flavonols, and chicoric acid in *Sonchus oleraceus* plants cultivated under different colored nets. The experiment was carried out in two cultivation periods (autumn and spring), using six-liter pots in the following protected environments: black, red, and blue nets, as well as full sun (control). Fifty days after the experiment began, agronomic evaluations (dry biomass of leaves, stems, and roots, number of leaves, branches, and stem diameter) and quantification of photosynthetic pigments, phenolic compounds, total flavones/flavonols, and chicoric acid were performed. Light manipulation significantly impacted the growth and chemical composition of *Sonchus oleraceus*. In both autumn and spring, the red net promoted higher dry matter production. The production of photosynthetic pigments varied, with the red net being more effective in autumn, and both the blue and red nets in spring. The black net and full sun promoted the highest production of phenolic compounds in autumn, while in spring, the black net resulted in the highest levels of these compounds. Flavones/flavonols production was highest under the black net in autumn and under full sun in spring. For chicoric acid, the highest levels were observed under the blue net in autumn and under the black net in spring. The use of colored shading nets proved essential for optimizing biomass and bioactive compound production in *Sonchus oleraceus* plants.

Key-words: Serralha; Light quality; chicoric acid.

1 INTRODUÇÃO

A planta *Sonchus oleraceus* L. (*Asteraceae*), conhecida como serralha, chicória brava, serralha branca, serralha lisa, ciumo, serralheira e serralha verdadeira, é uma espécie herbácea, anual ou bianual. Possui potencial para ser utilizada como vegetal folhoso comestível e como fonte de ativos promissores para alimentos funcionais (MOREIRA; BRAGANÇA, 2011).

A *Sonchus oleraceus* (*S. oleraceus*) tem demonstrado ser uma boa fonte de compostos bioativos, como vitaminas e pró-vitaminas (vitamina C e β -caroteno), carotenoides e compostos fenólicos com propriedades antioxidantes. O cultivo desta planta alimentícia não convencional (PANC) permitiria um fornecimento contínuo e uniforme de plantas para comercialização e consumo (BOTELLA *et al.*, 2024).

Apesar de *S. oleraceus* ser uma espécie de crescimento espontâneo, pode ser afetada por estresses abióticos, que podem limitar o crescimento, alterar o desenvolvimento e reduzir a produtividade da cultura (ZHANG *et al.*, 2022). Entre os diversos elementos climáticos, a luz, além de ser uma fonte de energia essencial, exerce um efeito significativo na sinalização do crescimento e na modulação das respostas fisiológicas e metabólicas das plantas (ROEBER *et al.*, 2020).

A luz desempenha um papel crucial na regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas, influenciando a biossíntese de auxinas e a sinalização através de múltiplos fotorreceptores (LV *et al.*, 2021). A qualidade e a intensidade da luz afetam significativamente a fotossíntese e os parâmetros morfológicos, fisiológicos e bioquímicos das plantas. A resposta das plantas a diferentes radiações espectrais e intensidades varia entre espécies e também depende das condições de cultivo (SHAFIQ *et al.*, 2021).

A radiação solar é a fonte de energia que controla o crescimento e diversos aspectos fotomorfogenéticos. Uma vez que os hipocótilos atingem a superfície do solo, seu alongamento desacelera e o aparato fotossintético é estabelecido para um crescimento autotrófico devido à presença de luz. As plantas podem detectar intensidades de luz, qualidade da luz, direção e duração da luz por meio de fotorreceptores que detectam com precisão alterações na composição espectral (UV-B a vermelho extremo) e estão localizados em toda a planta. O mecanismo mais conhecido promovido pela luz que ocorre nas plantas é a fotossíntese, que converte a energia luminosa em carboidratos (TEIXEIRA, 2020).

Diversos estudos indicam que a qualidade da luz pode influenciar positivamente o desenvolvimento de diferentes espécies vegetais. A variação nos espectros luminosos afeta tanto o crescimento quanto a produção de compostos, como os pigmentos fotossintéticos observados em *Digitalis mariana ssp. Heywoodii* (MARAFELI *et al.*, 2023). Esse efeito ressalta a capacidade adaptativa de plantas como *Lippia gracilis* à qualidade espectral, além de evidenciar o papel crucial da radiação solar para o cultivo de *Thymus vulgaris* em regiões de clima temperado e úmido (HONORATO *et al.*, 2023; VIANA *et al.*, 2023).

O espectro de luzes tem efeito de modular o potencial fotossintético, podendo absorver mais energia da luz, resultando em maior síntese de compostos fenólicos (REN *et al.*, 2018). E podem também apresentar alterações nos teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides (ARAÚJO *et al.*, 2021).

Além disso, o uso de diferentes espectros de luz pode proporcionar maior acúmulo de matéria seca, podendo influenciar no comprimento da parte aérea e da área foliar das plantas e a uma melhor proporção entre brotos e raízes (THWE *et al.*, 2020; RIBEIRO *et al.*, 2022). Ademais, pode propiciar um melhor desenvolvimento de mudas com aumento das reservas de energia e proteção contra a fotoinibição secundária, redução da perda de água e deterioração, mantendo o conteúdo de flavonas/flavonóis e a atividade antioxidante (ALVARENGA *et al.*, 2015; MUDAU, SOUNDY e MUDAU, 2017).

Na literatura não existem relatos de cultivo de *S. oleraceus* com diferentes qualidades de luz. Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar o acúmulo de matéria seca, conteúdo de pigmentos fotossintéticos e compostos fenólicos em plantas de *S. oleraceus* cultivadas sob diferentes malhas coloridas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização experimental

O experimento foi desenvolvido no Horto de Plantas Medicinais no Departamento de Agricultura e as análises químicas foram realizadas no Laboratório de Fitoquímica e Controle de Qualidade da Universidade Federal de Lavras (DAG / UFLA), localizada na região sul de Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas 21°14 ' S e 45°00 ' W, com 918 m de altitude. Exsicata de *Sonchus oleraceus* foi depositada sob o número 58897, no Herbário da EPAMIG (Empresa Agropecuária de Minas Gerais), em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

2.2 Produção de mudas *in vitro*

Sementes de *Sonchus oleraceus* obtidas da coleção de germoplasma de hortaliças não convencionais do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras foram utilizadas como explante primário. Em câmara de fluxo, as sementes foram transferidas para um recipiente contendo álcool 70%, sendo agitadas por 1 minuto. Posteriormente, foram transferidas para água sanitária na proporção 1/1 de água (cloro ativo de 1,5%), agitado manualmente em um período de 15 minutos, e lavados três vezes com água destilada autoclavada. Após a assepsia, as sementes foram transferidas para tubos de ensaio (25x150 mm) contendo 15 mL de meio de cultura MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962), suplementado com 30 g L⁻¹ de sacarose, solidificado com 5,5 g L⁻¹ de ágar e pH ajustado para 5,7± 0,1 e autoclavado a 120 °C e 1 atm, por 20 minutos. As sementes foram germinadas em sala de crescimento com fotoperíodo de 16h luz/8h escuro, sob intensidade luminosa de 42 µmol m⁻² s⁻¹, à temperatura de 26±1 °C. Depois de 40 dias de estabelecimento, as plântulas foram repicadas em frascos de vidro (250 mL) contendo 40 mL de meio MS sem sacarose, solidificado com 5,5 g L⁻¹ de ágar e pH ajustado para 5,7+0,1 e autoclavado a 120 °C e 1 atm, por 20 minutos. Utilizando quatro membranas porosas nas tampas para permitir a troca gasosa. Após 15 dias as mudas de *Sonchus oleraceus* foram aclimatizadas em casa de vegetação do Laboratório de Cultura de Tecidos da Universidade Federal de Lavras-UFLA, no município de Lavras, situado na região Sul do estado de Minas Gerais, a 918,87 metros de altitude, latitude de 21°14'S e longitude de '62 45°00'W GRW.

2.3 Cultivo da espécie

O experimento foi realizado em duas épocas de cultivo, sendo o primeiro no período de 9 de abril a 26 de maio de 2023 (Outono) com os seguintes dados meteorológico: insolação média de 7 h e 55 min; precipitação 94 mm; temperatura máxima 27,22°C; temperatura mínima 14,91°C; umidade média de 73,45% e a segunda época de 28 de setembro a 14 de novembro de 2023 (Primavera) com os seguintes dados meteorológico: insolação média de 7 h e 20 min; precipitação 235,4 mm; temperatura máxima 31,95°C; temperatura mínima 18,73 °C; umidade média 70,58% (INMET, 2024).

As plantas foram cultivadas em vasos (6 litros), em substrato composto de Latossolo vermelho distrófico de textura argilosa e areia na proporção 2:1 (solo: areia) + 150g de adubo orgânico bovino, a análise do solo e adubo utilizado estão descritos na Tabela 2. O

delineamento experimental utilizado foram inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos (malhas azul, preta, vermelha e pleno sol), cinco repetições e cinco plantas por repetição, totalizando 25 plantas por tratamento, com duas épocas de cultivo (Outono e Primavera), fatorial: 04 malha x 02 épocas de cultivo.

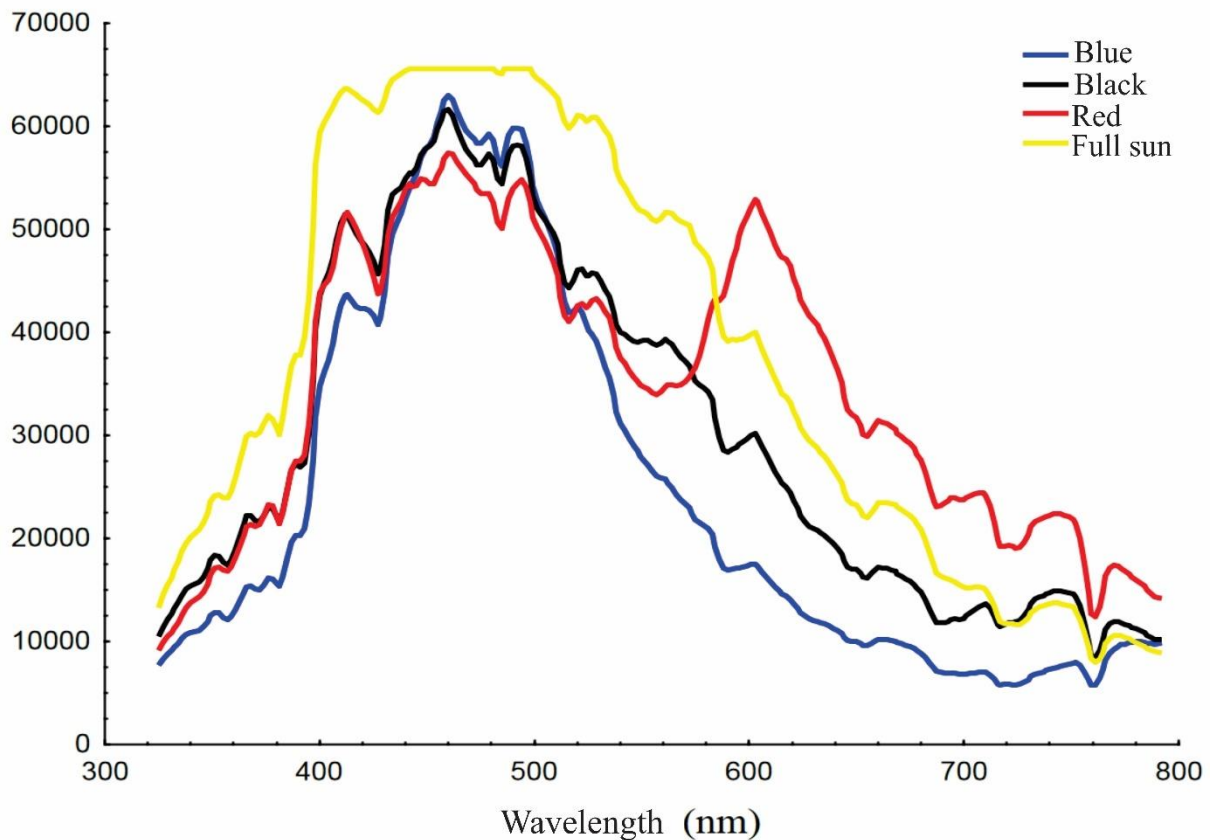
As malhas coloridas foram vermelha, azul e uma preta – (Polysack Plastic Industries®). Segundo o fabricante, possuem uma densidade da malha que fornece 50% de transmitância na região fotossinteticamente ativa. As malhas foram sustentadas por uma estrutura de madeira de 3 m de comprimento x 3 m de largura x 2 m de altura. As malhas alteram o espectro de luz solar por elas transmitida: a malha vermelha reduz as ondas azuis, verdes e amarelas, e acrescenta ondas na região do vermelho e vermelho-distante. A malha azul reduz a passagem de comprimentos de onda na faixa da luz do vermelho e do vermelho-distante, e aumenta a transmitância de comprimentos de onda na faixa de luz azul do espectro (Figura 1). Os espectros de luz foram medidos utilizando um espectrômetro portátil (SPECTRA PEN Z850, fabricado pela Qubit Systems, Kingston, Ontário, Canadá).

A irrigação neste experimento seguiu um esquema de 48 horas, no qual o volume de água aplicado foi ajustado com base no peso do vaso para elevar a umidade do substrato à capacidade de campo (FC) e mantê-la entre 70 e 90%. Inicialmente, o vaso contendo solo seco foi pesado, e em seguida, uma irrigação foi realizada até que o solo estivesse completamente saturado. Após a saturação, o vaso foi novamente pesado. A capacidade de campo foi determinada pela diferença entre o peso do vaso após a saturação e o peso do vaso com solo seco. Este valor foi utilizado para calcular a quantidade de água necessária para manter o solo na faixa de umidade desejada durante o experimento.

Tabela 1 – Caracterização química do solo e do esterco bovino (Lab. de análise 3r lab-Lavras-MG).

Característica	solo	Esterco
pH em água	6,4	8,89
Al+H (cmol _c .dm ⁻³)	1,7	
V(%)	52,38	
T (cmol _c .dm ⁻³)	3,57	
matéria orgânica (dag.kg ⁻¹)	1,0	-
N (%)	-	1,9
P mehlich (mg.dm ⁻³)	2,2	0,39
K (mg.dm ⁻³)	97,8	2,32
Na ((mg.dm ⁻³)	3,8	-
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	1,4	-
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	0,2	-
S (mg.dm ⁻³)	60,2	-
B (mg.dm ⁻³)	0,06	-
Cu (mg.dm ⁻³)	2,5	-
Fe (mg.dm ⁻³)	27,6	-
Mn (mg.dm ⁻³)	7,0	-
Zn (mg.dm ⁻³)	0,3-	-

Figura 1 – Caracterização espectral das malhas coloridas.



Aos 50 dias de transplante as plantas foram coletadas e analisadas as variáveis de crescimento: matéria seca da folha (MSF), caule (MSC), raiz (MSR) e total (MST), número de folha (NF) e de ramos (NR), diâmetro do caule (DC) e comprimento da planta (CP). Também foram determinados os teores de pigmentos fotossintetizantes (Clorofila *a* e *b*, carotenoides) e análise fenóis totais, flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico.

O material vegetal fresco foi coletado e transferido para sacos de papel kraft e acondicionado em estufa de circulação forçada de ar, a $37\text{ °C} \pm 2$, até peso constante. Em seguida, as massas (g) foram mensuradas em balança de precisão.

2.4 Análise de pigmentos fotossintetizantes

Foram determinados conforme descrito no capítulo II para os experimentos de adubação verde.

2.4.1 Preparo dos extratos e condições gerais

Foram determinados conforme descrito no capítulo II para os experimentos de adubação verde.

2.4.2 Doseamento de compostos fenólicos e flavonas/flavonóis totais

Foram determinados conforme descrito no capítulo II para os experimentos de adubação verde.

2.4.3 Análise cromatográfica e caracterização do ácido chicórico nas amostras

A caracterização e quantificação por UHPLC-MS/MS e HPLC do ácido chicórico seguiu a mesma metodologia empregada no capítulo II deste documento.

2.5 Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos aos testes de normalidade, e posteriormente aplicado à análise de variância, pelo teste F. As médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR para análise de variância (FERREIRA, 2019). O software Statistica®, versão 13.3 (StatSoft, Tulsa, OK, EUA) foi utilizado para a análise de componentes principais (PCA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de crescimento

O uso de malhas coloridas teve impacto significativo no crescimento e na produção de biomassa de *Sonchus oleraceus*. As plantas cultivadas no outono sob a malha vermelha desenvolveram maior número de ramos, diâmetro do caule e maior comprimento em comparação as demais malhas (Tabela 2). A luz vermelha pode influenciar a fotossíntese e o crescimento das plantas, ativando fotorreceptores específicos que apoiam o desenvolvimento vegetativo, podendo ser uma causa desse resultado.

No entanto, na primavera as plantas em pleno sol mostraram maior número de folhas, número de ramos e diâmetro do caule, como pode ser observado na Tabela 2, enquanto as plantas cultivadas sob a malha vermelha demonstraram maior crescimento de planta comparado aos demais malhas de sombreamento. Assim, a malha vermelha induziu 5,5 e 2 vezes a mais o comprimento das plantas comparadas ao cultivo a pleno sol, no outono e na primavera, respectivamente. Comparando as duas épocas de cultivo, na primavera apresentou

maiores valores de número de folhas (NF), número de ramos (NR), diâmetro do caule (DC), comprimento da planta (CP), matéria seca foliar (MSF), matéria seca do caule (MSC), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST).

Tabela 2 – Parâmetros de crescimento de *Sonchus oleraceus* sob influência de malhas coloridas em duas épocas (outono e primavera). Número de folhas (NF), número de ramos (NR), diâmetro do caule (DC), comprimento da planta (CP), UFLA - Lavras, 2024.

Tratamentos	NF (unid.)		NR (unid.)		DC (mm)		CP (cm)	
	Outono	Primavera	Outono	Primavera	Outono	Primavera	Outono	Primavera
Pleno Sol	14,2 Ba	36,8 Aa	1,8 Bb	3,9 Aa	0,35 Bb	1,25 Aa	19,36 Bb	64,13 Ac
Vermelho	16,9 Aa	19,7 Ac	2,9 Aa	1,8 Bb	0,84 Ba	1,06 Ab	106,96 Ba	128,80 Aa
Preto	9,46 Bb	25,2 Ab	0,7 Bc	2,3 Ab	0,39 Bb	1,13 Ab	11,53 Bc	25,23 Ad
Azul	12,3 Bb	23,6 Ab	1,0 Bc	2,5 Ab	0,44 Bb	1,05 Ab	19,36 Bb	113,00 Ab
CV%	12,36		26,06		8,22		4,83	

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Na maior parte das variáveis, o uso das malhas proporcionou maior acúmulo de massa seca nas duas épocas do ano, com destaque para a malha vermelha (Tabela 3). A quantidade de matéria seca de folha (MSF) foi 5,6 vezes maior sob a malha vermelha em comparação com o tratamento sob pleno sol durante o outono, mas apenas 14% maior na primavera. As plantas sob a malha vermelha aumentaram o peso seco do caule (MSC) e da raiz (MSR) em 15,8 e 5,3 vezes, respectivamente, no outono, em comparação com o tratamento sob pleno sol. No entanto, na primavera, a matéria seca do caule foi apenas 1,73 vezes maior sob a malha vermelha, enquanto a da raiz foi 2,2 vezes menor em relação ao pleno sol (Tabela 3). A matéria seca total (MST) foi 8,4 vezes maior sob a malha vermelha em comparação ao pleno sol no outono. No entanto, na primavera, não houve diferença significativa, devido à maior contribuição da matéria seca de raiz nesta estação.

Os maiores acúmulo de matéria seca da parte aérea das plantas, cultivadas sob malha vermelha em relação às demais, podem ter sido ocasionados pela menor relação vermelho/vermelho distante (V/VD). Esse aumento da relação V/VD proporcionada pelos filtros pode ser um estímulo para uma maior conversão do fitocromo da forma ativa (Fvd) para a forma inativa (Fv), reduzindo a relação fitocromo vermelho-distante/fotorreceptor (Fvd/Ftotal), o que causaria um maior alongamento de caules (MORGAN e SMITH, 1978).

Neste trabalho, o maior incremento de matéria seca da parte aérea no tratamento sob malha vermelha pode ser devido à menor relação V/VD, proporcionada por esse tratamento.

As plantas de *Sonchus oleraceus* cultivadas a pleno sol alocaram maiores quantidades de assimilados às raízes e apresentaram a maior relação raiz-parte aérea (0,42 e 1,09) em comparação com vermelha (0,23 e 0,33), preta (0,33 e 0,48), azul (0,29 e 0,32), outono e primavera respectivamente. A alocação de biomassa em *Sonchus oleraceus* foi alterada pelo ambiente de cultivo, já que houve maior investimento de biomassa em raízes nas plantas coletadas em pleno sol em relação das plantas cultivadas sob as malhas. De acordo com Ribeiro *et al.* (2018) e Melo e Alvarenga (2009), essa alocação pode ter ocorrido devido à intensidade luminosa, o que fez com que as plantas investissem no crescimento radicular como estratégia adaptativa para aumentar sua capacidade de absorção de água e nutrientes.

Analisando-se a distribuição de biomassa na época da primavera entre os diferentes órgãos da planta (Figura 6), verifica-se que grande parte dos fotoassimilados foi alocada nas raízes de plantas a pleno sol (52%), em detrimento do investimento em folhas (23%), o que determinou uma maior relação raiz/parte aérea para o tratamento a pleno sol (Figura 7). Estudos anteriores com as espécies *Melissa officinalis* (BRANT *et al.*, 2009), *Mentha arvensis* (CHAGAS *et al.*, 2013) e *Lippia gracilis* (VIANA *et al.*, 2023) relataram que ocorreu maior acúmulo de peso seco no sistema radicular de plantas cultivadas a pleno sol do que com malhas coloridas.

A razão raiz/parte aérea evidenciou que, o cultivo sob pleno sol estimulou o crescimento de raízes em relação do cultivo sob as malhas, nas duas épocas de cultivo (Figura 7). Os resultados deste estudo apontam também que a taxa de investimento em biomassa aérea é maior que a de investimento na produção de raízes, sob as malhas vermelhas. As malhas causam mudanças, tanto fisiológicas, quanto morfológicas nas plantas (BASTIAS *et al.*, 2021; RIBEIRO *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2022). Dentre as várias alterações morfológicas que ocorrem em condições de menor irradiância, está razão de crescimento da raiz:parte aérea. No geral, quanto mais sombreado o ambiente, maior a alocação de biomassa para as folhas. O aumento da biomassa da parte aérea (folhas e caules) se faz em detrimento da biomassa das raízes.

Tabela 3 - Acúmulo de matéria seca de *Sonchus oleraceus* cultivadas por 50 dias sob influência de malhas coloridas. MSF: matéria seca foliar; MSC: matéria seca do caule; MSPA: matéria seca da parte aérea; MSR: matéria seca da raiz; R/PA: raiz/parte aérea; MST: matéria seca total. T: tratamentos; S: sol; V: vermelho; P: preto; a: azul; C: CV%. UFLA-Lavras, 2024.

T	MSF		MSC		MSPA		MSR		MST		R/PA	
	Out.	Pri.	Out.	Pri.	Out.	Pri.	Out.	Pri.	Out.	Pri.	Out.	Pri.
g. planta⁻¹												
S	0,51Bb	3,17Ac	0,34Bb	3,41Ac	0,85Bb	6,58Ab	0,36Bb	7,18Aa	1,22Bb	13,77Aa	0,42Ba	1,09Aa
V	2,88Ba	3,62Ab	5,40Aa	5,89Aa	8,28Ba	9,52Aa	1,94Ba	3,24Ac	10,23Ba	12,76Aa	0,23Bb	0,33Ac
P	0,69Bb	4,13Aa	0,19Bb	4,78Ab	0,88Bb	8,92Aa	0,29Bb	4,30Ab	1,18Bb	13,22Aa	0,33Bb	0,48Ab
A	0,76Bb	3,86Ab	0,41Bb	5,36Aa	1,18Bb	9,22Aa	0,34Bb	3,03Ac	1,52Bb	12,25Aa	0,29Ab	0,32Ac
C	10,59		18,89		14,17		25,09		15,92		16,8	

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Figura 2 – Distribuição de matéria seca (%) entre os diferentes órgãos das plantas de *Sonchus oleraceus*, sob diferentes colorações de malhas e a pleno sol em duas épocas de cultivo, durante 50 dias.

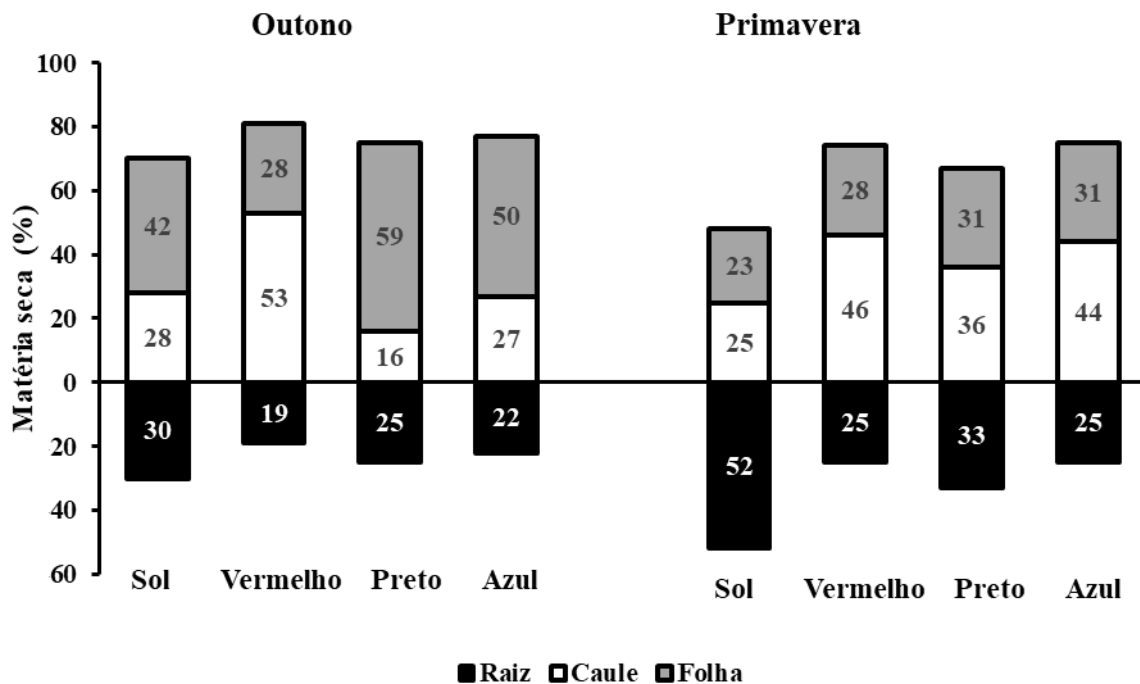
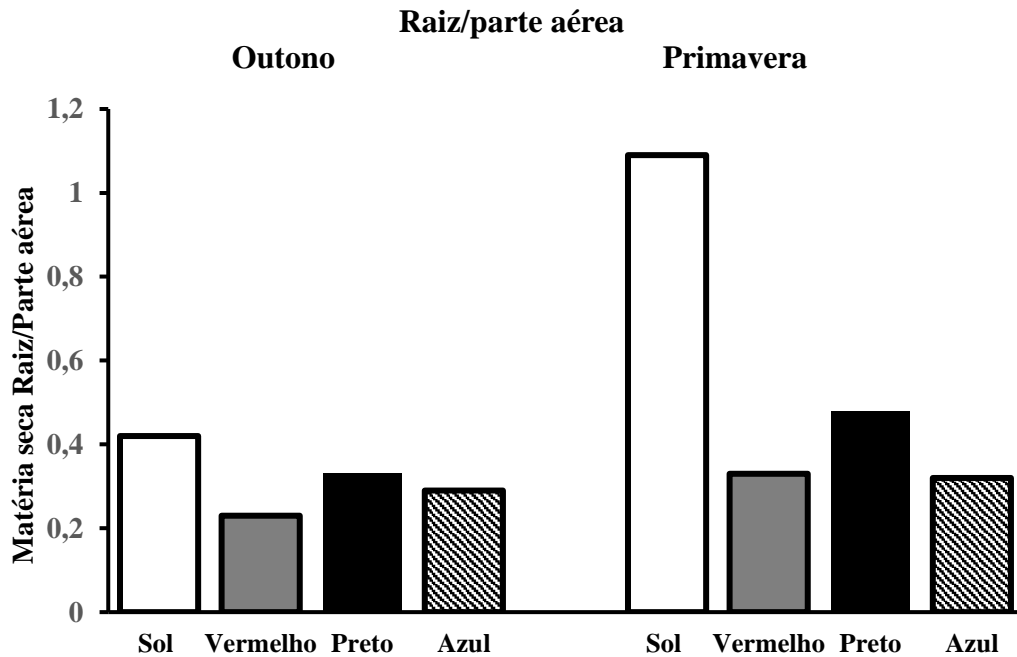


Figura 3 – Relação raiz/parte aérea de plantas de serralha, sob diferentes colorações de malhas e a pleno sol em duas épocas de cultivo, durante 50 dias.



Nas Figuras 8, 9 e 10, observa-se que, em ambas as épocas de cultivo, as plantas cultivadas sob a malha vermelha demonstraram maior crescimento em comparação aos outros tratamentos. No entanto, na primavera, essa diferença foi menor. A diferença nos resultados entre as duas épocas pode ser devido a condições sazonais, tais como temperatura e precipitação, que variaram entre o outono e a primavera. Além disso, durante a primavera, houve uma precipitação 140,4 mm maior do que no outono, além de um aumento de 35 minutos na insolação diária. Isso sugere que, embora a luz solar direta promova o crescimento geral, características específicas podem ser otimizadas sob diferentes condições de luz fornecida pelas malhas coloridas.

De acordo Viana *et al.* (2020) a malha de sombreamento vermelho favorece o acúmulo de matéria seca da parte aérea das plantas de *Lippia gracilis*. Essas malhas de sombreamento coloridas podem manipular efetivamente o desenvolvimento e o crescimento das plantas na horticultura, fornecendo proteção contra condições ambientais adversas, modificando o ambiente de cultivo e afetando a qualidade da luz recebida pelas plantas. As

malhas têm o potencial de afetar processos fisiológicos e bioquímicos em plantas, alterando o espectro de luz, o que poderia levar a mudanças na morfologia e no desempenho da cultura (VARGAS, 2023).

Além disso, as plantas possuem a capacidade de perceber diferentes radiações luminosas que envolve vários fotorreceptores, que por sua vez ativam complexas cascatas de sinalização que levam a um rearranjo no metabolismo das plantas como uma estratégia de adaptação a condições específicas de luz. Essas adaptações permitem que as plantas otimizem seu crescimento e desenvolvimento em resposta às variações na qualidade e quantidade de luz disponível (SANTIN, RANIERI e CASTAGNA, 2021).

As malhas também podem melhorar o crescimento das plantas e as trocas gasosas foliares, principalmente devido à redução da temperatura das folhas e da zona radicular. Essas malhas criam um microclima mais favorável para o crescimento, diminuindo o estresse térmico e aumentando a eficiência do uso da água. A escolha da cor pode ser importante para melhorar características específicas do desenvolvimento das plantas (DÍAZ e JOHN, 2019).

A área foliar foi afetada pelo sombreamento (FIGURA 10). As plantas sob malha vermelha exibiram maior área foliar, seguidas daquelas sob o tratamento com malha azul. As plantas cultivadas a pleno sol tiveram uma área foliar significativamente reduzida em relação aos tratamentos de sombreamento, fato que pode ser correlacionado ao menor teor de matéria seca foliar dessas plantas. Essa resposta é característica de plantas intolerantes à sombra, que, devido à sua plasticidade, tendem a exibir menores razões raiz-parte aérea, maior massa foliar por unidade de área e uma maior razão de área foliar, refletindo uma estratégia adaptativa para maximizar a captação de luz e otimizar o crescimento em ambientes de baixa irradiância (CHMURA, 2017).

Figura 4 – Plantas de serralha (*Sonchus oleraceus*) sob diferentes malhas coloridas, aos 50 dias, oriundas do cultivo no outono. UFLA - Lavras, 2024.



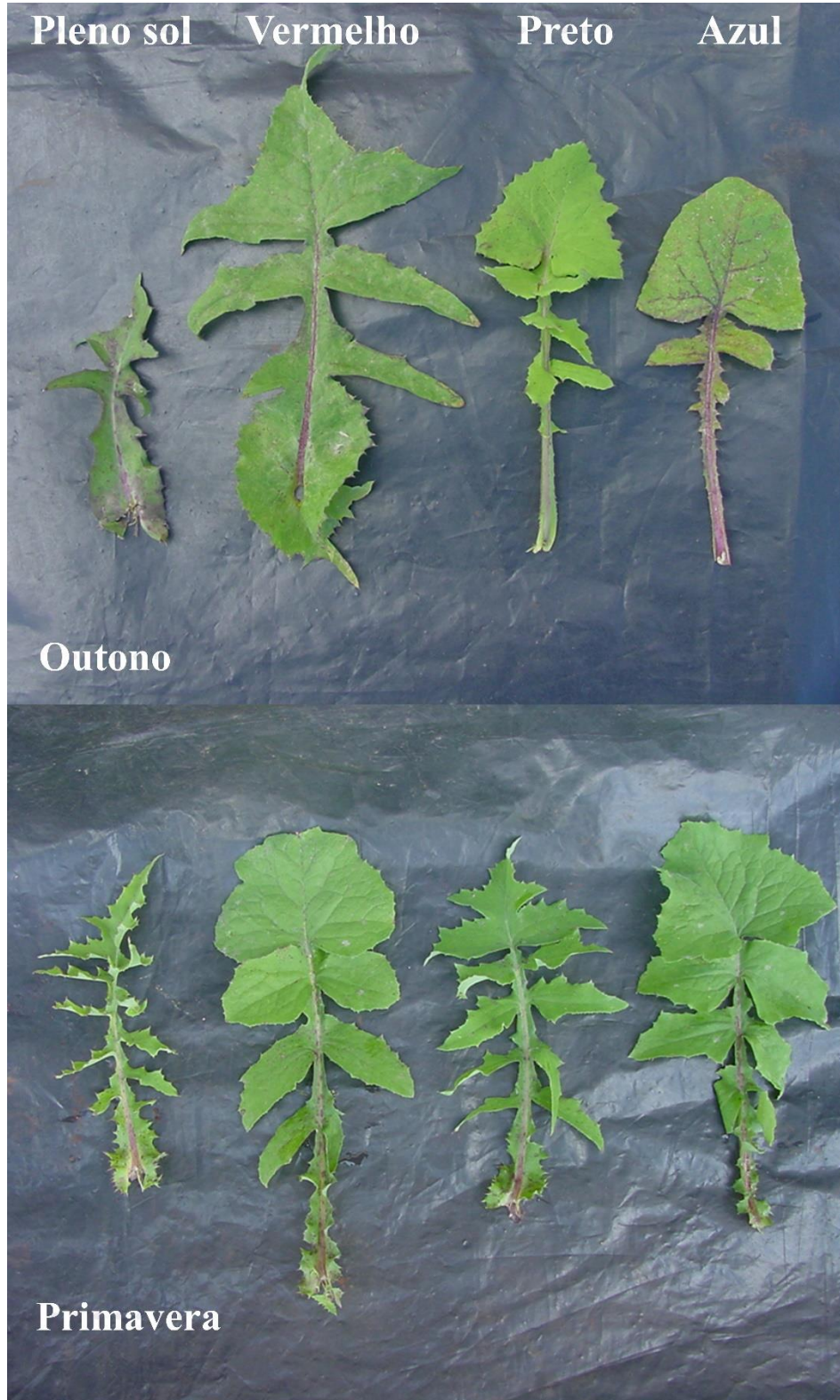
Fonte: Do autor.

Figura 5 – Plantas de serralha (*Sonchus oleraceus*) sob diferentes malhas coloridas, aos 50 dias, oriundas do cultivo na primavera. UFLA - Lavras, 2024.



Fonte: Do autor.

Figura 6 – Folhas de serralha (*Sonchus oleraceus*) sob diferentes malhas coloridas, aos 50 dias, oriundas do cultivo no outono e primavera. UFLA - Lavras, 2024.



Fonte: Do autor.

3.2 Pigmentos fotossintéticos

Os teores de clorofila sob as malhas coloridas afetaram significativamente os teores de pigmentos fotossintéticos em plantas de *Sonchus oleraceus* (Tabela 4). No outono, as plantas sob a malha vermelha possuíam maiores teores de clorofila *a* e clorofila total. Isso pode estar relacionado ao efeito específico da luz vermelha, que melhora intensamente a capacidade fotossintética das plantas sob condições de sombra, regulando positivamente as expressões genéticas de proteínas diferenciais (YANG *et al.*, 2018). No entanto, na primavera, as plantas sob a malha azul continham maiores teores de clorofila total. Esta variação pode ser atribuída às mudanças sazonais e às necessidades adaptativas das plantas em diferentes períodos do ano. Esse resultado corrobora com o trabalho de Marafeli *et al.* (2023) sobre *Digitalis mariana ssp. Heywoodii* e Viana *et al.* (2023) sobre *Lippia gracilis*.

Para os teores de carotenoides, no outono, tanto o pleno sol quanto a malha vermelha mostraram maiores teores. Já na primavera, o pleno sol foi o que apresentou os maiores teores de carotenoides. Comparando as duas épocas de cultivo, o cultivo na primavera mostrou um maior acúmulo de pigmentos fotossintéticos, possivelmente devido a maior disponibilidade de água, nesta época ocorreu uma maior precipitação.

Tabela 4 – Concentração de pigmentos fotossintéticos sob influência de malhas coloridas de *Sonchus oleraceus*, aos 50 dias. UFPA - Lavras, 2024.

Tratamentos	Clorofila <i>a</i> mg g ⁻¹		Clorofila <i>b</i> mg g ⁻¹		Clorofila total mg g ⁻¹		Carotenoides mg g ⁻¹	
	Outono	Primavera	Outono	Primavera	Outono	Primavera	Outono	Primavera
Pleno Sol	0,40 Ab	0,29 Bd	0,38 Aa	0,42 Ac	0,79 Ab	0,72 Ac	0,13 Aa	0,13 Aa
Vermelho	0,60 Aa	0,44 Bb	0,25 Bb	0,54 Ab	0,86 Ba	0,98 Ab	0,14 Aa	0,11 Bb
Preto	0,43 Ab	0,36 Bc	0,32 Ba	0,54 Ab	0,76 Bb	0,91 Ab	0,11 Ab	0,11 Ab
Azul	0,44 Bb	0,55 Aa	0,34 Ba	0,65 Aa	0,78 Bb	1,20 Aa	0,10 Bb	0,12 Ab
CV%	11,41		14,67		6,65		10,81	

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Estudos como o de Jung *et al.* (2021) relatam que o espectro de luz vermelha promove fortes efeitos na fotossíntese, melhorando o funcionamento dos estômatos, fototropismo, fotomorfogênese e aumentando os níveis de pigmento fotossintético. Yu *et al.* (2021) também observou que os espectros de luz vermelha e azul influenciaram o crescimento de *Pteris aspericaulis*, onde a luz vermelha promoveu o alongamento do pecíolo e a luz azul teve um efeito inibitório. As malhas de sombreamento proporcionam um melhor desenvolvimento para as plantas ao aumentar as reservas energéticas e proteger contra a fotoinibição

secundária. A capacidade das plantas de ajustar seus níveis de pigmentos fotossintéticos em resposta às variações de luz é crucial para sua adaptação e crescimento saudável (RIBEIRO *et al.*, 2022).

Os carotenoides também desempenham papéis importantes como antioxidantes nas plantas. Sob condições de estresse, espécies reativas de oxigênio, especialmente oxigênio singlete, são produzidas nos cloroplastos e podem oxidar carotenoides, resultando em uma variedade de produtos oxidados. Alguns desses derivados, como o β -ciclocitral volátil, derivado da oxidação do β -caroteno, são bioativos e podem induzir alterações na expressão gênica, levando à aclimação das plantas a condições de estresse. Este processo demonstra a importância dos carotenoides na proteção das plantas contra danos oxidativos e na regulação do desenvolvimento sob estresse (HAVAUX, 2014). Isso explica o aumento dos teores de carotenoides sob pleno sol no primeiro (outono) e segundo (primavera) cultivo.

Além disso, o cultivo de plantas em área sombreada tende a promover maiores teores de pigmentos fotossintéticos quando comparado com as plantas cultivadas em ambientes com presença de luz. Em plantas de *Salvia officinalis* L., foi observado maior teor de pigmentos fotossintéticos nas folhas na presença de pouca luz, visto que o excesso de luz causa degradação e reduz os níveis de clorofila na planta (ZERVOUDAKIS *et al.*, 2012). Isso evidencia que condições de menor luminosidade podem ser benéficas para a manutenção de altos níveis de pigmentos fotossintéticos, evitando danos causados pela fotoinibição. Esses achados corroboram com os resultados obtidos para *Sonchus oleraceus*, mostrando que diferentes espectros de luz podem ter efeitos no crescimento e desenvolvimento das plantas, dependendo da espécie e das condições de cultivo.

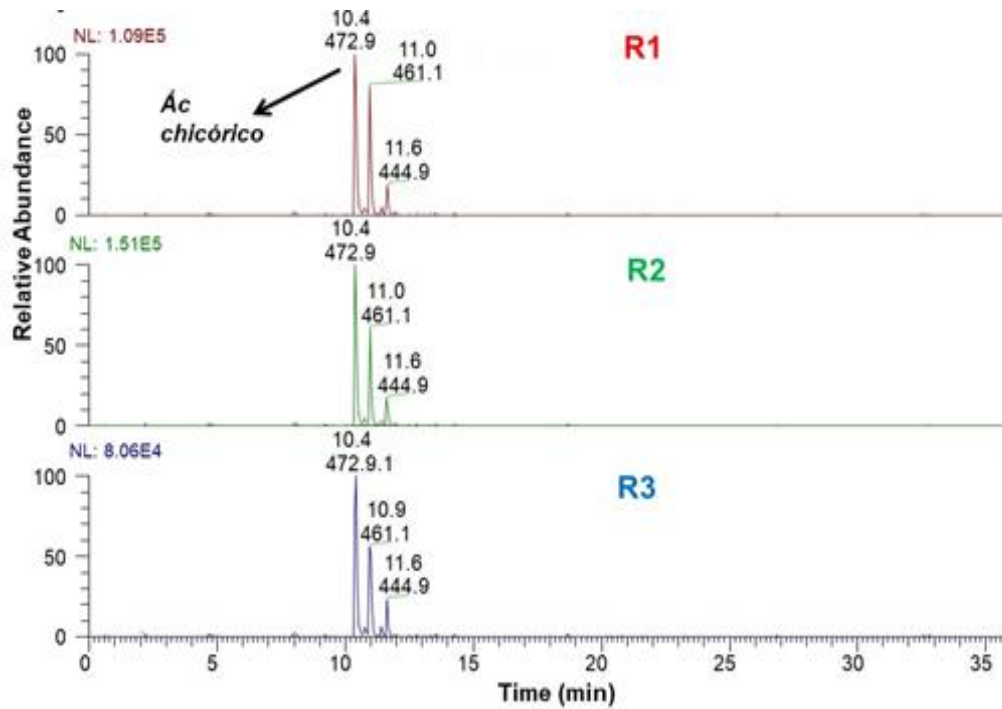
3.3 Caracterização cromatológica do ácido chicórico, doseamento de compostos fenólicos e flavonas/flavonóis totais

3.3.1 Análises cromatográficas

Análises por UHPLC-MS/MS confirmaram de forma inequívoca a presença de ácido chicórico nas amostras. O pico com tempo de retenção (TR) de 10,4 min (Figura 1) apresenta perfil de fragmentação por ESI-MS/MS (FIGURA 2) compatível com o do ácido chicórico. A molécula de ácido chicórico ($C^{22}H^{18}O^{12}$) em modo negativo de análise, gera o íon precursor de m/z 472,9 Da $[M+H]^+$. No espectro ESI-MS/MS do íon m/z 472,9 $[M-H]^+$ (TR 10,4 min), foi possível observar os fragmentos de m/z 311, 293, 179 e 162 característicos dessa

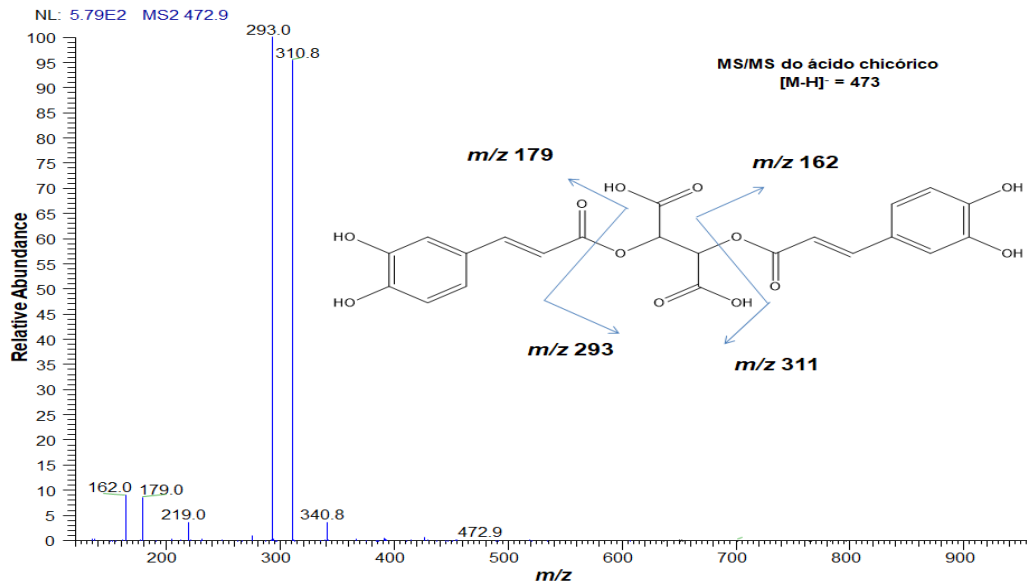
substância (ZHELEVA *et al.* 2023). O fragmento mais abundante de m/z 293 refere-se a perda de uma molécula de água $[M-H-H_2O]^+$ pelo íon precursor protonado.

Figura 7 – Cromatograma obtido por UHPLC-MS/MS (modo negativo) do extrato liofilizado de *Sonchus oleraceus*.



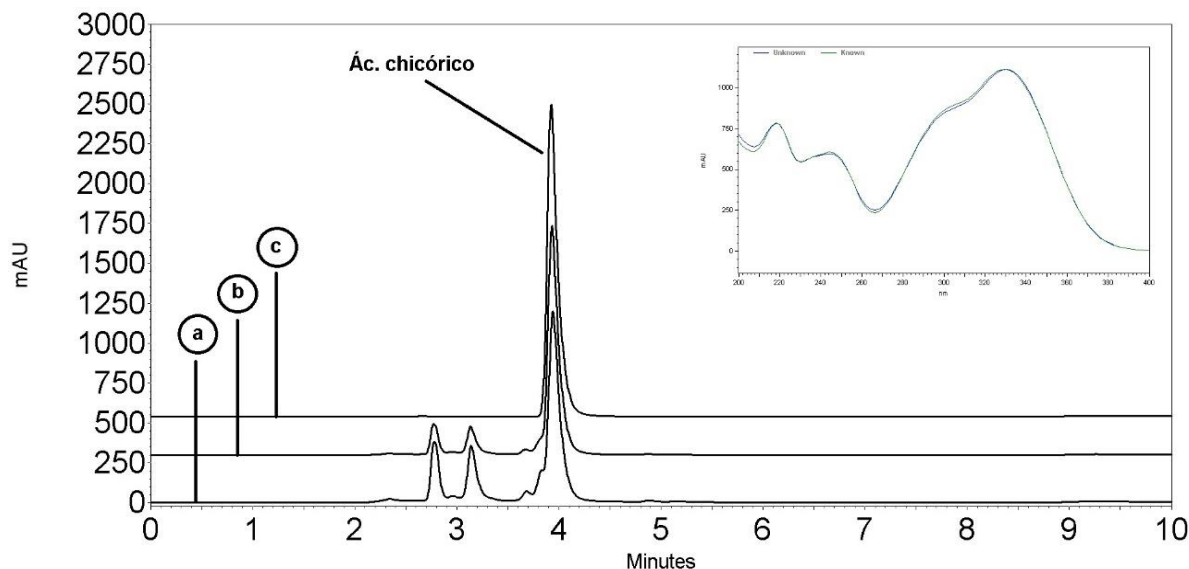
O pico base em m/z 311 indica a perda de uma porção cafeoíla $[M-H-162]^-$. O fragmento em m/z 293 corresponde a perda de uma unidade cafeoíla, seguida de desidratação $[M-H-162-18]^-$. O fragmento em m/z 179 sugere a ocorrência de resíduo de ácido cafeico, devido à perda de uma unidade cafeoiltartárica $[M-H-162-132]^-$ (CARAZZONE *et al.*, 2013). Por fim, o íon fragmento em m/z 162 é característico da perda de um resíduo cafeoila e outro de ácido tartárico $[M-H-162-149]^-$, levando à identificação do ácido dicafeoiltartárico, também conhecido como ácido chicórico (Figura 3).

Figura 8 – Espectro ESI-MS/MS no modo negativo do íon de m/z 473.9 $[M+H]^+$.



A caracterização do ácido chicórico por HPLC-DAD foi realizada a partir da comparação dos tempos de retenção, espectros no UV e co-injeção com padrão. A Figura 3 ilustra a presença de ácido chicórico na amostra pela sobreposição dos tempos de retenção da amostra, da co-injeção e do padrão de ácido chicórico em 3,97 min. O pico corresponde ao ácido chicórico na amostra apresentou homogeneidade espectral com o espectro do pico do padrão, atestando a seletividade do método.

Figura 9 – Perfil cromatográfico do extrato liofilizado de folhas *Sonchus oleraceus*, obtido por HPLC-DAD. A: amostra; B: Co-injeção da amostra com o padrão de ác. chicórico; C: padrão de ácido chicórico. Os espectros no UV foram obtidos on-line pelo detector DAD para a amostra e o padrão ácido chicórico a 320 nm.



3.3.2 Quantificação do ácido chicórico

As curvas analíticas obtidas em dois dias consecutivos indicaram relação linear entre a massa injetada de ácido chicórico (μg) versus a área do pico correspondente, sendo obtidos coeficientes de determinação (R^2) entre 0,9998 e 0,9994. A análise de covariância indicou que as inclinações e os interceptos das duas retas foram equivalentes. Portanto, a equação da reta foi estabelecida com os valores médios, resultando na equação média $y=6.393.280,13x+358.365,83$ e $R^2 = 0,9996$.

As malhas coloridas influenciaram significativamente os teores dos compostos fenólicos totais, flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico (Tabela 5). As plantas de *Sonchus oleraceus* cultivadas sob pleno sol (controle) apresentaram os maiores valores para esses compostos secundários no primeiro cultivo (outono). No entanto, no segundo cultivo (primavera), a malha preta promoveu maior produção desses compostos.

Para flavonas/flavonóis, a malha preta teve os maiores valores no outono, enquanto na primavera, o pleno sol resultou em maiores valores. Essa variação sugere que diferentes condições de temperatura e insolação podem influenciar a produção de metabólitos secundários de maneiras distintas, dependendo do estágio de crescimento e da época do ano (outono/primavera).

Tabela 5 – Análise de fenóis totais, flavonas/flavonóis totais e ácido chicórico de plantas de *Sonchus oleraceus* sob diferentes malhas coloridas, aos 50 dias. UFLA - Lavras, 2024.

Tratamentos	Fenóis		flavonas/flavonóis		Ácido chicórico	
	mg EAG g planta ⁻¹		mg EQ g planta ⁻¹		mg/g planta ⁻¹	
	Outono	Primavera	Outono	Primavera	Outono	Primavera
Pleno Sol	4,49 Aa	2,89 Bb	2,33 Bb	3,25 Aa	15,97 Ab	7,42 Bd
Vermelho	4,10 Ab	2,51 Bc	2,24 Ac	1,43 Bd	6,88 Bd	16,95 Ac
Preto	4,38 Aa	4,38 Aa	2,58 Aa	1,68 Bc	15,13 Bc	25,23 Aa
Azul	3,66 Ac	2,37 Bc	2,24 Ac	1,95 Bb	16,26 Ba	21,22 Ab
CV%	4,86		2,16		0,94	

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

O maior acúmulo de compostos fenólicos e flavonas/flavonóis foi observado no outono, possivelmente devido à maior insolação e irradiância durante essa estação (Tabela 5). Dias longos, com temperaturas noturnas frescas, tendem a impactar positivamente a biossíntese de flavonas/flavonóis, especialmente os flavonóis derivados de quercetina, que aumentam com maior irradiação luminosa (JAAKOLA e HOHTOLA, 2010).

Os compostos fenólicos tiveram maiores teores em plantas sob malha preta no outono e na primavera com 4,38 mg EAG g planta⁻¹ ambas as épocas de cultivo pela baixa intensidade de luz transmitidas as plantas. Redes de sombreamento de cor preta reduzem a intensidade da luz, sem afetar a qualidade da luz, proporcionando menor estresse as plantas (ILIC e FALLIK, 2017).

No outono, a malha preta também resultou em maior acúmulo de flavonas/flavonóis (2,58 EQ/g planta⁻¹), enquanto na primavera, o pleno sol promoveu maiores teores desses compostos (3,25 EQ/g planta⁻¹). O estresse oxidativo causado pela maior irradiância em pleno sol é um fator que intensifica a síntese de polifenóis, como ácidos fenólicos e flavonoides, uma resposta adaptativa ao estresse abiótico, ativando a via biossintética dos fenilpropanoides (SHARMA *et al.*, 2019).

Para ácido chicórico a malha azul proporcionou maior acúmulo no outono (16,26 mg/g planta⁻¹), enquanto na primavera, a malha preta foi mais eficaz (25,23 mg/g planta⁻¹). Malhas de sombreamento pretas e azuis têm o potencial de aumentam os compostos fenólicos e o metabolismo secundários de plantas potencialmente ajudando-as a lidar com o estresse (LIMA *et al.*, 2019; OUZOUNIS *et al.*, 2014). As plantas de *Sonchus oleraceus* cultivadas sob essas malhas coloridas se mostraram uma alternativa promissora como fonte natural de

ácido chicórico, com concentrações comparáveis à principal fonte natural, *Echinacea purpurea* (L.), que varia de 16,80 a 24,30 mg/g (SAEED *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2022).

Além disso, os compostos fenólicos são metabólitos secundários encontrados mais abundantemente nas plantas. Essas moléculas aromáticas desempenham papéis importantes, como pigmentos, antioxidantes, agentes sinalizadores, elementos estruturais (lignina) e mecanismos de defesa. A expressão de compostos fenólicos é promovida por estresses bióticos e abióticos (por exemplo, herbívoros, patógenos, temperatura, pH desfavoráveis, estresse salino, estresse por metais pesados e radiação UVB e UVA). Esses compostos são formados pela via do chiquimato em plantas e microrganismos superiores (SANTOS *et al.*, 2019).

No geral, determinados comprimentos de onda espectral podem aumentar a atividade enzimática da planta e, conseqüentemente, melhorar o sistema de defesa celular, propiciando a proteção contra danos oxidativos (JUNG *et al.*, 2021). Esses compostos desempenham papéis cruciais na defesa contra estresses ambientais e na manutenção da saúde da planta. A utilização de diferentes espectros de luz para otimizar a produção de metabólitos secundários pode ser uma estratégia eficaz na horticultura, proporcionando plantas mais saudáveis e com maior conteúdo de compostos benéficos.

3.4 Análise dos componentes principais (PCA)

A Análise dos Componentes Principais (PCA) foi utilizada para simplificar a complexidade do conjunto dos dados para facilitar a visualização dos dados. E assim, identificar as interações existentes entre as variáveis de respostas e época de cultivo utilizada. As Figuras A e B mostram o gráfico da PCA, que apresenta a correlação matricial de 14 variáveis relacionadas ao crescimento vegetativo, pigmentos fotossintéticos, fenóis, flavonas/flavonóis e ácido chicórico. Estes gráficos explicam 92,23% da variação total no outono e 92,85% na primavera.

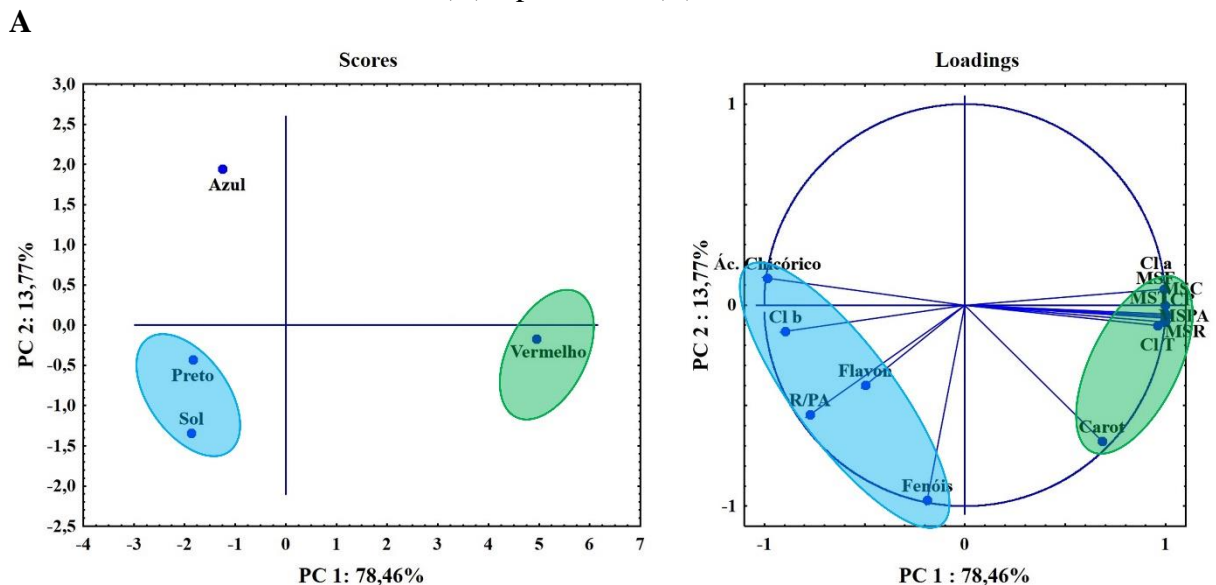
Assim, com o uso das PC1 e PC2 foi possível identificar a separação dos tratamentos em dois grupos no Outono e três grupos na Primavera. No Outono foi possível observar uma diferenciação: Grupo 1: entre plantas cultivadas sob pleno sol; Grupo 2: plantas cultivadas sob malha vermelha. Na Primavera foi possível observar uma diferenciação: Grupo 1: entre plantas cultivadas sob pleno sol; Grupo 2: plantas cultivadas sob vermelha e azul; Grupo 3: entre as plantas cultivadas sob malha preta.

A PCA do período de outono destaca que as plantas cultivadas sob malha preta (Grupo 1) influenciaram os teores de ácido chicórico, flavonas/flavonóis, fenóis, clorofila b (Clb) e a razão entre raiz e parte aérea (R/PA). No Grupo 2, a malha vermelha influenciou os teores de carotenoides, clorofila a (Cla), clorofila total (CT), comprimento da planta (CP), e matéria seca da folha (MSF), do caule (MSC), da parte aérea (MSPA), da raiz (MSR) e total (MST). A malha azul não teve uma influência significativa nas variáveis estudadas durante o outono.

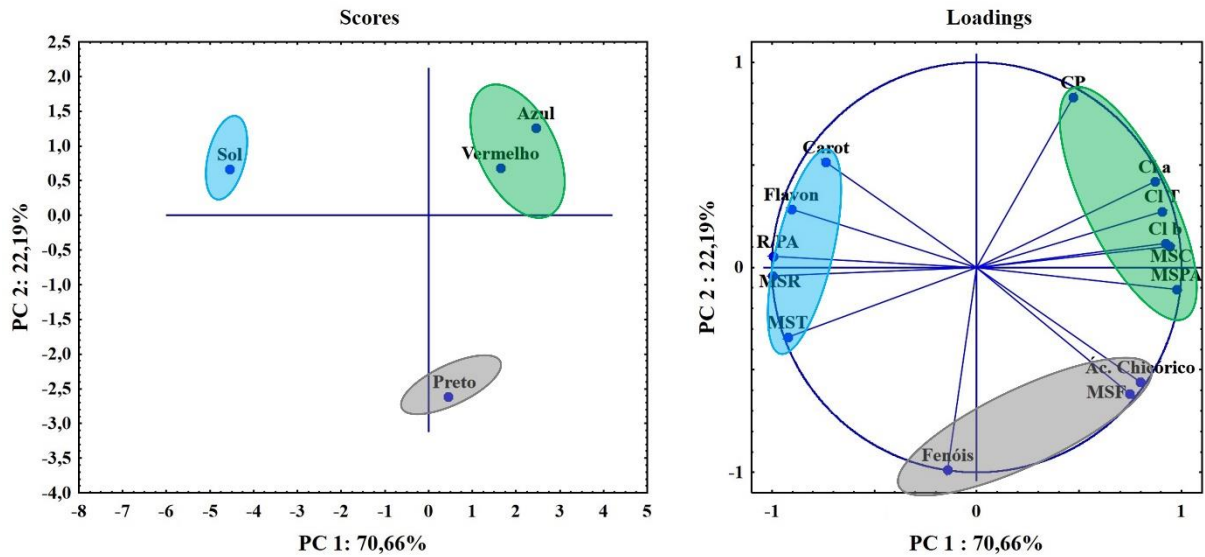
A PCA do período da Primavera as plantas cultivadas sob pleno sol (Grupo 1) obtiveram o maior teor de carotenoides e flavonas/flavonóis e acumularam maior matéria seca de raiz (MSR), total (MST) e relação raiz e parte aérea (R/PA). No grupo 2 sob a malha preta as plantas acumularam maior matéria seca de folha (MSF) e maior teor de ácido chicórico e fenóis. E as malhas vermelha e azul (Grupo 2) influenciaram positivamente sobre as variáveis: comprimento da planta (CP), clorofilas (*a*, *b* e total), matéria seca do caule (MSC), matéria seca da parte aérea (MSPA).

Os resultados da PCA corroboram e complementam as análises estatísticas e interpretações anteriores. O agrupamento das variáveis identifica em contexto amplo que as malhas e a época de cultivo influenciaram sobre as principais variáveis de produção e compostos secundários do cultivo de serralha.

Figura 10 – Análise de componentes principais (PCA) da correlação da matriz construída usando parâmetro de crescimento e teor de metabólitos avaliados de serralha cultivada no outono (A) e primavera (B) cultivo com malhas coloridas.



B



4 CONCLUSÃO

No primeiro (Outono) e no segundo cultivo (Primavera), a malha vermelha promoveu maior produção de matéria seca da parte aérea. A produção de pigmentos fotossintéticos variou com a malha vermelha sendo mais eficaz na primeira época e a malha azul e vermelha no segundo cultivo (Primavera). A malha preta e o cultivo a pleno sol promoveram a maior produção de compostos fenólicos no outono, enquanto na primavera, a malha preta resultou nos maiores teores desses compostos. A produção de flavonas/flavonóis foi mais elevada sob a malha preta no outono e a pleno sol na primavera. Para o ácido chicórico, os maiores teores foram observados sob a malha azul no outono e sob a malha preta na primavera. O uso de malhas de sombreamento coloridas se mostrou essencial para otimizar a produção de biomassa e compostos bioativos em plantas de *Sonchus oleraceus*.

5 REFERÊNCIAS

- AISSANI, F. *et al.* Algerian *Sonchus oleraceus* L.: A comparison of different extraction solvents on phytochemical composition, antioxidant properties, and anticholinesterase activity. **Advances in Traditional Medicine**, p. 1-12, 2022.
- ALVARENGA, I. C. A. *et al.* *In vitro* culture of *Achillea millefolium* L.: quality and intensity of light on growth and production of volatiles. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 122, n. 2, p. 299-308, 2015.
- ARAÚJO, D. X. *et al.* Photon flux density and wavelength influence on growth, photosynthetic pigments and volatile organic compound accumulation in *Aeollanthus suaveolens* (Catinga-de-mulata) under *in vitro* conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 168, p. 113597, 2021.
- BASTÍAS, R. M. *et al.* Red and blue nets alter leaf morphological and physiological characteristics in apple trees. **Plants**, v. 10, n. 1, p. 127, 2021.
- BOTELLA, M. Á. *et al.* Chemical Composition of Wild Collected and Cultivated Edible Plants (*Sonchus oleraceus* L. and *Sonchus tenerrimus* L.). **Plants**, v. 13, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13020269>.
- BRANT, R. D. S. *et al.* Growth, content and composition of lemon balm essential oil cultivated under color shading nets. **Cienc. Rural**, 2009, 39, 1401-1407.
- CARAZZONE, C. *et al.* Identification of phenolic constituents in red chicory (*Cichorium intybus*) salads by high-performance liquid chromatography with diode-array detection and tandem mass spectrometry with electrospray ionization. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 1062-1071, 2013.
- CARVALHO, A. A. *et al.* Influence of light spectra and elicitors on growth and ascaridole content using *in vitro* cultures of *Dysphania ambrosioides* L. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 143, n. 2, p. 277-290, 2020.
- CASIERRA-POSADA, F.; PEÑA-OLMOS, J. E. Modificaciones fotomorfogénicas inducidas por la calidad de la luz en plantas cultivadas. **Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, físicas y Naturales**, v. 39, p. 84-92, 2015.
- CHAGAS, J. H. *et al.* Production, content and chemical composition of essential oil of mint cultivated under color shading nets. **Hort. Bras.** 2013, 31, 297-303.
- CHMURA, Daniel J. *et al.* Plasticity in seedling morphology, biomass allocation and physiology among ten temperate tree species in response to shade is related to shade tolerance and not leaf habit. **Plant Biology**, v. 19, n. 2, p. 172-182, 2017.
- CIOĆ, M. e PAWŁOWSKA, B. Leaf Response to Different Light Spectrum Compositions during Micropropagation of *Gerbera* Axillary Shoots. **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 1832, 2020.

- COELHO, A. D. *et al.* Wavelength and light intensity enhance growth, phytochemical contents and antioxidant activity in micropropagated plantlets of *Urtica dioica* L. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 145, n. 1, p. 59-74, 2021.
- DI, Q. *et al.* Combination of Red and Blue Lights Improved the Growth and Development of Eggplant (*Solanum melongena* L.) Seedlings by Regulating Photosynthesis. **Journal of Plant Growth Regulation**, p. 1-16, 2020.
- DÍAZ-PÉREZ, J. C.; JOHN, K. St. P. Bell pepper (*Capsicum annum* L.) under colored shade nets: Plant growth and physiological responses. **HortScience**, v. 54, n. 10, p. 1795-1801, 2019.
- DOU, H.; NIU, G.; GU, M. Photosynthesis, morphology, yield, and phytochemical accumulation in basil plants influenced by substituting green light for partial red and/or blue light. **HortScience**, v. 54, n. 10, p. 1769-1776, 2019.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- HAVAUX, M. Carotenoid oxidation products as stress signals in plants. *The Plant Journal*, v. 79, n. 4, p. 597-606, 2014.
- HE, C. *et al.* Light quality affects the proliferation of *in vitro* cultured plantlets of *Camellia oleifera* Huajin. **PeerJ**, v. 8, p. e10016, 2020.
- HISCOX, J.; ISRAELSTAM, G. F. Different methods of chlorophyll extraction. **Can. J. Bot.** 57, n. 1332-1332, 1979.
- HONORATO, A. C. *et al.* Colored shade nets and different harvest times alter the growth, antioxidant status, and quantitative attributes of glandular trichomes and essential oil of *Thymus vulgaris* L. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 35, p. 100474, 2023.
- HUNG, C. D. *et al.* *In vitro* proliferation and ex vitro rooting of microshoots of commercially important rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) using spectral lights. **Scientia Horticulturae**, v. 211, p. 248-254, 2016.
- ILIĆ, Z. S.; FALLIK, E. Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 139, p. 79-90, 2017.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). 2024. Dados meteorológicos. Disponível em: [<https://bdmep.inmet.gov.br/>]. Acesso em: 23 de julho de 2024.
- JAAKOLA, L.; HOHTOLA, A. Effect of latitude on flavonoid biosynthesis in plants. **Plant, cell & environment**, v. 33, n. 8, p. 1239-1247, 2010.

- JOHNSON, R. E.; KONG, Y.; ZHENG, Y. Elongation growth mediated by blue light varies with light intensities and plant species: A comparison with red light in arugula and mustard seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, v. 169, p. 103898, 2020.
- JUNG, W. *et al.* Application of Light-Emitting Diodes for Improving the Nutritional Quality and Bioactive Compound Levels of Some Crops and Medicinal Plants. **Molecules**, v. 26, n. 5, p. 1477, 2021.
- LIMA, M. C. *et al.* Plants of *Achillea millefolium* L. grown under colored shading nets have altered secondary metabolism. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 17, n. 2, 2019.
- MARAFELI, E. A. M. *et al.* Photoconverting nets affect plant growth and levels of antiviral glucoevatromonoside and total cardenolides in *Digitalis mariana* ssp. *heywoodii* (P. Silva and M. Silva) Hinz. **Industrial Crops and Products**, v. 204, p. 117348, 2023.
- MELO, A. A. M.; ALVARENGA, A. A. Sombreamento de plantas de *Catharanthus roseus* (L.) G. Don'Pacifica White'por malhas coloridas: desenvolvimento vegetativo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 514-520, 2009.
- MOREIRA, H. J. C.; BRAGANÇA, H. B. N. Manual de identificação de plantas infestantes. **FMC Agricultural Products**, Campinas, p, 2011.
- MORGAN, D. C.; SMITH, H. Simulated sunflecks have large, rapid effects on plant stem extension. *Nature*, London, v. 273, p. 534-536, June 1978.
- MUDAU, A. R.; SOUNDY, P.; MUDAU, F. N. Response of baby spinach (*Spinacia oleracea* L.) to photosensitive nettings on growth and postharvest quality. **HortScience**, v. 52, n. 5, p. 719-724, 2017.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. **Physiologia plantarum**, 15, n. 3, p. 473-497, 1962.
- OUZOUNIS, T. *et al.* Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas. **Journal of plant physiology**, v. 171, n. 16, p. 1491-1499, 2014.
- PEKAL, A.; PYRZYNSKA, K. Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. **Food Analytical Methods**, v. 7, p. 1776-1782, 2014.
<https://doi.org/10.1007/s12161-014-9814-x>.
- REN, X. *et al.* Supplementary light source affects the growth and development of *Codonopsis lanceolata* seedlings. **International journal of molecular sciences**, v. 19, n. 10, p. 3074, 2018.
- RIBANI, M. *et al.* Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, p. 2-10, 2004.

- RIBEIRO, A. S. *et al.* Colored shade nets induced changes in growth, anatomy and essential oil of *Pogostemon cablin*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 02, pág. 1823-1835, 2018.
- RIBEIRO, A. S. *et al.* Light intensities alter growth and essential oil of patchouli under shade nets. **Ciência Rural**, v. 52, n. 5, p. e20210118, 2021. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210118>.
- RIBEIRO, S. F. *et al.* Aspects of photosynthesis and metabolic compounds in seedlings *Talisia esculenta* (A. St. Hil) Radlk under different shading nets. **Revista Agrária Acadêmica**, 2022 <https://doi.org/10.32406/v5n2/2022/92-102/agrariacad>.
- ROEBER, V. M. *et al.* Light acts as a stressor and influences abiotic and biotic stress responses in plants. *Plant, Cell & Environment*, 1-20, 2020. <https://doi.org/10.1111/pce.1394820>.
- SANTIN, M.; RANIERI, A.; CASTAGNA, A. Anything new under the sun? An update on modulation of bioactive compounds by different wavelengths in agricultural plants. **Plants**, v. 10, n. 7, p. 1485, 2021.
- SANTOS-SÁNCHEZ, N. F. *et al.* Shikimic acid pathway in biosynthesis of phenolic compounds. **Physiological Aspects of Phenolic Compounds in Plants**, v. 1, p. 1-15, 2019.
- SHARMA, A. *et al.* Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. **Molecules**, v. 24, n. 13, p. 2452, 2019. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>.
- SINGH, D. *et al.* LEDs for energy efficient greenhouse lighting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 139-147, 2015.
- SINGLETON, V.L.; ROSSI, J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 1, p. 144-158, 1965.
- THWE, A. A. *et al.* Impact of red and blue nets on physiological and morphological traits, fruit yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). **Scientia Horticulturae**, v. 264, p. 109185, 2020.
- VARGAS, V. A. D. *et al.* Mesh Crop Cover Optimizes the Microenvironment in a Tropical Region and Modifies the Physiology and Metabolome in Tomato. **Horticulturae**, v. 9, n. 6, p. 636, 2023.
- VIANA, A. J. S. *et al.* Impact of Colored Shade Nets on Biomass Production, Essential Oil Composition and Orientin and Isoorientin Content in *Lippia gracilis* Schauer. **Chemistry & Biodiversity**, v. 20, n. 10, p. e202300809, 2023

VIANA, A. J. S. *et al.* Impact of Colored Shade Nets on Biomass Production, Essential Oil Composition and Orientin and Isoorientin Content in *Lippia gracilis* Schauer. **Chemistry & Biodiversity**, v. 20, n. 10, p. e202300809, 2023.

WELLBURN, R. W. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of plant physiology**, 144, n. 3, p. 307-313, 1994.

YANG, F. *et al.* Effect of interactions between light intensity and red/far-red ratio on soybean leaf photosynthesis under shading conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 150, p. 79-87, 2018. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2018.03.008>.

YU, R. *et al.* *In vitro* regeneration of the colorful fern *Pteris aspericaulis* var. *tricolor* via green globular bodies system. **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant**, v. 57, n. 2, p. 225-234, 2021.

ZERVOUDAKIS, G. *et al.* Influence of light intensity on growth and physiological characteristics of common sage (*Salvia officinalis* L.). **Brazilian archives of biology and technology**, v. 55, n. 1, p. 89-95, 2012.

ZHANG, H. *et al.* Abiotic stress responses in plants. *Nature Reviews Genetics*, v. 23, n. 2, p. 104-119, 2022.

ZHELEVA, D. D. *et al.* Metabolite profiling and bioactivity of *Cicerbita alpina* (L.) Wallr. (Asteraceae, Cichorieae). **Plants**, v. 12, n. 5, p. 1009, 2023.