

Curso Superior de Bacharelado em Agronomia

MIKAEL LAURINDO DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO NA ALFACE CRESPA (CV. VANDA) CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO NFT POR MEIO DE VISÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISES MANUAIS.

Planaltina - DF

2026

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO NA ALFACE CRESPA (CV. VANDA) CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO NFT POR MEIO DE VISÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISES MANUAIS.

Mikael Laurindo dos Santos [1]

Nilton Nélio Cometti [2]

RESUMO

LAURINDO, Mikael. Avaliação de diferentes níveis de sombreamento na alface crespa (cv. Vanda) cultivada em sistema hidropônico NFT por meio de visão computacional e análises manuais. 2026. Artigo (Bacharelado em Agronomia) — Instituto Federal de Brasília, Brasília, 2026.

O presente estudo avalia um sistema automatizado de visão computacional frente a diferentes níveis de sombreamento em um sistema hidropônico do tipo *Nutrient Film Technique* (NFT), sendo 0%, 35%, 50% e 75%, utilizando a alface crespa cv. Vanda. O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino e Produção (UEP) do Instituto Federal de Brasília — *Campus* Planaltina, entre abril e maio de 2026, em delineamento em blocos casualizados, com 4 tratamentos (0%, 35%, 50% e 75%) e 3 blocos. Foram desenvolvidos dois sistemas em linguagem de programação Python, um sistema de monitoramento com câmeras e outro para o processamento das imagens. Para o sistema automatizado de monitoramento, utilizaram-se câmeras do tipo webcam simples, com ângulo de visão de 120°, dispostas no início de cada parcela dos quatro tratamentos do bloco 2, com registros de imagem realizados a cada 1 hora, no intervalo das 7h às 17h. Posteriormente, as imagens capturadas diariamente processadas foram encaminhadas ao sistema de monitoramento para processamento e identificação da área foliar para comparar com as análises manuais (escaneamento) nos 4, 8, 12 e 16 dias após o transplantio das mudas aos canais principais. Utilizou-se análise de variância (ANOVA), teste de Tukey com médias significativas a 5% e curvas de regressão para comparar e calibrar o sistema automatizado. Observou-se que o sistema automatizado apresenta bom desempenho em horários do dia com maior iluminação e boa visualização das mudas, porém precisa ser calibrado e precisa de melhorias em seu algoritmo. As avaliações manuais indicaram que o melhor sombreamento é de 35% e 50%, representando respectivamente os tratamentos é o T2 e T3, apesar de não ter apresentado diferença estatística ao nível de 5% de significância. O tratamento T1 apresentou menor desempenho para o crescimento das mudas por estar em pleno sol e o tratamento 4 mostrou maior altura das plantas, ação fisiológica de estiolamento das plantas.

Palavra-chave: Hidroponia, sombreamento, visão computacional, Python.

[1] Graduando em Agronomia pelo Instituto Federal de Brasília — *Campus* Planaltina. E-mail: laurindomikael@gmail.com

[2] Professor no Instituto Federal de Tecnologia e Educação de Brasília — *Campus* Planaltina. Doutor em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. E-mail: nilton.cometti@ifb.edu.br.

ABSTRACT

This study evaluated an automated computer vision system against different shading levels in a Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic system, specifically 0%, 35%, 50%, and 75%, using curly lettuce cv. Vanda. The experiment was conducted at the Teaching and Production Unit (UEP) of the Federal Institute of Brasília — *Planaltina* Campus, between April and May 2026, in a randomized block design with 4 treatments (0%, 35%, 50%, and 75%) and 3 blocks. Two systems were developed in the Python programming language: a monitoring system with cameras and another for image processing. For the automated monitoring system, simple webcams with a 120° viewing angle were used, positioned at the beginning of each plot of the four treatments in block 2, with image recordings performed every hour, between 7 am and 5 pm. Subsequently, the processed images captured daily were sent to the monitoring system for processing and identification of leaf area to compare with manual analyses (scanning) at 4, 8, 12, and 16 days after transplanting the seedlings to the main channels. Analysis of variance (ANOVA), Tukey's test with significant means at 5%, and regression curves were used to compare and calibrate the system automatically. Note that the automated system performs well during times of day with higher illumination and good visualization of changes, but it needs calibration and improvements in its algorithm. Manual queries indicated that the best shading is 35% and 50%, representing treatments T2 and T3 respectively, although no statistical difference was found at the 5% significance level. Treatment T1 showed lower performance for seedling growth due to being in full sun, and treatment T4 showed greater plant height, a physiological action of plant etiolation.

Keywords: Hydroponics, shading, computer vision, Python.

1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa*) é uma das hortaliças folhosas mais cultivadas no Brasil, destacando-se pela alta produtividade e pelo amplo consumo em diferentes preparações em diversas regiões do país. De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, a produção nacional foi estimada em cerca de 670 mil toneladas, com valor aproximado de 1,2 bilhão de reais. No Distrito Federal, a produção registrada foi de 16.134 toneladas, evidenciando o potencial econômico dessa cultura (IBGE, 2017). Entretanto, o cultivo da alface demanda cuidados constantes, como o monitoramento das condições climáticas e ajustes frequentes no manejo. Nesse contexto, o cultivo protegido aliado à técnica da hidroponia surge como uma alternativa eficiente para otimizar a produção e proporcionar maior controle das condições de cultivo.

O cultivo hidropônico é uma técnica amplamente difundida em diversos países, sendo viável para a produção de alimentos saudáveis mesmo em espaços limitados. No Brasil, a técnica NFT (*Nutrient Film Technique*) é amplamente utilizada devido aos seus benefícios significativos na produção de vegetais. Essa técnica consiste no preparo de uma solução nutritiva que circula, em determinado intervalo de tempo, pelos canais hidropônicos, nutrindo as plantas por meio de um filme de solução nutritiva bombeado nesses canais e que passa pelas raízes das plantas neles depositadas, caracterizando um sistema de cultivo em bancada acessível para diversos tipos de produtores (Cometti, 2008).

Para o pleno desenvolvimento das culturas na hidroponia são observadas algumas variáveis, como o pH, que fica em torno de 5,5 a 6,5, a condutividade elétrica, que geralmente é de 1,5 mS/cm, e a temporização necessária de bomba ligada e desligada (Cometti, 2003). Essas informações devem ser observadas diariamente, já que o crescimento das plantas depende desses fatores.

A irrigação é realizada por bombeamento da solução nutritiva até os canais onde se encontra o cultivo hidropônico. Esse sistema ocorre com o acionamento da bomba através do uso de temporizadores digitais e analógicos. Geralmente, esse tempo de acionamento da bomba durante o dia é de 15 minutos desligado e 15 minutos ligado, e de 60 - 15 minutos durante a noite. Alguns estudos já apresentaram o uso de temporizadores inteligentes, permitindo o controle rigoroso desse tempo. Porém, no mercado a temporização automatizada tem custo elevado e os produtores optam por temporização analógica, permitindo o controle do tempo e o crescimento das plantas (Cometti et al., 2019).

Outro ponto a se atentar no cultivo hidropônico é o controle de pH e condutividade elétrica. O controle de pH é realizado por meio de medições diárias de ácido ou base à solução nutritiva, dentro do reservatório, visando mantê-lo em torno do ideal, 5,5 a 6,5 para maior parte das culturas (Bugbee, 1995; Cometti et al., 2006). A absorção de nitrato pelas plantas eleva o pH, pois a absorção de um mol de nitrato ocorre por cotransporte iônico com 2 a 3 mol de H^+. Em contrapartida, a absorção do íon amônio é feita por antiporte, cuja entrada de um mol de N-NH_4^+ promove a extrusão de um mol de prótons (H^+), baixando o pH (Taiz & Zeiger, 2013).

Outro ponto relevante para o pleno desenvolvimento das plantas é observar a oxigenação, a temperatura, a intensidade de luz, o fotoperíodo e a umidade do ar (Adams, 1992 e 1994). Esses fatores estão diretamente relacionados a problemas como queima de borda e pendoamento precoce, refletindo na perda de produtividade e, consequentemente, em prejuízos econômicos (De Souza et al., 2022). Essas falhas podem ser observadas ao longo do crescimento das plantas, que dura, em média, de 30 a 45 dias para a maioria das folhosas.

As altas temperaturas também são um problema que afeta diretamente o crescimento das plantas, esse fator ambiental pode gerar perdas caso não seja observado (Fontes, 2005). O aconselhável é utilizar sombreamento de acordo com a cultivar selecionada; além disso, a escolha de cultivares adaptadas ao local é ideal para o pleno desenvolvimento da planta. Outro ponto é que a hidroponia vem passando por processos de tecnificação cada vez mais aprimorados e, com a agricultura digital, surgem possibilidades de integração de sistemas com visão computacional.

Observa-se que o cultivo hidropônico exige monitoramento constante do desenvolvimento das plantas, uma vez que fatores ambientais influenciam diretamente no seu crescimento. Algumas cultivares de alface crespa apresentam melhor desempenho em condições de clima mais ameno, sendo fundamental a adequação da luminosidade e da temperatura para maximizar a produtividade. Nesse sentido, o uso de sombreamento configura-se como uma estratégia importante para o controle da radiação incidente e da temperatura no ambiente de cultivo.

Paralelamente, os avanços na agricultura de precisão têm possibilitado a incorporação de tecnologias como a visão computacional, permitindo a automação do monitoramento do crescimento vegetal e a redução da subjetividade nas avaliações realizadas pelos produtores (Zanoni, 2025).

Dessa forma, objetivou-se, neste estudo, integrar um sistema de visão computacional baseado em redes neurais para o monitoramento do crescimento da alface crespa cultivada em sistema hidropônico do tipo NFT em Planaltina — DF, submetida a diferentes níveis de sombreamento, visando identificar a condição mais adequada de cultivo, bem como desenvolver um sistema capaz de estimar a área foliar e indicar o ponto ideal de colheita e as tomadas de decisão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e delineamento do experimento

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino e Produção (UEP) de Olericultura do Instituto Federal de Brasília — *Campus* Planaltina, localizado em Planaltina — DF, entre abril e maio de 2026. A área experimental situa-se a 970 metros de altitude, nas coordenadas 15°39'24" S e 47°41'55" O. O clima, segundo Köppen, da região é do tipo tropical Aw, caracterizado por estação chuvosa no verão e seca no inverno, com temperaturas variando em torno de 18 ºC para mínimas e 29 ºC para máximas e média anual de 22ºC e precipitação pluviométrica anual aproximada de 1.600 mm. O delineamento utilizado foi blocos casualizados (DBC) com quatro níveis de sombreamento em três blocos. Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente nos blocos, totalizando 12 parcelas, com 20 plantas por parcela, perfazendo um total de 240 plantas selecionadas com o mesmo padrão de desenvolvimento. Adicionalmente, foi utilizado um sistema automatizado de monitoramento por visão computacional em plantas selecionadas do Bloco 2, com finalidade complementar de acompanhamento do crescimento vegetal, não sendo considerado fator experimental. As câmeras foram instaladas nos quatro tratamentos do segundo bloco para monitoramento visual contínuo das plantas ao longo do experimento.

2.2. Cultivar escolhida

A cultivar escolhida para o experimento foi a cv. Vanda, já que apresenta alta resistência a temperaturas altas e é muito cultivada no Centro-Oeste.

2.3. Solução nutritiva

A solução nutritiva foi preparada a partir de fertilizantes comerciais: Hidrogood Fert, Nitrato de Cálcio e quelato de ferro (Fe-EDDHA). Para o preparo foram separados 2 recipientes de 20 litros, onde houve a mistura da solução A (Nitrato de Cálcio e Fe-EDDHA) e solução B composta por Hidrogood Fert, essas misturas concentradas de fertilizantes foram depositadas dentro do reservatório de solução nutritiva do local. As quantidades utilizadas dos fertilizantes estão presentes na Quadro 1.

Quadro 1 – Dados de concentração de fertilizantes para o preparo das soluções concentradas.

Volume de solução concentrada	**Solução**			
	A			**B**
	Nitrato de Cálcio	**+**	**Fe-EDDHA**	**Hidrogood Fert**
3000 L	1500 g	+	90 g	2000 g
20 L	2000 g	+	120 g	2640 g

Fonte: elaborado pelos autores.

Após o preparo nos baldes, as soluções concentradas A e B foram adicionadas ao reservatório de 3000 litros de acordo com a quantidade representada na Quadro 1. Atentando-se também para as medições de pH e condutividade elétrica, que ocorreram a cada 3 dias após o preparo da solução nutritiva. Os valores de pH ficaram entre 4,9 e 5,8, e a condutividade elétrica variou de 1200 a 1600 microssiemens (μS/cm) desde o início do experimento. Para realizar o controle de pH e condutividade elétrica foram utilizados aparelhos como pHmetro de mão e condutivímetro portátil. Logo após foram preparadas as soluções estoques A e B em vasilhames de 20 litros separadamente seguindo a concentração de fertilizantes descritos na Quadro 1. Caso houvesse a necessidade de reposição das soluções concentradas utilizou-se como referência a Quadro 2 para fins de reposições de nutrientes e elevar a condutividade elétrica da solução nutritiva.

Quadro 2 – Preparo e reposição de nutrientes da solução nutritiva.

Reposição de Solução concentrada	
Condutividade elétrica	**Quantidade de solução A e B**
100 μS/cm	1 L

Fonte: elaborado pelos autores.

Houve também a correção do pH utilizando uma base forte composta por hidróxido de potássio. A solução foi preparada na concentração de 56,1 g da base por litro de água destilada. Foram adicionados 500 mL da solução aos 7 e 14 dias após o transplantio, diretamente no tanque da solução nutritiva.

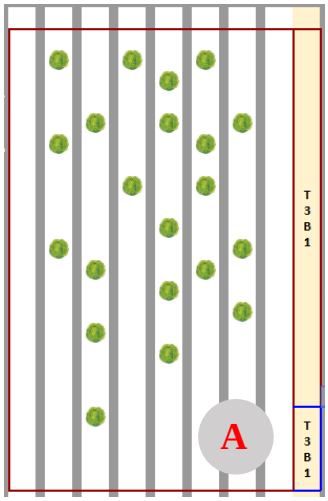
2.4. Preparo das mudas

As mudas de alface foram adquiridas em viveiro certificado, onde haviam sido semeadas em substrato comercial. Após a aquisição, passaram pelo processo de pré-lavagem das raízes e foram inseridas nos canais de cultivo do berçário no mesmo dia. Antes de serem levadas ao berçário, as plantas apresentavam aproximadamente 3 cm de altura e 4 cm de diâmetro, além de crescimento uniforme. As mudas foram distribuídas de forma organizada, garantindo que todas recebessem as mesmas condições ambientais. Para evitar possíveis danos ao crescimento das plantas, foi instalado um sombrite com 35% de sombreamento acima das mudas, a uma altura aproximada de 1,5 m. As plantas permaneceram no berçário por 20 dias e, posteriormente, foram transferidas para os canais principais, onde completaram seu desenvolvimento fisiológico.

2.5. Distribuição das mudas

As 240 plantas foram distribuídas de forma aleatória dentro das 12 parcelas presentes na Figura 1B, de modo que todas recebessem as variáveis externas. Priorizou-se a disposição das plantas nos canais centrais das parcelas. Dessa forma, foram distribuídas 20 plantas por parcela como visto na Figura 1A. Os tratamentos com sombreamento foram: 0% (T1), 35% (T2), 50% (T3) e 75% (T4) e os blocos Bloco 1 (B1), Bloco 2 (B2) e Bloco 3 (B3), conforme descrito na Figura 1A.

Figura 1 — Representação visual da parcela do tratamento 3 bloco 1(T3B1) com disposição de plantas de forma aleatória (A) e Croqui do experimento com os tratamentos e blocos distribuídos nas bancadas hidropônicas (B).



T3B1	T2B2	T1B3
T1B1	T4B2	T3B3
T4B1	T1B2	T2B3
T2B1	T3B2	T4B3

B

Fonte: Fotos do Autor.

As plantas foram dispostas de forma aleatória em cada tratamento, priorizando os canais de cultivo centrais da mesa de cultivo. Estas foram destinadas ao monitoramento por câmeras que foram posicionadas no início e centro de cada tratamento do bloco 2 da mesa de cultivo. Dessa forma, as plantas foram avaliadas individualmente por meio dos registros das câmeras.

2.6. Estrutura de sombreamento

Para a montagem da estrutura de sombreamento das plantas, foram organizadas as parcelas de acordo com os tratamentos e blocos nas três bancadas hidropônicas existentes no

local. Em seguida, foram preparados os sombrites de polietileno de 35%, 50% e 75% de sombreamento, de forma a cobrir toda a parcela posicionada acima dos canais de cultivo conforme o tratamento correspondente. Posteriormente, foi montada uma estrutura de arames galvanizado com altura de 40 cm em relação aos canais de cultivo, distribuída em parcelas de 3 metros de comprimento por 1,5 metros de largura. Sobre essa estrutura, os sombrites foram fixados, permanecendo nessa altura ao longo do experimento como visto na Figura 2.

Figura 2 — Estrutura de sombreamento em vista superior (à direita)



Fonte: Fotos do Autor.

2.7. Sistema de monitoramento

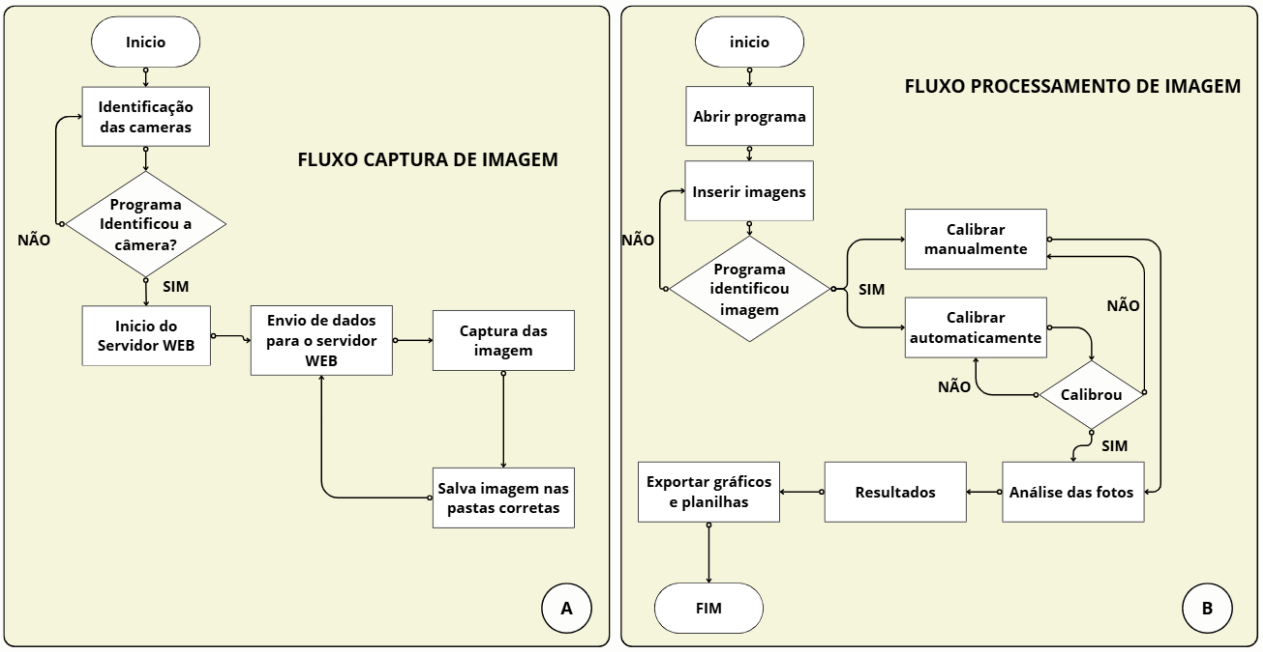
Para o desenvolvimento do protótipo de visão computacional para o monitoramento do crescimento das plantas, foi utilizada a linguagem de programação Python, juntamente com bibliotecas (OpenCV (cv2), OS, Time, Datetime, Threading, Pathlib, Tkinter, Pillow (PIL), Queue, Logging, entre outras). A codificação dos sistemas partiu de uma ordem de fatores primordiais para o funcionamento do sistema; esses fatores foram: captura de imagem, armazenamento preciso, processamento de imagem, calibração e resultados finais. Todos esses pontos foram desenvolvidos por meio de blocos de decisão se e senão (*if* e *else*), alinhados a estruturas de processamento com enquanto (*while*) e para (*for*), utilizando como organização do código funções integradas às bibliotecas previamente mencionadas. O sistema foi desenvolvido em duas etapas: monitoramento e processamento de imagens.

O sistema de monitoramento foi implementado e estruturado em três vertentes principais: definição de intervalo de tempo, captura de imagens e registro das fotografias capturadas. Essas atividades eram executadas de forma contínua, seguindo o fluxo de trabalho apresentado no fluxograma da Figura 3A. O sistema de monitoramento ficou ativo durante todo o experimento e a captura de dados por meio de captura de imagem foi realizada no intervalo de 1 em 1 hora iniciando às 7 horas da manhã e finalizando às 17:00 que é o período em que havia luminosidade e garantir melhor visualização das plantas.

O sistema de processamento de imagens foi desenvolvido para analisar as imagens obtidas pelo sistema de captura. Nessa etapa, as fotos salvas eram processadas para identificação dos pixels de área verde, além da realização da calibração de escala por meio de um quadrado vermelho de 2 × 2 cm, utilizado como referência para determinação da escala com maior precisão. A partir disso, o sistema estimava a área foliar verde da planta. Além dessas funções, foram implementados recursos como calibração inteligente e geração de gráficos de

monitoramento diário, o fluxograma de funcionamento do programa de processamento de imagem está presente na Figura 3B.

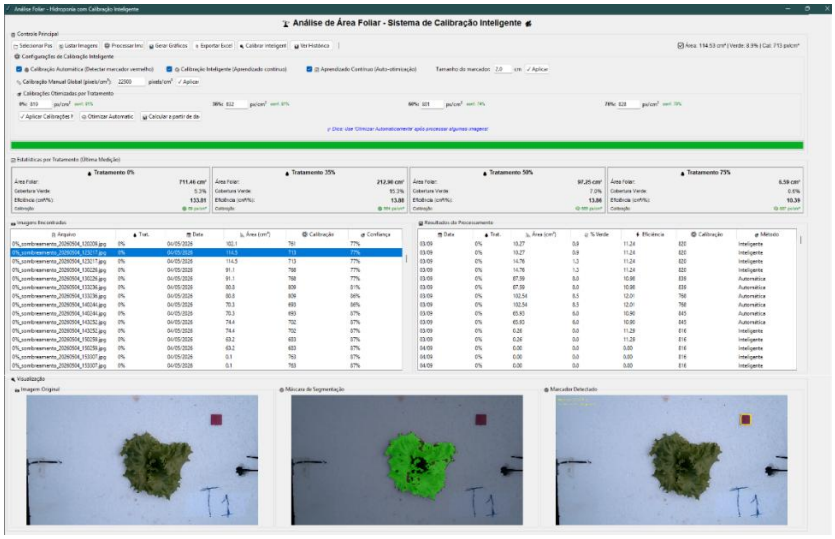
Figura 3 - Fluxograma de captura de imagem (A) e Fluxograma de processamento de imagem (B).



Fonte: Diagramas do Autor.

O sistema de processamento de imagem foi projetado para receber diversas imagens ao mesmo tempo e realizar a calibração automatizada e entregar ao usuário um sistema completo de medição de área foliar. Algumas das principais funcionalidades são: calibração de forma automatizada por rede neural, calibração a partir de valores de pixels informados pelo usuário, exportação de dados, gráficos de dispersão com curva de regressão linear para área medida e percentual de área verde, identificação do ponto de calibração, identificação dos tratamentos e outros presentes na Figura 4.

Figura 4 — Layout do programa de processamento e tratamento de imagem desenvolvido.



Fonte: Fotos do Autor.

2.8. Estrutura de monitoramento

Para a montagem em campo da estrutura do sistema de monitoramento com visão computacional, utilizaram-se quatro câmeras do tipo webcam de 1080 pixels com ângulo de visão de 120º. Elas foram posicionadas no centro inicial de cada parcela do bloco 2 por meio de estruturas de acrílico transparente e braçadeiras de nylon pretas como visto na Figura 4A. Para que os cabos das câmeras chegassem até o microcontrolador Raspberry Pi 3, foram utilizados extensores de cabos USB 2.0 macho e fêmea. A caixa protetora do sistema foi confeccionada em acrílico transparente para evitar danos por água e calor conforme a Figura 4B. Para o monitoramento das plantas, utilizou-se uma base de isopor de 50 x 50 cm, com a planta e a câmera posicionadas no centro (Figura 4C). Além disso, a câmera ficou a 40 cm de altura em relação ao isopor, centralizada, para observar o crescimento do vegetal ao longo do tempo.

Figura 4 — Vista inferior real da parcela T4B2 e T2B2 com o sistema de monitoramento (A), caixa em acrílico confeccionada para aprisionar sistema de monitoramento com RaspiberyPI 3 e câmeras (B) e vista superior da bancada com a Estrutura de monitoramento com câmeras montado acima da parcela T1B2 (C).



Fonte: Fotos do autor.

2.9. Avaliações

As avaliações do experimento foram separadas de acordo com o crescimento das plantas. As coletas de dados manuais foram realizadas aos 4, 8, 12, 16 e 20 dias após o transplantio (DAT), com a retirada de 4 plantas por avaliação. As variáveis analisadas foram: altura da planta, diâmetro, número de folhas, massa fresca das folhas, massa fresca dos caules, massa fresca da subamostra, massa seca das folhas, massa seca dos caules e área das subamostras.

Após essa coleta, os sacos identificados contendo folhas, caules e subamostras foram encaminhados ao laboratório, onde foi iniciado o processo de escaneamento das folhas das subamostras em impressora convencional. Em seguida, os sacos contendo folhas e caules foram levados para estufa de secagem com circulação de ar a 60 ºC, permanecendo por 48 horas. Posteriormente, realizou-se a pesagem da matéria seca dos caules e das folhas de cada tratamento utilizando balança de precisão.

Para a análise de área foliar total da planta utilizou-se o software “ImageJ” enviando ao programa as imagens escaneada das folhas da subamostra e calculando por meio da fórmula:

$$IAF = \frac{\text{Peso da MFF} * \text{Área da amostra}}{\text{Peso da amostra}}$$

IAF = Índice de área foliar da planta ($cm^2.planta^{-1}$) e **MFF** = Massa fresca das folhas ($g.planta^{-1}$).

Após a coleta dos dados de área foliar, as amostras foram submetidas à fórmula apresentada acima, sendo calculado o Índice de Área Foliar (IAF) das plantas coletadas de cada tratamento.

Para as avaliações automatizadas, utilizou-se a coleta diária de dados contendo a área projetada da planta, com intervalo de 1 hora entre cada captura de imagem das plantas posicionadas nos quatro tratamentos do bloco 2. Foi acompanhada individualmente uma planta por tratamento, monitorando-se o crescimento do vegetal ao longo do tempo, no período das 7h às 17h, diariamente. Posteriormente, foi realizada a média diária dos dados para observação da área foliar do vegetal. Por fim, os dados coletados foram organizados em tabelas e analisados por meio de análise de variância (ANOVA), teste de Tukey a 5% de probabilidade e análise de regressão, com ajuste de curvas para comparação e calibração do sistema automatizado.

3. Resultados e Discussão:

O sistema automatizado de monitoramento por visão computacional apresentou bom desempenho e realizou as capturas diárias de imagens com boa qualidade. Porém, em determinados horários do dia, não foi possível identificar adequadamente a área verde das plantas, ocasionando falhas no processamento e na identificação do percentual de área verde do vegetal. Esse comportamento pode estar relacionado principalmente à variação da iluminação natural ao longo do dia, incluindo alterações na intensidade luminosa, incidência direta de luz solar, por formação de sombras, nebulosidade e outros. Isso causa reflexos e mudanças no balanço de cores da imagem, fatores que podem comprometer a segmentação e o reconhecimento da vegetação pelo algoritmo. Outros trabalhos como o de Zhang et al. (2020), apresentaram resultados similares com o uso de dados hiperespectrais, informando que condicionantes ambientais podem influenciar na análise e a segmentação correta da vegetação. O sistema de processamento de imagens também apresentou bom desempenho, mesmo com o processamento simultâneo de 2.000 imagens. Entretanto, foi identificado alguns problemas na identificação das plantas, ocasionados anteriormente por variações de iluminação ocorridas no sistema de monitoramento em campo. Dentro do sistema identificaram-se esses erros ao processar imagens com elevada luminosidade provenientes dos registros do sistema de monitoramento. Dessa forma, ajustes nos dois sistemas poderão corrigir essas limitações.

3.1. Efeito do sombreamento

Aos 4 dias após o transplantio, observou-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos para maioria das variáveis coletadas, sendo estas o número de folhas, altura, massa fresca, área foliar e massa seca das folhas, uma vez que as médias apresentaram a mesma letra pelo teste de Tukey à 5% de significância visto na Tabela 1. Entretanto, para o diâmetro e a massa seca dos caules, foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos indicando que os diferentes níveis de sombreamento influenciaram parcialmente o desenvolvimento inicial das plantas nesse período. Os coeficientes de variação ficaram entre 3,61% a 24,57% indicando baixa para moderada a precisão experimental entre as variáveis.

Tabela 1 — Valores médios das variáveis número de folhas, altura, diâmetro, massa fresca total das folhas, massa fresca total dos caules, área total manual, área calculada pelo sistema, massa seca total das folhas e massa seca total dos caules da alface crespa cv. Vanda aos 4 dias após o transplantio (DAT), submetida a diferentes níveis de sombreamento. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Variável	DAT	T1	T2	T3	T4	CV (%)
Nº folhas	4	7,42 a	7,92 a	7,75 a	7,92 a	3,61
Altura	4	5,25 a	5,67 a	6,08 a	5,25 a	10,45
Diâmetro	4	13,25 b	13,42 ab	14,67 ab	15,00 a	4,39
Massa fresca total das folhas	4	35,67 a	33,33 a	39,33 a	32,00 a	11,97
Massa fresca total dos caules	4	2,33 a	2,00 a	2,67 a	2,00 a	24,57
Área total manual	4	797,53 a	855,72 a	756,07 a	656,11 a	12,9
Área calculada no sistema	4	30,00 a	35,06 a	30,55 a	27,55 a	17,61
Massa seca total das folhas	4	3,33 a	3,00 a	3,33 a	3,00 a	10,53
Massa seca total dos caules	4	0,27 a	0,22 ab	0,24 ab	0,16 b	15,67

CV – Coeficiente de variação, DAT – dias após o transplantio, T – tratamento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa.

Para os 8 dias após o transplantio das mudas, observou-se que não houve diferença estatística para maioria das variáveis coletadas conforme apresentada na Tabela 2. Entretanto para massa seca total dos caules houve diferença estatística seguindo o teste de Tukey a 5% de significância para o tratamento 4 em relação aos demais. Isso indica que elevados níveis de sombreamento influência diretamente o crescimento da alface crespa cultivar Vanda, já que o valor médio ficou em 0,47g, quase 30% menor que os outros tratamentos. Além disso, não é possível determinar o melhor nível de sombreamento no desenvolvimento iniciais dos vegetais.

Tabela 2 — Valores médios das variáveis número de folhas, altura, diâmetro, massa fresca total das folhas, massa fresca total dos caules, área total manual, área calculada pelo sistema, massa seca total das folhas e massa seca total dos caules da alface crespa cv. Vanda aos 8 dias após o transplantio (DAT), submetida a diferentes níveis de sombreamento. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Variável	DAT	T1	T2	T3	T4	CV (%)
Nº folhas	8	7,83 a	7,83 a	8,58 a	8,67 a	11,99
Altura	8	5,96 a	6,12 a	6,04 a	6,12 a	10,1
Diâmetro	8	15,75 a	17,81 a	19,88 a	19,62 a	14,48
Massa fresca total das folhas	8	49,73 a	52,97 a	62,23 a	51,30 a	21,2
Massa fresca total dos caules	8	5,87 a	5,87 a	6,50 a	5,47 a	19,83
Área total manual	8	670,84 a	833,35 a	1015,72 a	931,34 a	28,14
Área calculada no sistema	8	30,50 a	46,04 a	24,22 a	54,82 a	62,47
Massa seca total das folhas	8	3,67 a	3,57 a	3,93 a	2,80 a	25,4
Massa seca total dos caules	8	0,77 a	0,67 a	0,67 a	0,47 b	10,06

CV – Coeficiente de variação, DAT – dias após o transplantio, T – tratamento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa.

Para os 12 dias após o transplantio (DAT), observou-se que não houve diferença estatística para nos tratamentos para as variáveis: número de folhas, massa fresca total das folhas, massa fresca total dos caules, área total manual, área calculada no sistema, massa seca total das folhas e massa seca total dos caules seguindo o teste de Tukey a 5% de significância. Isso indica que os diferentes níveis de sombreamento não influenciaram de forma significativa os tratamentos durante esse período.

Entretanto, foram observadas diferença significativa par as altura e diâmetro das plantas. Para altura no tratamento 4 observou-se que houve um maior valor médio, sendo 6,83 cm, diferindo dos tratamentos 1, 2 e 3, que apresentam menor valor, não diferindo entre si. Esse resultado indica que níveis mais elevados de sombreamento podem favorecer o alongamento das plantas, comumente conhecido como estiolamento das plantas, comportamento frequentemente associado à adaptação morfológica para maximizar a interceptação luminosa em ambientes com menor disponibilidade de radiação. Estudos como Dalastra et al. (2016) descreveram comportamento semelhante em alface, relatando que plantas mantidas sob sombreamento tendem a apresentar maior crescimento em altura em relação àquelas cultivadas em plena luz, em decorrência do alongamento dos tecidos vegetais como estratégia para aumentar a captação luminosa, podendo resultar em estiolamento das plantas.

Para o diâmetro, observou-se diferença estatística maior desenvolvimento nos tratamentos 2 e 3, sendo 18, 12 e 18,75 cm, respectivamente, enquanto o tratamento 1 apresentou o menor valor 16,50 cm, como visto na Tabela 3. O tratamento 4 apresentou comportamento médio, não diferindo entre os demais. Isso indica de sombreamentos moderados, como 35 e 50%, podem favorecer o crescimento dos vegetais sem comprometer o alongamento da planta (Cometti et al, 2020).

Apesar de não haver diferença estatística para a área calculada pelo sistema. Observou-se uma variação moderada no coeficiente de variação (28,54%) em comparação as demais variáveis avaliadas. Indicando maior variabilidade entre as unidades experimentais, o que pode ter reduzido a sensibilidade da análise estatística na detecção de diferenças entre os tratamentos.

Tabela 3 — Valores médios das variáveis número de folhas, altura, diâmetro, massa fresca total das folhas, massa fresca total dos caules, área total manual, área calculada pelo sistema, massa seca total das folhas e massa seca total dos caules da alface crespa cv. Vanda aos 12 dias após o transplantio (DAT), submetida a diferentes níveis de sombreamento. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Variável	DAT	T1	T2	T3	T4	CV (%)
Nº folhas	12	10,42 a	10,58 a	10,58 a	10,17 a	8,07
Altura	12	5,38 b	5,67 b	5,71 b	6,83 a	5,99
Diâmetro	12	16,50 b	18,12 ab	18,75 a	17,79 ab	3,44
Massa fresca total das folhas	12	60,67 a	62,13 a	57,90 a	53,70 a	15,92
Massa fresca total dos caules	12	3,70 a	3,53 a	3,23 a	3,60 a	7,27
Área total manual	12	1459,51 a	1524,97 a	1544,43 a	1596,89 a	13,66
Área calculada no sistema	12	38,42 a	32,50 a	48,43 a	40,70 a	28,54
Massa seca total das folhas	12	5,37 a	5,17 a	4,70 a	3,87 a	15,52
Massa seca total dos caules	12	0,50 a	0,33 a	0,50 a	0,37 a	21,12

CV – Coeficiente de variação, DAT – dias após o transplantio, T – tratamento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa.

Aos 16 dias após o transplantio (DAT) das mudas, observou-se que a altura das plantas foi a única variável que apresentou diferença estatística para o tratamento 1, apresentando o menor valor em relação à altura de planta. Isso está associado a fatores externos, como alta temperatura e radiação solar incidindo diretamente nas plantas. Não houve diferença estatística para as variáveis de número de folhas, diâmetro, massa fresca total das folhas, massa fresca total dos caules, área total manual, área calculada no sistema, massa seca total das folhas e massa seca total dos caules. Observou-se também um alto coeficiente de variação para a área calculada no sistema, indicando possíveis erros na identificação e nos dados para essa variável, provavelmente por falta de repetições para compor melhor os dados.

Tabela 4 — Valores médios das variáveis número de folhas, altura, diâmetro, massa fresca total das folhas, massa fresca total dos caules, área total manual, área calculada pelo sistema, massa seca total das folhas e massa seca total dos caules da alface crespa cv. Vanda aos 16 dias após o transplantio (DAT), submetida a diferentes níveis de sombreamento. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Variável	DAT	T1	T2	T3	T4	CV (%)
Nº folhas	16	9,83 a	10,33 a	9,92 a	10,00 a	9,65
Altura	16	5,50 b	6,88 ab	6,58 ab	7,96 a	9,45
Diâmetro	16	13,52 a	15,50 a	15,83 a	15,75 a	6,99
Massa fresca total das folhas	16	61,40 a	80,20 a	76,13 a	68,17 a	24,03
Massa fresca total dos caules	16	7,23 a	7,47 a	8,47 a	8,10 a	20,13
Área total manual	16	1311,69 a	1954,79 a	2115,58 a	2033,55 a	28,21
Área calculada no sistema	16	21,11 a	35,45 a	67,98 a	42,06 a	81,55
Massa seca total das folhas	16	3,93 a	5,20 a	4,17 a	3,67 a	25,39
Massa seca total dos caules	16	0,80 a	0,60 a	0,90 a	0,73 a	14,74

CV – Coeficiente de variação, DAT – dias após o transplantio, T – tratamento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa.

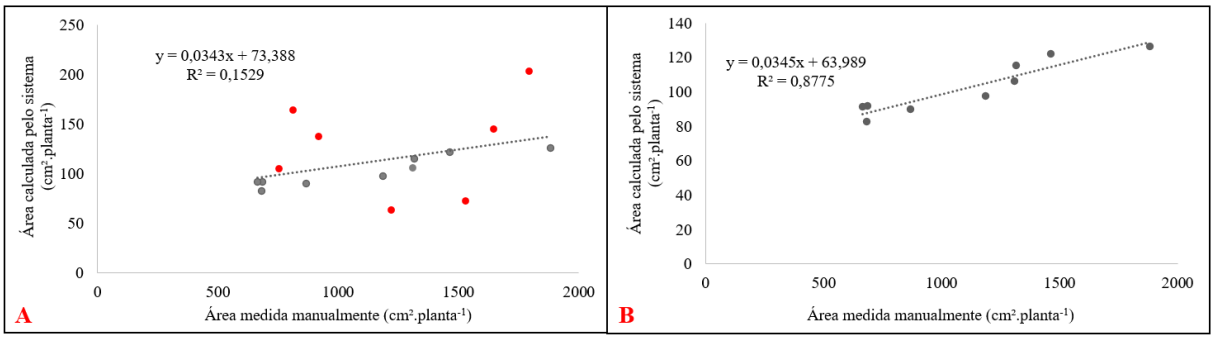
Por fim, observou-se que os tratamentos T2 e T3 apresentaram os melhores resultados, com maiores valores para a maioria das variáveis avaliadas, indicando maior potencial para o desenvolvimento da alface crespa cultivar Vanda. Outros trabalhos, como o de Cometti et al, (2020), apresentaram resultados semelhantes, que verificaram que níveis moderados de sombreamento podem favorecer o cultivo da alface, enquanto sombreamentos superiores a 50% tendem a reduzir a disponibilidade luminosa e comprometer a produtividade. Observou-se também que o tratamento T1 (controle) apresentou valores satisfatórios para grande parte das variáveis no início do experimento. Em relação ao tratamento T4, verificou-se maior altura das plantas aos 8, 12 e 16 dias após o transplantio (DAT), sugerindo resposta adaptativa ao menor nível de luminosidade disponível, caracterizada pelo alongamento vegetal em busca de maior interceptação de luz.

3.2. Validação da visão computacional

Para os valores de área estimada pelo sistema automatizado em comparação com área medida manualmente observou-se uma discrepância em alguns valores do sistema automatizado em relação aos 4, 8, 12 e 16 dias após o transplanto (DAT). Essa discrepância resultou na descoberta de *outliers*, dados discrepantes localizados acima ou abaixo da linha de tendência. A identificação dos *outliers* foi realizada por meio da análise gráfica visual da

regressão linear, considerando discrepantes os pontos excessivamente distantes da linha de tendência e da distribuição predominante da amostra observados na Figura 5A. Após essa análise, os valores discrepantes foram removidos, permitindo a correção do ajuste estatístico e a obtenção de uma regressão com melhor representatividade dos dados visto na Figura 5B. Facilitando a identificação de erros e possíveis ajustes necessários no sistema de monitoramento.

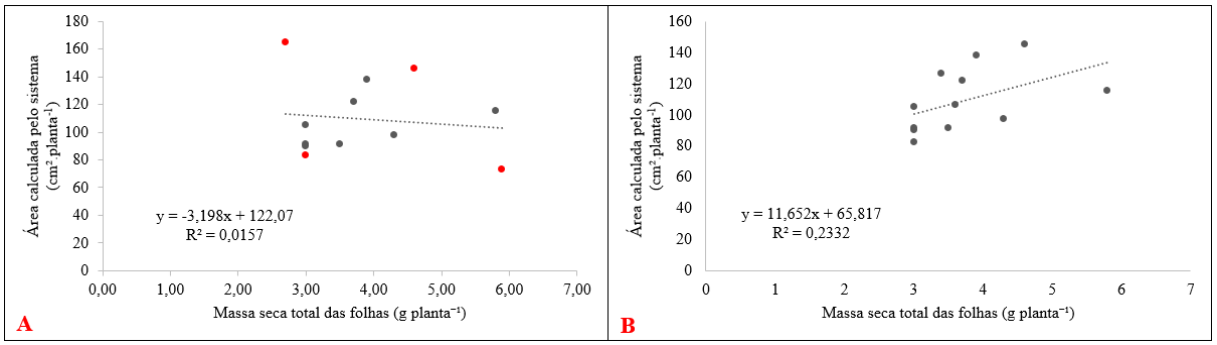
Figura 5 — Regressão da área calculada pelo sistema em comparação com a área medida manualmente aos 4, 8, 12 e 16 DAT, sem a correção de *outliers* (A), e com a correção (B).



Fonte: Fotos do autor.

Para as análises da massa seca total das folhas dos dias 4, 8, 12 e 16 dias após o transplantio observou-se o mesmo ocorrido nos dados de área calculada pelo sistema em comparação a área medida manualmente. Ocorreram alguns desvios presentes nos dados (Figura 6A). Mesmo com esses *outliers* removidos foi encontrado um coeficiente de determinação de 23,32% indicando um valor melhor em comparação com o coeficiente de variação indicado na Figura 6A com valores de 0,15% indicando uma previsão fraca para os dados analisados.

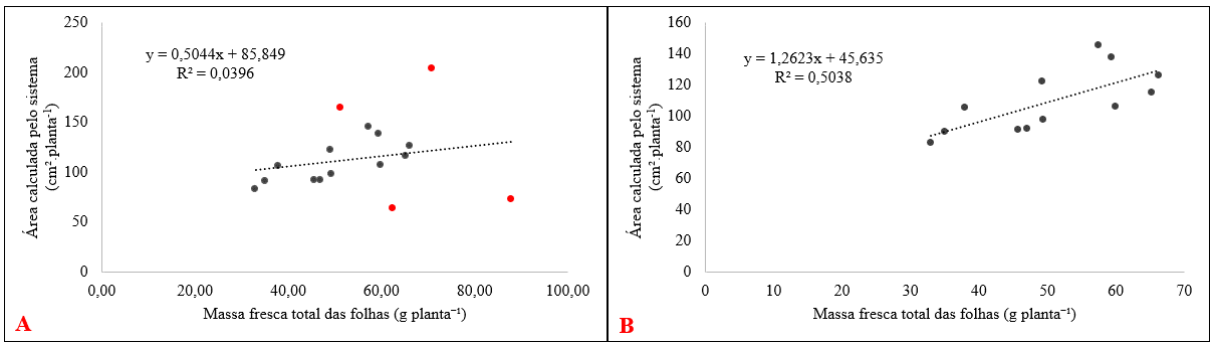
Figura 6 — Regressão da área calculada pelo sistema em comparação com a massa seca total das folhas aos 4, 8, 12 e 16 dias após o transplantio (DAT), sem a correção de *outliers* (A), e com a correção (B).



Fonte: Fotos do autor.

Os dados de análise de regressão de área calculada pelo sistema em comparação com a massa fresca total das folhas aos 4, 8, 12 e 16 dias após o transplantio (DAT) que pode ser visto na Figura 7, indicam coeficientes de determinação muito baixos, incapazes de permitir alguma previsão. Dessa forma, foi necessário realizar a identificação de dados fora da curva (*outliers*) e realizar a remoção desses dados para aprimorar a previsão utilizando o sistema computacional. Isso mostra mais uma vez que o sistema de processamento de imagem precisa de alguns ajustes para aprimorar a identificação e entregar melhores resultados.

Figura 7 — Regressão da área calculada pelo sistema em comparação com a massa fresca total das folhas aos 4, 8, 12 e 16 dias após o transplantio (DAT), sem a correção de *outliers* (A), e com a correção (B).

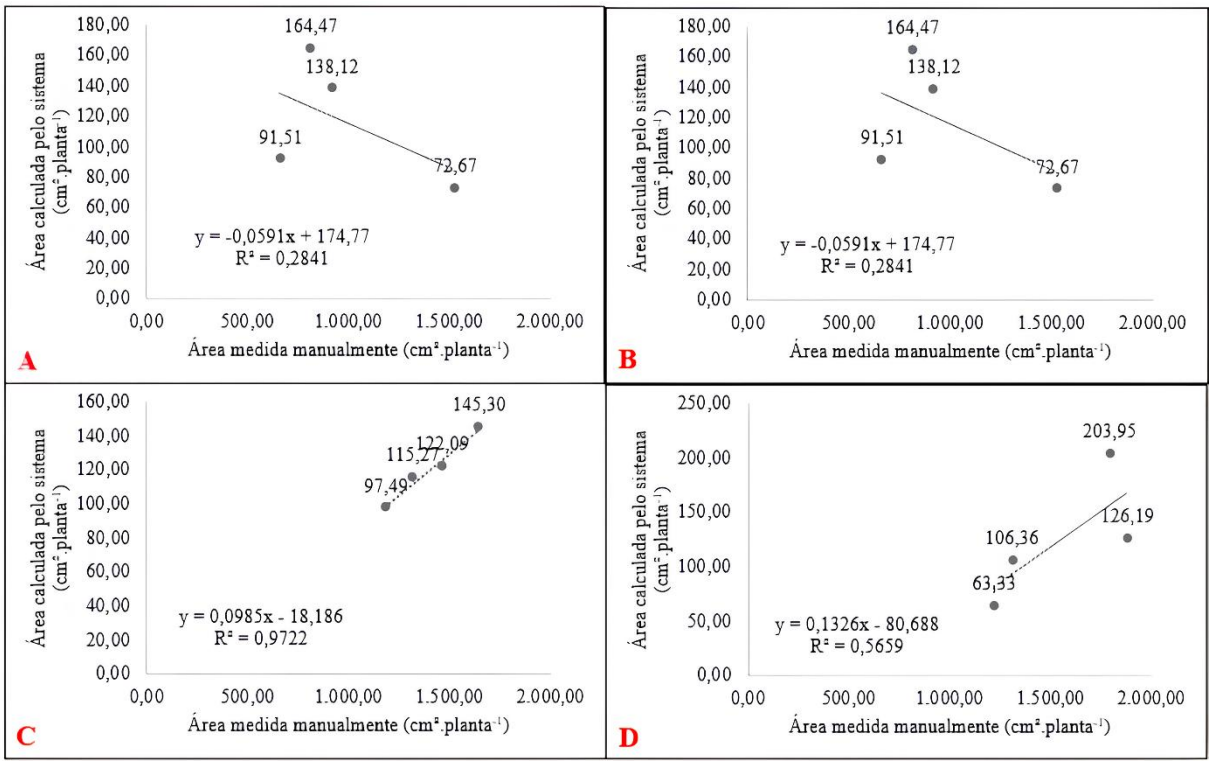


Fonte: Fotos do autor.

Para avaliação de dados de análise de regressão de área calculada pelo sistema em comparação a área medida manualmente, observa-se que aos 12 dias após o transplantio (DAT) o coeficiente de determinação ficou em 97,22% indicado ótimos resultados para a comparação e um possível dado para realizar as adaptações e modificações no algoritmo do sistema em pesquisas futuras. Esses dados podem balizar a detecção da origem dos desvios encontrados em outras datas analisadas.

Nos dias 4, 8 e 16 dias após o transplantio das mudas os valores apresentaram baixa correlação comparado aos 12 DAT como visto na Figura 8. Provavelmente, ocorreu de variáveis externas tenham afetado na captura da imagem com maior precisão, como alta radiação solar que afeta em alta saturação nas imagens. Além disso, alguns problemas no sistema e precisará de ajustes futuros.

Figura 8 — Regressão da área calculada pelo sistema em comparação com a área medida manualmente aos 4 DAT (A), aos 8 DAT (B), aos 12 DAT (C) e aos 16 DAT (D).

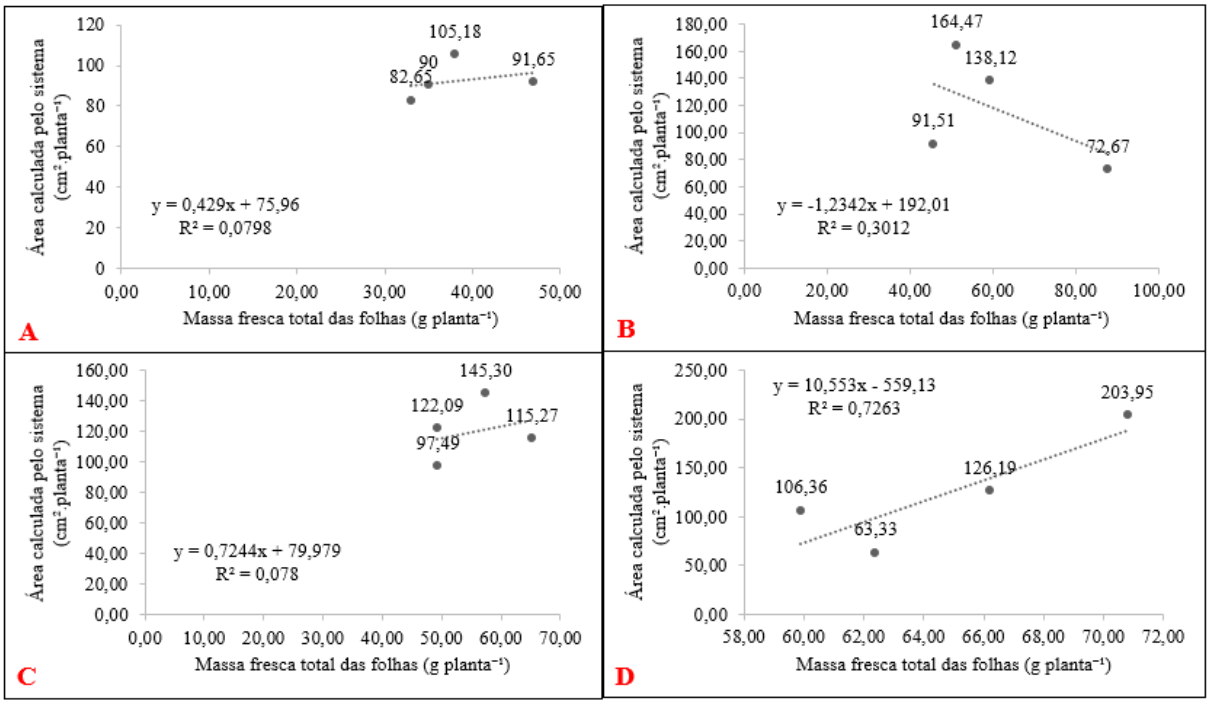


Fonte: Fotos do autor.

Para as análises de comparação entre a área calculada pelo sistema e a massa fresca total das folhas visto na Figura 9, observou-se que aos 4, 8 e 12 dias após o transplantio (DAT), a correlação apresentou coeficiente de determinação entre 2% e 30%, indicando baixa a moderada associação entre as variáveis. Esse resultado pode estar relacionado ao fato de o sistema ainda não apresentar calibração adequada, necessitando de ajustes para melhorar seu desempenho. Essa hipótese é reforçada pelos resultados observados aos 16 DAT, quando o coeficiente de determinação entre as variáveis apresentou melhor desempenho, aproximando-se de 51%. Isso indica que pequenos ajustes no sistema podem elevar a qualidade do processamento de imagens e, consequentemente, fornecer resultados mais precisos.

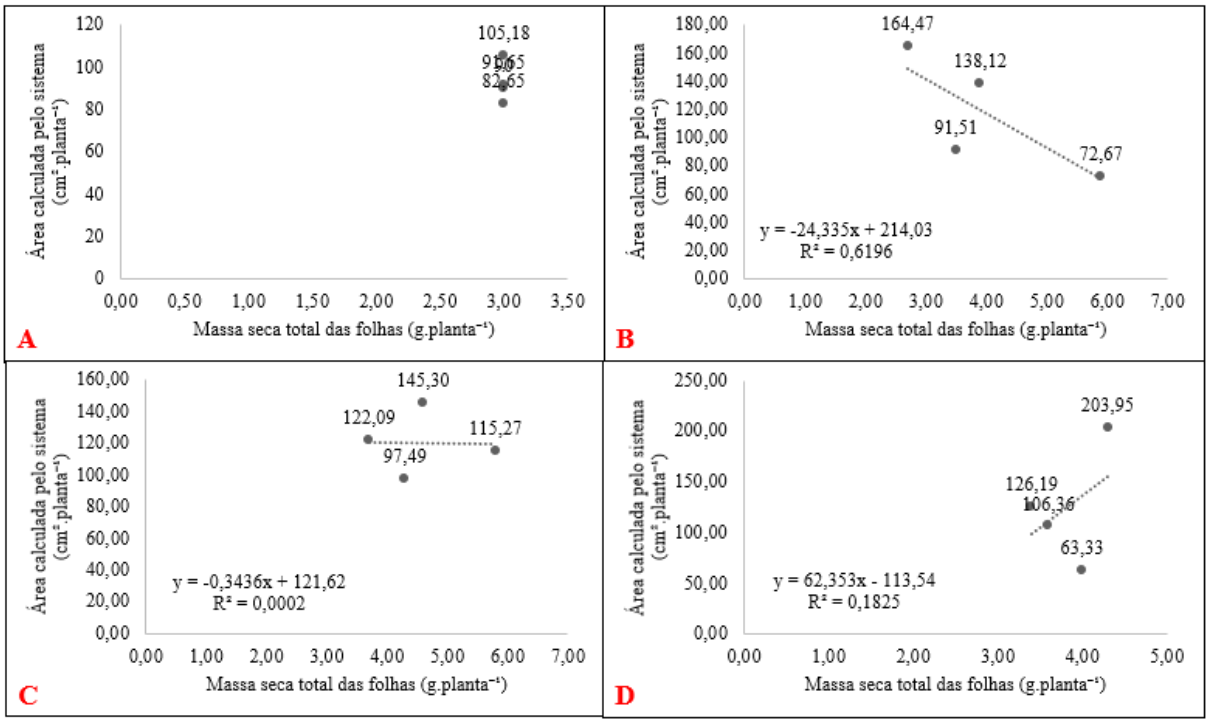
Para os dados de Área calculada pelo sistema em comparação de massa seca total das folhas, observou-se que nos 8 dias após o transplantio apresentou maior coeficiente de determinação em relação aos demais, como apresentado na figura 10. Indicando que houve alterações nas avaliações e valores muito altos ou baixos nas medições do sistema de visão computacional, associado a isso também é possível que seja necessário mais repetições e ajustes no sistema.

Figura 9 — Regressão da área calculada pelo sistema em comparação com a massa fresca total das folhas aos 4 DAT (A), aos 8 DAT (B), aos 12 DAT (C) e aos 16 DAT (D).



Fonte: Fotos do autor.

Figura 10 — Regressão da área calculada pelo sistema em comparação com a massa seca total das folhas aos 4 DAT (A), aos 8 DAT (B), aos 12 DAT (C) e aos 16 DAT (D).



Fonte: Fotos do autor.

Os valores coletados mostram que o sistema precisa de melhorias no modo de calibração e identificação de área verde das plantas. Em determinados horários do dia, como no início e final o dia, o sistema não obtiveram sucesso em registros precisos e de qualidade para boas avaliações, com fotos mais saturadas pela iluminação. Isso se refletiu em redução na eficiência de segmentação da vegetação e aumento de classificações incorretas em algumas capturas do processamento de imagem. Trabalhos como o de Perissini (2018), observaram que o desempenho da segmentação pode ser avaliado por métricas como sensibilidade e precisão, que representam, respectivamente, a capacidade de identificar corretamente os pixels pertencentes à planta e a confiabilidade das classificações positivas. Isso mostra que o sistema precisa de uma câmera melhor e um ambiente propicio para os registros.

4. Conclusão

Conclui-se que o sistema de visão computacional desenvolvido apresenta bom desempenho e entrega ao usuário resultados de qualidade. Porém, precisa de algumas atualizações e melhorias para torná-los mais robusto e completo entregando uma análise de precisão na medição de área foliar para a alface. Em análises do efeito do sombreamento, 35% e 50% apresentaram melhores resultados em comparação aos demais, mostrando-se o melhor para o desenvolvimento da alface crespa cv Vanda.

Conclui-se também que o sistema de visão computacional desenvolvido tem potencial de ajustes no algoritmo e necessita mais repetições para melhor predizer a área foliar, e por conseguinte, a produtividade da cultura. Esse ajuste pode entregar um produto mais completo e possivelmente patenteável.

REFERÊNCIAS

ADAMS, P. Crop nutrition in hydroponics. **Acta Horticulturae,** The Hague, n. 323, p.289-305, 1992.

ADAMS, P. Nutrition of greenhouse vegetable in NFT and hydroponic systems. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 361, p. 254-257, 1994.

BUGBEE, Bruce. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. In: NICHOLS, M. A. (ed.). South Pacific Soilless Culture Conference. Leuven: International Society for Horticultural Science, 2004. p. 99-112. (**Acta Horticulturae**, n. 648).

COMETTI, Nilton Nélio *et al.* Soluções nutritivas: formulação e aplicações. In: **FERNANDES, Manlio Silvestre** (ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 89-114.

COMETTI, Nilton Nélio; GENUNCIO, Gláucio da Cruz; ZONTA, Everaldo. **Hidroponia para Técnicos.** 1. ed. Brasília, DF: Editora IFB, 2019. 180 p.

COMETTI, Nilton Nélio; SILVA, Josimar da; ZONTA, Everaldo; CESSA, Raphael Moreira. Evaluation of photosynthetic photon flux in lettuce cultivation at different shading levels. **Horticultura Brasileira**, Brasília - DF, v. 38, n. 1, p. 65–70, 2020. DOI: 10.1590/S0102-053620200110.

DALASTRA, Graciela Maiara *et al*. Características produtivas de cultivares de alface mimosa, conduzida sob diferentes níveis de sombreamento, no inverno. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 1, p. 15–19, 2016. DOI: 10.18188/1983-1471/sap.v15n1p15-19. Disponível em: http://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/10360. Acesso em: 24 maio 2026.

FONTES, Paulo César Rezende (ed.). **Olericultura: Teoria e prática.** Viçosa: UFV, 2005. cap. 26. p. 407-428.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos.** Brasil: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/alface>. Acesso em: 22 fev. 2026.

PERISSINI, Ivan Carlos. **Análise experimental de algoritmos de constância de cor e segmentação para detecção de mudas de plantas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Dinâmica das Máquinas e Sistemas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em:10.11606/D.18.2018.tde-25052018-095947. Acesso em: 24 maio 2026.

SOUZA, Rogério Carlos de *et al*. Efeito do sombreamento sobre cultivares de alface em sistema hidropônico, em Ariquemes - RO. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente,** [S. l.], v. 13, n. 1, p. 16–30, 2022. DOI: 10.31072/rcf.v13i1.1058. Disponível em: <https://revista.unifaema.edu.br/index.php/Revista-FAEMA/article/view/1058>. Acesso em: 6 maio 2026.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

ZANONI, Rafael Antônio. **Visão computacional para análise de plantas in vitro**. 2025. 11 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência da Computação) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2025. Disponível em: https://repositorio.upf.br/handle/123456789/9873. Acesso em: 6 maio 2026.

ZHANG, Ning; YANG, Guijun; PAN, Yuchun; YANG, Xiaodong; CHEN, Liping; ZHAO, Chunjiang. *A review of advanced technologies and development for hyperspectral-based plant disease detection in the past three decades*. **Remote Sensing**, Basel, v. 12, n. 19, p. 3188, 2020. DOI: 10.3390/rs12193188. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs12193188. Acesso em: 24 maio 2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por me conduzir durante estes cinco anos de muita batalha, aprendizado e crescimento. Ele conhece todos os momentos que vivi ao longo dessa trajetória: cada noite mal dormida, cada momento de dúvida, cada questionamento e cada desafio enfrentado.

Agradeço à minha família por me sustentar e apoiar durante toda essa caminhada no curso de Agronomia. Muitos dos ensinamentos, reflexões e aprendizados que carrego vieram deles. Conheço minhas origens e jamais esquecerei daquele menino sonhador que, em uma viagem no ano de 2008, viu seu avô trabalhando com algumas vacas de leite para sustentar a família no sertão da Paraíba. Tenho a certeza de que ele foi uma das minhas maiores motivações para que, hoje, mais um estudante de Agronomia concluísse um curso iniciado anos atrás.

Foi por meio do esforço dos meus avós e dos meus pais que me tornei quem sou hoje. Sou mais um filho formado por Dagmar e Márcia, meus pais, a quem agradeço imensamente pelos ensinamentos, conselhos e valores que construíram a base sólida do homem que sou atualmente. Vieram do interior da Paraíba, enfrentaram dificuldades e crises com o sonho de vencer na vida e, hoje, posso afirmar que conseguiram.

Agradeço aos meus irmãos, Michel e Micaele, por me fortalecerem e estarem ao meu lado com apoio e bons conselhos. Lembro do dia em que minha irmã me perguntou se eu realmente queria cursar Agronomia, e respondi que sim. Hoje, só tenho a agradecer por aquele questionamento, que reforçou minha escolha.

Agradeço também à minha melhor amiga e noiva, Ially Neves, por estar ao meu lado e me apoiar durante os momentos de maior esforço nesta etapa final do curso. Obrigado pela paciência, pelo incentivo e pela compreensão nos períodos de dedicação intensa e ausência. Sua presença tornou essa caminhada mais leve e fortaleceu minha confiança para continuar seguindo em frente. Esta conquista também carrega um pouco do seu apoio e da sua parceria.

Agradeço ao meu orientador, Nilton Nélio Cometti, que me acolheu nos primeiros semestres da graduação, quando eu buscava projetos para ampliar meus conhecimentos e crescer como profissional e como pessoa. Hoje reconheço que cada projeto e parceria contribuíram significativamente para minha formação. Como resultado desse esforço conjunto, em 2025, durante o evento Agricerrados, recebi menção honrosa pelo trabalho iniciado ao lado do professor. Esse mérito não pertence apenas a mim, mas também a toda a equipe do Grupo de Pesquisa em Tecnologias Sociais e ao IFB – Campus Planaltina.

Agradeço ao IFB, CNPq e à FAPDF pelo apoio e fomento, por meio das bolsas concedidas ao longo dos meus cinco anos de graduação, que foram fundamentais para minha permanência acadêmica, desenvolvimento profissional e crescimento pessoal.

Agradeço a todos os meus amigos que estiveram presentes durante essa trajetória, em especial à Sarah Aline, Sâmila Teles, Amanda Nascimento, Ellen Nascimento e muitos outros que contribuíram significativamente para esta caminhada acadêmica.

Agradeço ao Dr. Lucas Araújo, a Jéssica, ao Bruno e a toda a equipe da Staphyt, que me ajudaram durante o meu primeiro estágio, fortalecendo e complementando os aprendizados adquiridos em sala de aula.

Agradeço ao pesquisador Dr. Marcelo Ayres, à Dra. Núbia Correia, à Me. Érika Moreira, ao João, ao Pedro Augusto e a toda a equipe de forragicultura da Embrapa Cerrados por me acolherem como bolsista durante os anos de 2023 e 2024. Saibam que levei cada ensinamento para a minha vida.

Agradeço à Emater-DF, no escritório de Planaltina–DF, por me acolher como estagiário durante os anos de 2024 a 2026. Foram dois anos de muito aprendizado e crescimento. Em especial, gostaria de agradecer ao Leandro, à Gesinilde Radel, ao Alessandro, à Fraildes e a muitos outros. Saibam que contribuíram significativamente para o meu aprendizado.

Agradeço ao Instituto Federal de Brasília – *Campus* Planaltina por contribuir com a estrutura de ensino, favorecendo meu aprendizado e crescimento profissional.

Por fim, agradeço a todos os meus professores que contribuíram com seus ensinamentos, fortalecendo meu aprendizado e crescimento profissional. Em especial, agradeço à Edilene, à Júlia Eumira, ao Dirceu Macagnan, ao Agrinaldo, à Alessandra, à Fernanda, ao Frederico Lopes, ao Adelmo e a muitos outros que fortaleceram meu aprendizado e me auxiliaram durante toda a graduação.