

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA

DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA

BACHARELADO EM AGRONOMIA

Patrícia Macedo dos Santos

**INFLUÊNCIA DA BORRA DE CAFÉ NA DINÂMICA DE CRESCIMENTO DA
ALFACE AVALIADA PELA MODELAGEM LOGÍSTICA**

São João Evangelista

2023

PATRÍCIA MACEDO DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DA BORRA DE CAFÉ NA DINÂMICA DE CRESCIMENTO DA
ALFACE AVALIADA PELA MODELAGEM LOGÍSTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista para obtenção do grau de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof.º Dr.º Jonathan da Rocha Miranda.

São João Evangelista

2023

S237i Santos, Patrícia Macedo dos.
Influência da borra de café na dinâmica de crescimento da alface avaliada pela modelagem logística / Patrícia Macedo dos Santos – 2024.
23f.: il.

Orientador: Dr. Prof. Jonathan da Rocha Miranda.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2024.

1. Resíduo orgânico. 2. Crescimento vegetal. 3. Processamento de imagens. 4. Área foliar. I. Santos, Patrícia Macedo dos. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 631.8

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/MG-003372/P


PATRÍCIA MACEDO DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DA BORRA DE CAFÉ NA DINÂMICA DE CRESCIMENTO DA
ALFACE AVALIADA PELA MODELAGEM LOGÍSTICA**


Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista para obtenção do grau de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof.º Dr.º Jonathan da Rocha Miranda.


Aprovado em 19/12/2023 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 JONATHAN DA ROCHA MIRANDA
Data: 21/12/2023 21:42:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Presidente: Dr. Jonathan da Rocha Miranda – IFMG

Documento assinado digitalmente
 TAMIRES PARTELLI CORREIA
Data: 20/12/2023 13:47:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro 1: Dra. Tamires Partélli Correia – IFSUDESTEMG

Documento assinado digitalmente
 ALISON MOREIRA DA SILVA
Data: 20/12/2023 17:33:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro 2: Ms. Alíson Moreira da Silva – ESALQ- USP

São João Evangelista

2023

RESUMO

A crescente produção e descarte de borra de café em estabelecimentos alimentares demanda soluções sustentáveis e inovadoras. Este estudo objetivou investigar o potencial uso da borra de café como adubo orgânico para a cultura da alface (*Lactuca sativa L.*). Foi conduzido um experimento em casa de vegetação, onde diferentes proporções de borra de café foram incorporadas ao substrato de cultivo. Para monitorar o desenvolvimento da cultura, foram adotadas métricas morfológicas tradicionais e uma abordagem alternativa utilizando fotografias de smartphone para estimar a área foliar. Os dados coletados foram modelados através de um modelo logístico, posteriormente aprimorado com uma transformação logarítmica. Os resultados mostraram que, em certas proporções, a borra de café pode ser benéfica para o crescimento da alface, enquanto concentrações mais altas tendem a ser prejudiciais. A modelagem da área foliar revelou uma tendência de crescimento similar nos primeiros 15 dias em todos os tratamentos, divergindo após este período, especialmente nos substratos com maior proporção de borra de café. O método de estimação da área foliar a partir de fotografias de smartphone mostrou-se preciso e confiável, com o modelo logístico apresentando um excelente ajuste aos dados. O tratamento com 5% de adição de borra de café, exibiu a maior capacidade de carga, mas uma taxa de crescimento intrínseco mais baixa e um ponto de inflexão mais tardio. Os resultados reforçam a necessidade de uma abordagem cuidadosa ao incorporar biorresíduos como a borra de café em práticas agrícolas, garantindo que as proporções utilizadas otimizem o crescimento da planta.

Palavras-chave: Resíduo orgânico. Crescimento vegetal. Processamento de imagens. Área foliar.

ABSTRACT

The increasing production and disposal of coffee grounds in food establishments demands sustainable and innovative solutions. This study aimed to investigate the potential use of coffee grounds as organic fertilizer for lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation. An experiment was conducted in a greenhouse, where different proportions of coffee grounds were incorporated into the cultivation substrate. To monitor crop development, traditional morphological metrics and an alternative approach using smartphone photographs to estimate leaf area were adopted. The collected data was modeled using a logistic model, later improved with a logarithmic transformation. The results showed that, in certain proportions, coffee grounds can be beneficial for lettuce growth, while higher concentrations tend to be harmful. Leaf area modeling revealed a similar growth trend in the first 15 days in all treatments, diverging after this period, especially in substrates with a higher proportion of coffee grounds. The leaf area estimation method from smartphone photographs proved to be accurate and reliable, with the logistic model presenting an excellent fit to the data. The treatment with 5% added coffee grounds exhibited the highest carrying capacity, but a lower intrinsic growth rate and a later inflection point. The results reinforce the need for a careful approach when incorporating biowaste such as coffee grounds into agricultural practices, ensuring that the proportions used optimize plant growth.

Keywords: Organic residue. Plant growth. Image processing. Leaf area.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Boxplot das variáveis morfológica da alface em diferentes concentração de doses de café.....	15
Figura 2 - Boxplot da distribuição da massa fresca e massa seca da raiz e folhas da alface em diferente concentração de borra de café.....	16
Figura 3 - Evolução da área foliar da alface registrada em fotografias para diferentes concentração de doses de borra de café.....	17
Figura 4 - Modelo Logístico para o monitoramento da área foliar da alface em diferentes tratamentos de dose de borra de café.....	18
Tabela 1 - Estatística do modelo logístico do crescimento da alface em função da área foliar.....	17

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. METODOLOGIA	10
2.1 Local do estudo	10
2.1 Coleta e Preparação do Biorresíduo de Café	10
2.2 Preparação dos Substratos com Adição de Biorresíduo	10
2.4 Condução do experimento em ambiente protegido	11
2.5 Coleta e calibragem das fotografias	11
2.6 Processamento das fotografias	12
2.7 Análise morfométrica da alface	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4. CONCLUSÃO	20
REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

A borra de café, o subproduto residual após a produção de bebidas à base de café, tem sido historicamente um material descartado em larga escala. A produção global crescente de café resultou em milhões de toneladas de borra de café, que, sem uma destinação adequada, representam um desafio ambiental significativo (KAMIL *et al.*, 2019). As características deste subproduto, como a presença de substâncias orgânicas como ácidos gordos, lignina, celulose, hemicelulose e outros polissacáridos, sugerem potencial para uso agrônômico (LUIZ; MOURA, 2016).

Em uma época em que a sustentabilidade se tornou um pilar central de práticas agrícolas e industriais, a reutilização e reciclagem da borra de café têm sido vistas como uma solução promissora. Além de ser uma alternativa *eco-friendly* para lidar com o resíduo, a borra de café oferece potenciais benefícios ao solo, como a melhoria de suas propriedades físico-químicas, e pode atuar como corretivo orgânico, enriquecendo o solo com nutrientes essenciais (CERVERA-MATA *et al.*, 2018; TOMBARKIEWICZ *et al.*, 2022).

Neste panorama, a alface (*Lactuca sativa* L.) apresenta-se como um exemplo notável para investigação. Esta hortaliça, originária do leste Mediterrâneo e amplamente consumida no mundo, é uma das principais integrantes da dieta de muitas culturas (YURI *et al.*, 2017). Seu cultivo é predominante em várias regiões geográficas e sua importância econômica e nutricional não pode ser subestimada. No entanto, como qualquer planta, a alface tem suas exigências nutricionais e qualquer intervenção no seu substrato de crescimento pode ter implicações diretas em sua saúde e produtividade (CARDOSO *et al.*, 2017).

As métricas morfológicas, que englobam uma variedade de parâmetros como altura da planta, número de folhas, diâmetro do caule, entre outros, desempenham um papel fundamental na caracterização e avaliação do crescimento e desenvolvimento das culturas (FRANCO *et al.*, 2009). A área foliar é uma das métricas morfológicas mais críticas na avaliação do crescimento da planta (FRANCISCO *et al.*, 2014). Ela representa a superfície total disponível para a fotossíntese, o principal motor da produção de energia para a planta. Um aumento na área foliar geralmente indica um crescimento vegetativo saudável e é diretamente proporcional à capacidade da planta de produzir energia através da fotossíntese. Consequentemente, uma área foliar robusta pode ser um indicativo de uma planta saudável que está otimizando sua captação de luz solar e, portanto, potencializando sua produção de biomassa (MELO; SANTOS, 2011).

Tradicionalmente, a medição da área foliar era realizada manualmente ou através de instrumentos especializados, processos que podem ser demorados, trabalhosos e até mesmo invasivos, podendo potencialmente danificar a planta. No entanto, com os avanços tecnológicos recentes, surgiram métodos alternativos mais eficientes e menos invasivos (CONFALONIERI *et al.*, 2013). Uma dessas inovações é o uso de fotografias de smartphones para estimar a área foliar. Este método implica na captura de imagens das folhas e posterior processamento dessas imagens por meio de software específico que analisa e quantifica a área foliar (QU *et al.*, 2021).

Compreendendo a importância das métricas morfológicas na avaliação do crescimento das culturas, torna-se evidente a necessidade de modelos matemáticos que possam descrever, prever e interpretar tais métricas em um contexto dinâmico. Uma dessas abordagens é o Modelo Logístico, amplamente utilizado em estudos de ecologia e agronomia para caracterizar a dinâmica de crescimento das plantas (DEPRÁ *et al.*, 2016; LYRA *et al.*, 2008).

O Modelo Logístico, fundamentalmente, descreve o crescimento de uma população (ou, neste caso, uma métrica de planta como a área foliar) em um ambiente com capacidade de suporte limitada (MARTINAZZO *et al.*, 2015). Apresenta uma fase inicial de crescimento exponencial, seguida de uma desaceleração à medida que se aproxima da capacidade de carga do ambiente, culminando em um crescimento estabilizado. Quando aplicado ao crescimento vegetal, este modelo pode fornecer *insights* cruciais sobre como a planta se ajusta e responde a diferentes condições ambientais e práticas de manejo (PEDÓ *et al.*, 2014).

Portanto, ao combinar métricas morfológicas, como a área foliar, com tecnologias modernas, como a fotografia por smartphone, e modelos matemáticos robustos, como o Modelo Logístico, os agricultores e pesquisadores estão bem equipados para entender profundamente a dinâmica de crescimento das plantas. Essa compreensão é vital para otimizar práticas agrícolas, prever desafios futuros e garantir uma produção agrícola sustentável e eficiente. Assim sendo, o trabalho teve como objetivo principal avaliar a influência da borra de café na dinâmica de crescimento da alface através modelagem logística.

2. METODOLOGIA

2.1 Local do estudo

O estudo foi realizado em uma estufa situada no departamento de horticultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus São João Evangelista (IFMG-SJE), localizado no centro-nordeste de Minas Gerais. Geograficamente, o município de São João Evangelista está posicionado a uma latitude de 18°32'52" S e longitude de 42°45'48" O. Segundo a classificação climática de Köppen e Geiger (1954), a área é caracterizada por um clima tropical, com uma estação seca no inverno e períodos de chuvas durante o verão (classificação CWA). A região tem uma temperatura média anual em torno de 22°C, recebe uma precipitação anual média de 1.180 mm e está a uma altitude de 680 metros acima do nível do mar, conforme dados da Prefeitura Municipal de São João Evangelista (2014).

2.1 Coleta e Preparação do Biorresíduo de Café

O biorresíduo, proveniente da borra de café, foi obtido da Unidade de Alimentação e Nutrição (UAN) do IFMG - Campus São João Evangelista. Esta unidade, frequentada por cerca de 200 alunos diariamente, produz, em média, 25 litros de café por dia, resultando em aproximadamente 2 quilos de borra. Este subproduto, anteriormente descartado, foi identificado como um potencial recurso para o estudo. O material coletado diariamente foi devidamente embalado e identificado. Posteriormente, foi submetido a um processo de secagem em estufa a 60°C, até que alcançasse um nível de umidade constante.

2.2 Preparação dos Substratos com Adição de Biorresíduo

A borra de café seca foi então incorporada a substratos comerciais em diferentes proporções gravimétricas para formar os seguintes tratamentos:

- TB0: Sem adição de borra de café (controle).
- TB5: Adição de 5% de borra de café.
- TB10: Adição de 10% de borra de café.
- TB15: Adição de 15% de borra de café.
- TB20: Adição de 20% de borra de café.

A escolha destas proporções foi baseada na suposição de que o aumento na concentração de biorresíduo pode enriquecer o substrato com nutrientes essenciais, beneficiando o crescimento das plantas.

2.4 Condução do experimento em ambiente protegido

As combinações de solo e borra de café foram alocadas em vasos de PVC, cada um com capacidade para 1 litro. Posteriormente, mudas de *Lactuca sativa* L., com um período de 30 dias desde a semeadura em substrato padronizado, foram transplantadas para estes vasos. Para cada tratamento, foi adotado um conjunto de dez vasos, organizados conforme um delineamento de blocos ao acaso (DBC).

Ao atingir o 60º dia após o processo de transplante, procedeu-se com a colheita e subsequente avaliação dos indicadores de desenvolvimento vegetativo. Dentre os parâmetros analisados, destaca-se: a contagem do número total de folhas aptas para comercialização, medição da altura da planta em centímetros, determinação do diâmetro transversal global da planta (considerando tanto as folhas inferiores quanto a porção central da planta) e mensuração do diâmetro do caule também em centímetros.

Para complementar a análise, coletou-se a massa seca tanto da parte aérea quanto da raiz das plantas. Para tal, as amostras foram submetidas a uma secagem em estufa com circulação forçada de ar, mantendo a temperatura a 65°C. O processo de secagem perdurou até que se atingisse uma constância de peso. A quantificação da massa seca foi realizada utilizando uma balança analítica com precisão de até 0,0001 g.

2.5 Coleta e calibragem das fotografias

A aquisição das imagens foi meticulosamente conduzida em uma bancada estrategicamente posicionada a uma altura de 1,2 m. A altura foi estabelecida para assegurar uma consistência na captura das imagens ao longo do experimento, minimizando variabilidades que poderiam interferir na precisão das medições. O smartphone foi colocado de forma que sua câmera estivesse orientada verticalmente, voltada diretamente para o centro da bancada.

Na base da estrutura, cada planta, pertencente a um tratamento específico, foi posicionada para a captura da imagem. Para garantir que as medições ao longo do tempo fossem consistentemente obtidas da mesma planta, cada uma foi previamente marcada. Esse procedimento assegurou que, ao longo dos 60 dias de experimento, a mesma planta fosse fotografada sob as mesmas condições de posicionamento e altura.

A resolução da imagem foi determinada pela relação entre o número de pixels que abrangiam o diâmetro do vaso e sua dimensão real, que era conhecida como 15 cm. A partir desta relação, a proporção específica de pixels por centímetro foi calculada e posteriormente utilizada na estimativa matemática da área foliar.

2.6 Processamento das fotografias

Foi utilizado processamento de imagens digitais para estimar a área foliar de amostras a partir de fotografias em ambiente python. A biblioteca OpenCV, junto com outras ferramentas programáticas, foi empregada para a análise e processamento das imagens.

Inicialmente, cada imagem foi carregada e convertida para o espaço de cores HSV (Hue, Saturation, Value). A representação HSV é mais intuitiva quando se trata de segmentar cores específicas em uma imagem, especialmente em casos onde a iluminação varia.

Para segmentar a área foliar das imagens, foi definido um intervalo específico para a cor verde no espaço HSV. Uma máscara binária foi criada com base nesses limites. Pixels dentro do intervalo foram definidos como 1 (branco) e pixels fora do intervalo como 0 (preto).

$$M(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } 35 \leq H(x, y) \leq 85 \text{ e } 100 \leq S(x, y) \leq 255 \text{ e } 50 \leq V(x, y) \leq 255 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Em que: M é máscara binária, e H, S e V são canais de matrix, saturação e valor da imagem HSV, respectivamente.

A máscara binária foi então aplicada à imagem original para extrair somente as regiões verdes, resultando em uma imagem "classificada".

$$I_{\text{class}} = I_{\text{RGB}} \odot M$$

Em que, \odot corresponde a operação de multiplicação elemento a elemento.

A área foliar foi então estimada contando o número de pixels brancos (pixels com valor 1) na máscara binária e multiplicando pela resolução ao quadrado, que fornece uma conversão de área de pixel para cm².

$$A = \sum_{x,y} M(x,y) * resolução^2$$

Em que A é a área foliar estimada.

2.7 Análise morfométrica da alface

Foi avaliado as métricas morfológicas empregadas para avaliar a influência da borra de café no crescimento da alface. As variáveis quantitativas escolhidas para a análise compreendem:

- **Altura da planta:** Medida desde a base da planta até sua extremidade mais alta medida por régua graduada;
- **Massa fresca da raiz e folha:** Determinada logo após a coleta da planta, utilizando-se de uma balança analítica.
- **Massa seca da raiz e folha:** Obtida após a desidratação da planta em estufa a 70°C até peso constante.
- **Número de folhas:** Quantificado manualmente, contando-se cada folha saudável presente na planta.
- **Diâmetro do caule:** Medido na base da planta, utilizando-se um paquímetro.

Complementarmente, a área foliar foi calculada a partir de imagens capturadas, conforme metodologia descrita anteriormente. A partir dos valores obtidos de área foliar ao longo do experimento, foi empregado o Modelo Logístico para caracterizar a dinâmica de crescimento das plantas. O modelo é matematicamente representado por:

$$y(t) = \frac{K}{1 + \frac{K - y_0 * e^{-rt}}{y_0}}$$

Em que: $y(t)$ é a área foliar no tempo t , K é a capacidade de carga (área foliar máxima potencial), y_0 é área foliar inicial, r é a taxa de crescimento intrínseco e e é o número de Euler.

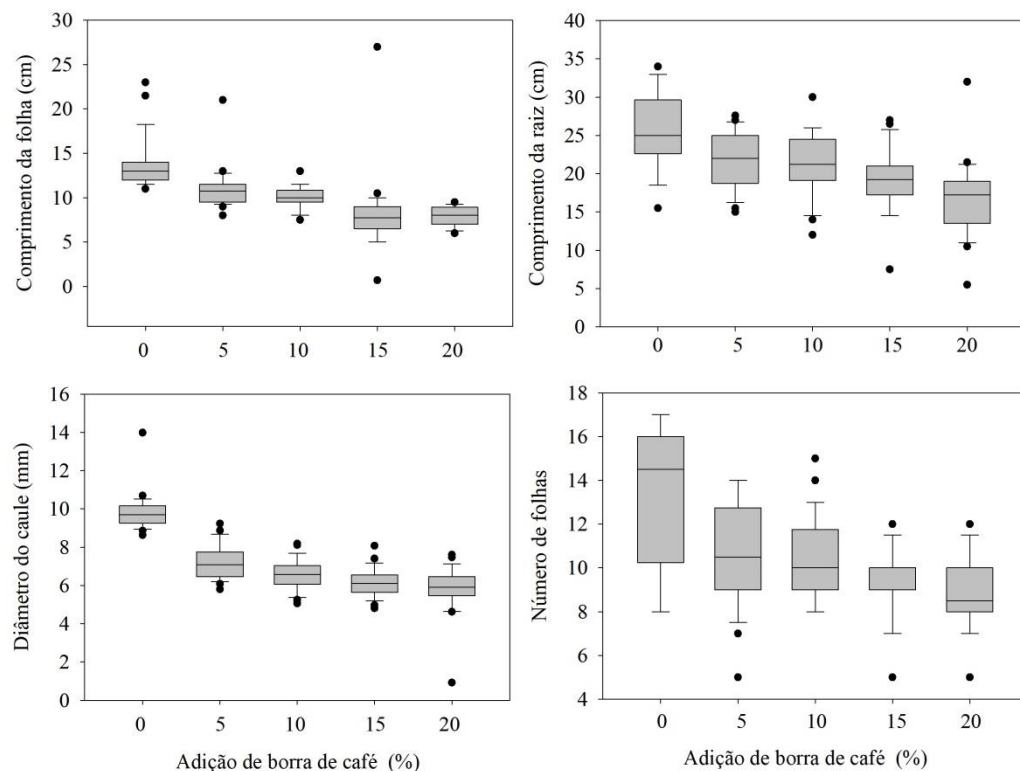
Este modelo foi ajustado aos dados de área foliar ao longo do tempo. O ajuste do modelo permitiu avaliar parâmetros como a taxa de crescimento intrínseco e a capacidade de carga, os quais são indicativos do vigor e potencial de crescimento das plantas sob diferentes tratamentos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo, foi conduzida uma avaliação abrangente do impacto da borra de café sobre diversos parâmetros morfométricos da alface. A análise revelou que a borra de café exerceu uma influência considerável e consistente em todos os parâmetros avaliados.

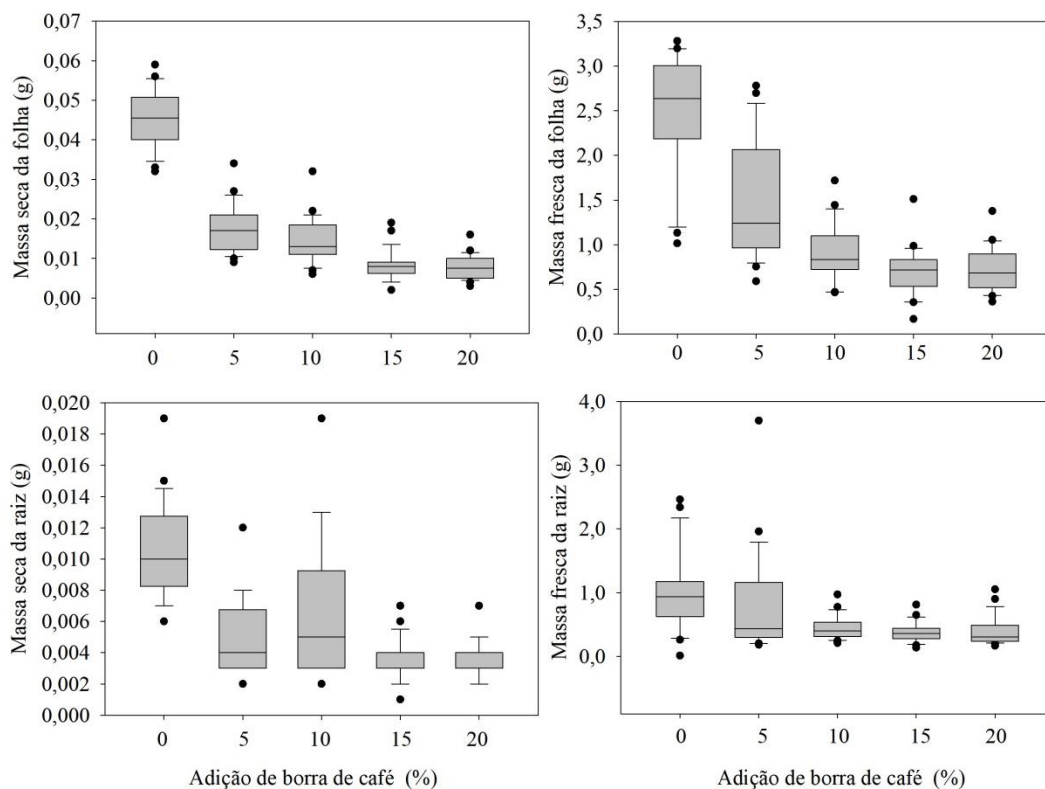
Foi identificado um efeito negativo da borra de café nessas variáveis. A adição de borra de café nos tratamentos resultou em um desenvolvimento reduzido desses componentes, levando a uma morfologia alterada da planta. Isso pode ser interpretado como uma manifestação do efeito inibitório da borra de café sobre o crescimento vegetativo da alface.

Figura 1. Boxplot das variáveis morfométrica da alface em diferentes concentração de doses de café.



Os tratamentos que incorporaram a borra de café apresentaram consistentemente menor desenvolvimento em comparação ao tratamento controle (sem adição de borra). Esta discrepância foi particularmente evidente nas variáveis de massa seca e massa fresca, tanto das folhas quanto das raízes.

Figura 2. Boxplot da distribuição da massa fresca e massa seca da raiz e folhas da alface em diferente concentração de borra de café



A diminuição observada na acumulação de biomassa indica que a borra de café pode ter modificado os mecanismos fisiológicos da alface, possivelmente comprometendo a absorção de nutrientes ou a produção de compostos orgânicos vitais para o seu desenvolvimento. Segundo Moura (2016), a baixa presença de nitrogênio e a acidez reduzida da borra de café podem ser responsáveis por este efeito inibitório.

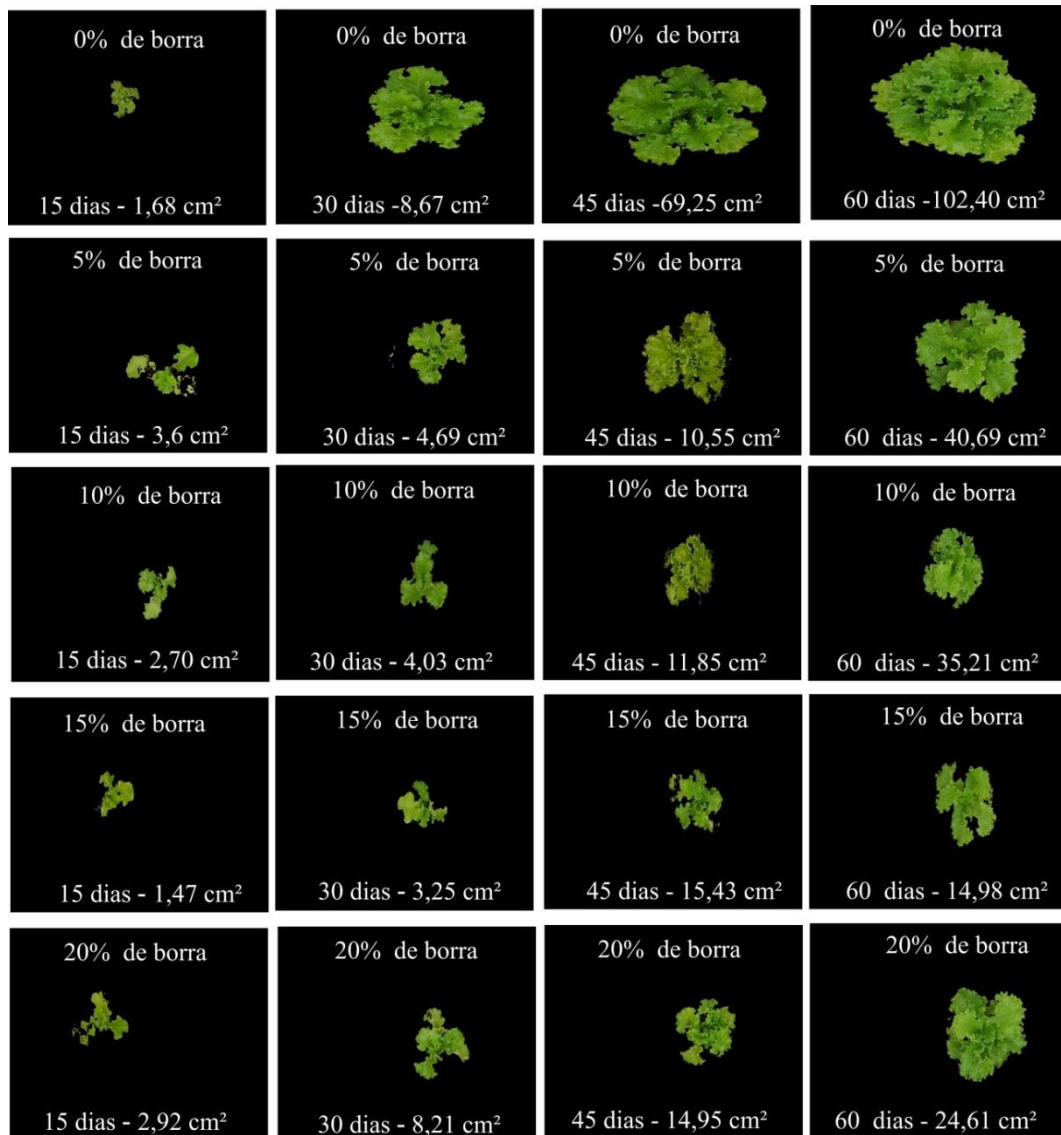
Adicionalmente, a diminuição notada na massa fresca, em contraste com a massa seca, sugere uma potencial alteração na capacidade da planta de reter água. De acordo com estudos recentes, proporções de 5-10% de borra de café no substrato podem influenciar adversamente a altura e a massa fresca da parte superior das plântulas de alface (SILVA *et al.*, 2018).

Os compostos encontrados na borra de café, incluindo cafeína e ácidos orgânicos, podem ter desequilibrado a osmolaridade do solo, complicando a capacidade da planta de absorver e manter água. Adicionalmente, a borra de café pode ter influenciado as características físicas do substrato, impactando sua retenção hídrica e, por sua vez, a disponibilidade hídrica para as raízes da alface. Este impedimento pode estar ligado à salinidade do substrato induzida pela borra de café, que compromete a absorção de água pelas raízes devido à tensão osmótica resultante da diminuição do potencial hídrico no ambiente (FILHO *et al.*, 2020).

Um elemento adicional que merece atenção é a potencial emissão de substâncias alelopáticas pela borra de café. A alelopatia descreve a interação entre plantas mediada pela liberação de compostos químicos, que podem ser benéficos ou prejudiciais, dependendo de sua especificidade e concentração. No contexto da borra de café, é plausível que tais compostos estejam atuando de forma a restringir o crescimento da alface. Compostos como a cafeína e fenóis, intrínsecos ao grão de café, apresentam propriedades alelopáticas, restringindo o crescimento de diversas plantas e espécies (LIMA *et al.*, 2007; ROSA *et al.*, 2006). Estes efeitos podem ser observados em diferentes partes das plantas e em diversas concentrações (LIMA *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2008). De fato, diversos estudos têm documentado o impacto inibitório da borra de café em plantas como tomate, alface, entre outras espécies (ANDRINO, 2016; CIPRIANI *et al.*, 2016; DANTAS, 2011; FAN *et al.*, 2006).

A eficácia da técnica adotada foi claramente evidenciada pela sua capacidade de isolar e destacar a alface nas imagens, mesmo em um cenário potencialmente complexo e com variáveis de fundo. Tal precisão é imperativa, uma vez que pequenos erros na estimativa da área foliar podem levar a interpretações incorretas sobre o desenvolvimento da planta.

Figura 3. Evolução da área foliar da alface registrada em fotografias para diferentes concentração de doses de borra de café.



Nos primeiros 15 dias, a borra de café não pareceu exercer qualquer impacto discernível no crescimento foliar da alface, uma vez que a evolução da área foliar se manteve consistentemente similar entre todos os tratamentos. Este período pode ser interpretado como uma fase de estabilização ou aclimatação, onde a planta ajusta-se ao ambiente e às condições do substrato.

No entanto, após esse período inicial, uma clara divergência surgiu, com os tratamentos contendo borra de café mostrando um declínio acentuado no desenvolvimento foliar em comparação com o tratamento controle. Este resultado sugere que os efeitos adversos da borra de café no desenvolvimento da alface não são imediatos, mas sim cumulativos ao longo do tempo.

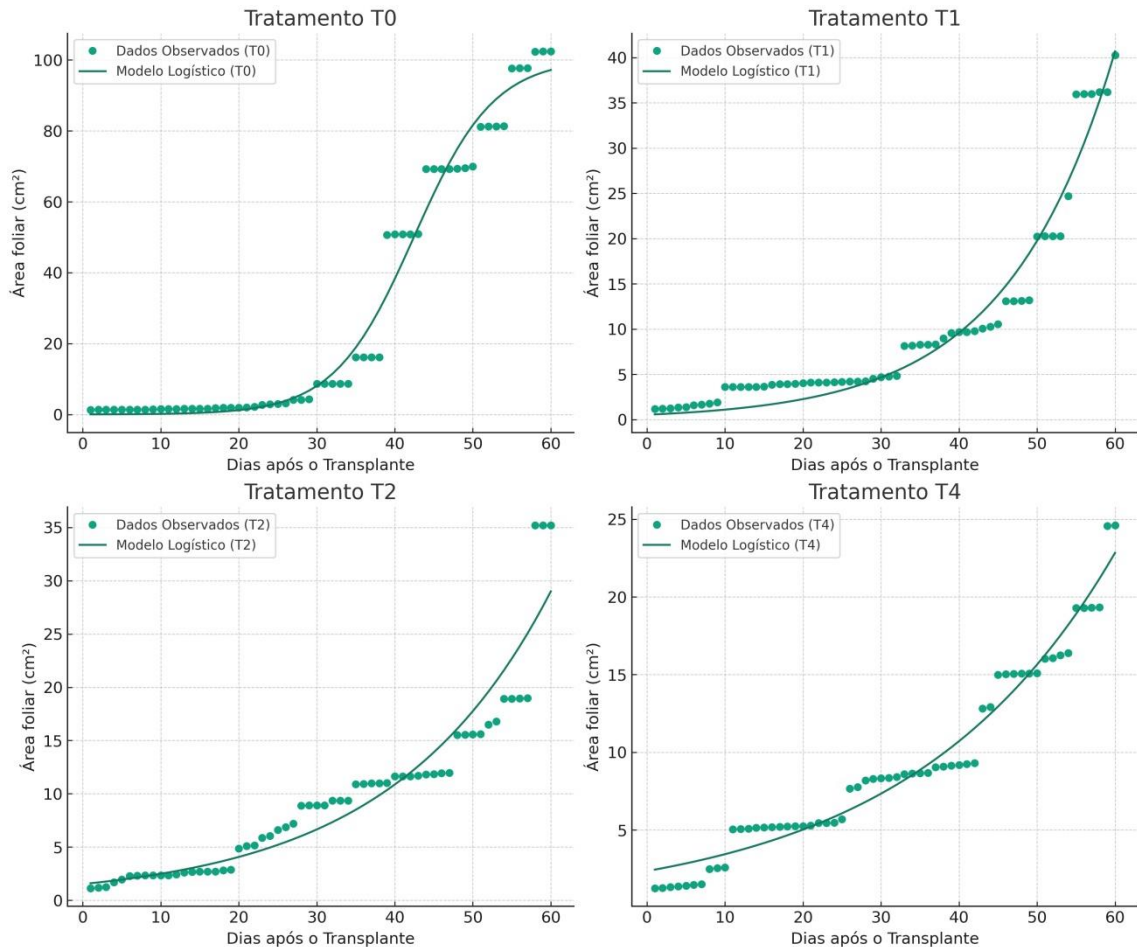
Isso pode ser atribuído à liberação gradual de compostos potencialmente tóxicos ou inibitórios da borra de café no substrato, ou a uma alteração progressiva nas propriedades físicas ou químicas do substrato que afeta adversamente a alface. Conforme Huber (2008), a borra de café não deve ser utilizada como fonte direta de fertilizante orgânico na produção de mudas de *Lactuca sativa L.*, nem na forma indireta, como substrato de café.

O ajuste bem-sucedido do modelo logístico à evolução da área foliar neste estudo reforça sua relevância em contextos agrícolas. Com coeficientes de determinação (R^2) próximos ou superiores a 0,90, o modelo demonstra não apenas a sua adequação, mas também a robustez dos dados coletados e a precisão da metodologia de processamento de imagem adotada.

Tabela 1. Estatística do modelo logístico do crescimento da alface em função da área foliar.

Trat.	L	k	t0	L SE	k SE	t0 SE	R^2	F-statistic	p-value
T0	100.347	0.196	42.475	3.258	0.016	0.564	0.978	14.206	5.02E-07
T1	40.281	0.133	49.065	6.804	0.023	3.105	0.891	2.628	0.058942
T2	35.208	0.072	49.042	10.119	0.014	8.549	0.848	1.786	0.160141
T3	32.093	0.117	44.210	2.145	0.010	1.484	0.969	9.983	2.19E-05
T4	24.617	0.068	41.142	2.958	0.008	4.135	0.932	4.417	0.00733

Figura 4. Modelo Logístico para o monitoramento da área foliar da alface em diferentes tratamentos de dose de borra de café



A dinâmica de crescimento da alfaca, quando submetida a diferentes tratamentos com borra de café e posteriormente modelada utilizando uma transformação logarítmica, revelou nuances importantes. Observou-se que a capacidade de carga, denotada por (L) , é indicativa do potencial máximo de crescimento da planta. Interessantemente, o tratamento T1, que continha uma proporção de borra de café, exibiu a maior capacidade. Esta observação sugere que, em certas proporções, a borra de café pode ser benéfica. No entanto, tratamentos com concentrações mais altas, como T2, T3 e T4, demonstraram uma capacidade de carga reduzida, indicando potenciais efeitos adversos da borra de café no crescimento da alfaca.

A taxa de crescimento intrínseco, representada por (k) , evidenciou que o tratamento controle (T0) e o tratamento T3, que possuía uma proporção específica de borra de café, tiveram as taxas mais elevadas. Por outro lado, os tratamentos T1 e T2 mostraram uma desaceleração no crescimento. O ponto de inflexão, (t_0) , que indica o momento de crescimento máximo, variou entre os tratamentos. Notadamente, o tratamento T1 levou mais tempo para alcançar sua taxa máxima, mesmo apresentando a maior capacidade de carga.

Um estudo investigou o efeito da borra de café fresca na germinação de sementes de rúcula como fertilizante alternativo na agricultura urbana. Os resultados mostraram uma redução progressiva dos nutrientes minerais em plantas de alface cultivadas com borra de café (MAJOLO *et al.*, 2021).

A precisão do modelo foi confirmada pelo coeficiente de determinação, (R^2), que em todos os tratamentos mostrou-se próximo de 1, indicando um excelente ajuste do modelo aos dados observados. Adicionalmente, os altos valores da estatística F e os valores p extremamente baixos reforçam a robustez do modelo e sua relevância estatística.

4. CONCLUSÃO

Podemos concluir que a modelagem logística foi eficiente na avaliação da influência da borra de café na dinâmica de crescimento da alface. Os resultados indicam que, embora a borra de café possa ser uma fonte rica em determinados nutrientes, sua presença, em algumas concentrações, pode afetar adversamente o desenvolvimento da alface. Esta observação é corroborada pelos dados coletados, que mostram uma redução significativa na acumulação de biomassa nas plantas tratadas com borra de café, especialmente nas variáveis de massa seca e fresca das folhas e raízes.

O processamento de imagem, utilizado para determinar a área foliar, provou ser uma ferramenta eficaz e precisa. Esta metodologia, aliada à modelagem logística, permitiu a quantificação e comparação do crescimento da alface entre os diferentes tratamentos. O ajuste do modelo logístico, especialmente após a transformação logarítmica, revelou altos coeficientes de determinação, evidenciando sua adequação aos dados obtidos.

Enquanto a borra de café tem potencial como aditivo no cultivo, sua aplicação deve ser realizada com discernimento, considerando-se as nuances específicas da cultura em questão. Futuras pesquisas nesta área podem se concentrar em otimizar as concentrações de borra de café para diferentes culturas e em entender mais profundamente os mecanismos pelos quais ela afeta o desenvolvimento das plantas.

REFERÊNCIAS

AGRONOMIA, P. D. P.; CLÁUDIA, A.; HUBER, K. Tese Respostas Agronômicas de Alface sob Adubação Orgânica e Cultivo Sucessivo em Ambiente. [s. l.], 2008.

ANDRINO, M. A. Desenvolvimento De Substrato Para Produção De Mudas De Hortaliças a Partir De Resíduos Orgânicos No Ifmg - Campus Bambuí. **Mestrado Profissional em Sustentabilidade em Tecnologia Ambiental**, [s. l.], p. 1–23, 2016.

CARDOSO, E.; MORENO, E.; RODRIGUES, A.; OLIVEIRA, U.; ROSSI, A. GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS DA ALFACE (*Lactuca sativa* L.) EM DIFERENTES EXTRATOS DE *Zingiber officinale* Roscoe. **Enciclopédia Biosfera**, [s. l.], v. 14, n. 25, p. 736–746, 2017.

CERVERA-MATA, A.; PASTORIZA, S.; RUFÍAN-HENARES, J. Á.; PÁRRAGA, J.; MARTÍN-GARCÍA, J. M.; DELGADO, G. Impact of spent coffee grounds as organic amendment on soil fertility and lettuce growth in two Mediterranean agricultural soils. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [s. l.], v. 64, n. 6, p. 790–804, 2018.

CIPRIANI, H. N.; MENDES, A. M.; VIEIRA, A. H.; CHAGAS, J. O. N.; DE SOUZA, N. R.; DE OLIVEIRA, F. F.; SILVA, V. V. Propriedades químicas de substratos compostos de solo, borra de café e húmus de minhoca. [s. l.], 2016.

CONFALONIERI, R.; FOI, M.; CASA, R.; AQUARO, S.; TONA, E.; PETERLE, M.; BOLDINI, A.; DE CARLI, G.; FERRARI, A.; FINOTTO, G.; GUARNERI, T.; MANZONI, V.; MOVEDI, E.; NISOLI, A.; PALEARI, L.; RADICI, I.; SUARDI, M.; VERONESI, D.; BREGAGLIO, S.; CAPPELLI, G.; CHIODINI, M. E.; DOMINONI, P.; FRANCONI, C.; FRASSO, N.; STELLA, T.; ACUTIS, M. Development of an app for estimating leaf area index using a smartphone. Trueness and precision determination and comparison with other indirect methods. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 96, p. 67–74, 2013.

DANTAS, A. M. Materiais orgânicos e produção de alface americana. [s. l.], 2011.

DEPRÁ, M. S.; LOPES, S. J.; NOAL, G.; REINIGER, L. R. S.; COCCO, D. T. Modelo logístico de crescimento de cultivares crioulas de milho e de progênies de meios-irmãos maternos em função da soma térmica. **Ciencia Rural**, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 36–43, 2016.

FAN, L.; SOCCOL, A. T.; PANDEY, A.; VANDENBERGHE, L. P. D. S.; SOCCOL, C. R. Effect of caffeine and Tannins on cultivation and fructification of *Pleurotus* on coffee husks. **Brazilian Journal of Microbiology**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 420–424, 2006.

FILHO, S. T.; DA PAIXÃO, C. P. S.; DA SILVEIRA MARANHÃO, F.; FRANCO, H. A. Evaluation of the impact of solubilized extract of coffee waste on the germination of lettuce seeds. **Fronteiras**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 414–423, 2020.

FRANCISCO, J. P.; DIOTTO, A. V.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, L. D. B. da; PIEDADE, S. M. de S. Estimativa da área foliar do abacaxizeiro cv. Vitória por meio de relações alométricas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 285–293, 2014.

FRANCO, N. V.; CASTRO, A.; CARDILLO, M.; CHARLIN, J. La importancia de las variables morfológicas, métricas y de microdesgaste para evaluar las diferencias en diseños de puntas de proyectil bifaciales pedunculadas: Un ejemplo del sur de patagonia continental. **Magallania**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 99–112, 2009.

KAMIL, M.; RAMADAN, K. M.; AWAD, O. I.; IBRAHIM, T. K.; INAYAT, A.; MA, X. Environmental impacts of biodiesel production from waste spent coffee grounds and its implementation in a compression ignition engine. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 675, p. 13–30, 2019.

LIMA, J. D.; MORAES, W. D. S.; DE MENDONÇA, J. C.; NOMURA, E. S. Agroindustry residues of the black tea as substrate for growing seedlings of vegetable crops. **Ciencia Rural**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 1609–1613, 2007.

LUIZ, C.; MOURA, D. E. **Universidade Tecnológica Federal Do Paraná Mestrado Profissional Em Tecnologia De Alimentos Extração E Caracterização Da Composição Lipídica Da Borra De Café E O Estudo Do Potencial Aproveitamento Deste Resíduo**. [S.

l.]: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; MOURA FILHO, G. Modelo de Crescimento Logístico e Exponencial para o Milho BR 106, em Três Épocas de Plantio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [*s. l.*], v. 7, n. 3, p. 211–230, 2008.

MAJOLO, L.; COSTA, D. T. da; AZEVEDO, C. F. de. Influência Da Borra De Café Fresca Na Germinação De Sementes De Rúcula Como Alternativa De Fertilizante Na Agricultura Urbana. **Agroecologia: Métodos e Técnicas Para Uma Agricultura Sustentável - Volume 2**, [*s. l.*], v. 15, n. 2, p. 182–188, 2021.

MARTINAZZO, E. G.; PERBONI, A. T.; POSSO, D. A.; AUMONDE, T. Z.; BACARIN, M. A. Growth analysis partitioning of assimilate in tomato plants cv. Micro-Tom submitted to nitrogen and pyraclostrobin. **Semina: Ciências Agrárias**, [*s. l.*], v. 36, n. 5, p. 3001–3012, 2015.

MELO, E. F. R.; SANTOS, O. S. dos. Growth and production of nasturtium flowers in three hydroponic solutions. **Horticultura Brasileira**, [*s. l.*], v. 29, n. 4, p. 584–589, 2011.

OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. de S.; DE SOUZA, C. A. M.; SILVA, S. de A.; MARTINS FILHO, S. Yield of seedling species forestry of four using different substrates and development in field. **Ciência e Agrotecnologia**, [*s. l.*], v. 32, n. 1, p. 122–128, 2008.

PEDÓ, T.; AUMONDE, T. Z.; MARTINAZZO, E. G.; VILLELA, F. A.; LOPES, N. F.; MAUCH, C. R. Análise de crescimento de plantas de rabanete submetidas a doses de adubação nitrogenada. **Bioscience Journal**, [*s. l.*], v. 30, n. 1, p. 1–7, 2014.

QU, Y.; WANG, Z.; SHANG, J.; LIU, J.; ZOU, J. Estimation of leaf area index using inclined smartphone camera. **Computers and Electronics in Agriculture**, [*s. l.*], v. 191, p. 106514, 2021.

ROSA, S. D. V. F.; DOS SANTOS, C. G.; PAIVA, R.; DE MELO, P. L. Q.; VEIGA, André Delly; VEIGA, Adriano Delly. Inibição do desenvolvimento in vitro de embriões de Coffea

por cafeína exógena. **Revista Brasileira de Sementes**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 177–184, 2006.

SILVA, A. V. da; WANGEN, D. R. B.; FILHO, J. F. S.; PEREIRA, K. C.; SOUZA, L. G. de; DUARTE, I. N. COMPOSTO DE BORRA DE CAFÉ NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE (*Lactuca sativa* L.). **Solos nos biomas brasileiros**, [s. l.], v. 11, n. 22, p. 129–137, 2018.

TOMBARKIEWICZ, B.; ANTONKIEWICZ, J.; LIS, M. W.; PAWLAK, K.; TRELA, M.; WITKOWICZ, R.; GORCZYCA, O. Chemical properties of the coffee grounds and poultry eggshells mixture in terms of soil improver. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 2592, 2022.

YURI, J. E.; RESENDE, G. M.; COSTA, N. D.; GOMES, A. S. Desempenho agronômico de genótipos de alface americana no submédio do vale do são francisco. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 292–297, 2017.