

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
MESTRADO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

RAFAEL MOLINA FERRARI

ANÁLISE DO CULTIVO DE ALFACE CRESPA EM AMBIENTE PROTEGIDO
BASEADA EM GRANDEZAS FÍSICAS E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

PONTA GROSSA

2019

RAFAEL MOLINA FERRARI

ANÁLISE DO CULTIVO DE ALFACE CRESPA EM AMBIENTE PROTEGIDO
BASEADA EM GRANDEZAS FÍSICAS E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, curso de Mestrado em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Rosane Falate

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Amanda Regina
Godoy Baptistão

PONTA GROSSA

2019

F374 Ferrari, Rafael Molina
Análise do cultivo de alface crespa em ambiente protegido baseada em grandezas físicas e processamento digital de imagens/ Rafael Molina Ferrari. Ponta Grossa, 2019.
87 f.

Dissertação (Mestrado Computação Aplicada – Área de concentração: Computação para Tecnologias em Agricultura) - Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Rosane Falate
Coorientadora: Profa. Dra. Amanda Regina Godoy
Baptistão

1. Processamento de imagem. 2. Ciel*a*b*. 3. *Lactuca sativa*. I. Falate, Rosane. II. Baptistão, Amanda Regina Godoy. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Computação Aplicada. IV. T.

CDD : 005.3


TERMO DE APROVAÇÃO

Rafael Molina Ferrari

ANÁLISE DO CULTIVO DE ALFACE CRESPA EM AMBIENTE PROTEGIDO BASEADA EM GRANDEZAS FÍSICAS E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:


Prof^a Dr^a Rosane Falate
UEPG - Presidente


Prof Dr Juliano Tadeu Vilela de Resende
UEL


Prof^a Dr^a Maria Salete Marcon Gomes Vaz
UEPG

Ponta Grossa, 07 de maio de 2019.

*Dedico este trabalho a todos as pessoas que tiveram ao meu lado nesta jornada.
Especialmente, a minha filha, que junto com a minha esposa, estamos aguardando a sua
chegada.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à DEUS, por estar presente em todos os momentos, presenteando-me com fé e esperança. Também, pelas novas amizades construídas durante o curso.

Agradeço a minha família por terem sempre me apoiado. Especialmente, meus pais, meu irmão, minha esposa Sandra Gomes de Amorin, a minha filha Valentina que ainda não chegou, mas foi a força para esta etapa final.

Agradeço minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Rosane Falate, sempre disposta a ajudar e a minha coorientadora Prof^a. Dr^a. Amanda Regina Godoy Baptistão, que ajudou na escolha do tema e em momentos de dificuldades sobre agronomia.

Agradeço a todos os professores do programa que contribuíram com conhecimento adquirido no decorrer desta caminhada.

Agradeço aos amigos e colegas acadêmicos que contribuíram com esse projeto de diversas maneiras, apoiando-me e ensinando-me. Agradeço aos amigos que entenderam minha ausência durante o curso e sempre me apoiaram.

Agradeço a Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Laranjeiras do Sul/PR, com o Plano de Educação Formal (PLEDUCA), por permitir o meu afastamento integral, permitindo a minha dedicação total ao programa de pós-graduação, disponibilizando espaço na área experimental da estufa e laboratórios para a realização do experimento.

Agradeço aos amigos e colegas da UFFS, especialmente a Ellen Bernardi, Sandro Neckel da Silva, Ronan Maciel Marcos, José Francisco Grillo e Diego Stefano Junges.

Agradeço a Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada, por disponibilizarem toda a estrutura durante o curso.

RESUMO

A alface é a hortaliça folhosa mais consumida no mundo e movimentou no Brasil, em 2013, R\$ 8 bilhões apenas no varejo. Boa parte desse recurso se deve a agricultura moderna, aplicações de tecnologias, que têm colaborado para maximizar a produção, produtividade e diminuir os custos. O processamento digital de imagem, junto com sensores e atuadores, podem contribuir para alcançar o melhor momento para a realização da colheita, assim possibilitando uma melhor lucratividade para o produtor e evitando possíveis prejuízos, tais como, desperdício de água, adubos e fertilizantes, e tempo de produção. Hoje, o processo de colheita é altamente dependente da percepção humana, podendo ocorrer colheitas prematuras ou tardias. O presente trabalho teve por objetivo desenvolver sistemas, para monitoramento das grandezas físicas, aquisição de imagens e processamento digital de imagem. Para o desenvolvimento do hardware foram utilizados os sensores: DHT11, LM35DZ, DS18B20, LDR e WebCam Logitech C920; os atuadores: válvula solenoide e lâmpadas; e os microcontroladores: Arduino e Raspberry PI. Para o processamento digital de imagens foi utilizada a biblioteca OpenCV, por meio da linguagem de programação Java, para o pré-processamento (conversão de espaço de cor, correção da imagem utilizando a morfologia matemática de dilatação e erosão) e o processamento (segmentando a imagem e a classificando em qual cultivar), e, a partir da quantidade de pixels obtidas, foram realizadas análises de desenvolvimento do cultivar, com auxílio de ajuste de funções lineares e gaussianas. Foram realizados dois experimentos um entre junho até agosto e outro de outubro até dezembro de 2018, ambos totalizando 66 dias de cultivo (21 dias de semeadura e 45 dias de desenvolvimento em vaso dentro de estufa) na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul Campus Laranjeiras do Sul/PR. Enquanto que, do ponto de vista agrônômico, no cultivo de inverno a cultivar Palmas diferiu a massa fresca total de outros cultivares, no cultivo de primavera as cultivares Palmas, Crocante e Pira Verde diferiram significativamente a massa fresca das folhas das cultivares Simpson e Grand Rapids. Os resultados obtidos com os ajustes de função indicam a possibilidade efetiva do processamento digital de imagens em ajudar no processo de desenvolvimento da alface, correlacionando a quantidade de pixel correspondente ao cultivar com o crescimento do número referentes a folhagem da alface ao longo do tempo.

Palavras chaves: Processamento de imagem, CIEL*a*b*, *Lactuca sativa*, OpenCV, sensores, irrigação.

ABSTRACT

Lettuce is the most consumed vegetable in the world and has handled R\$ 8 billion just in the retail markets over the year of 2013 in Brasil. A good part of that source is thanks to the modern agriculture, application of technologies, that had helped to maximize production, productivity and to reduce costs. Digital image processing, alongside sensors and actuators, could help to reach the best moment for harvesting, allowing a better profitability for producer and avoiding possible losses, such as waste of water, fertilizer and time. Today, the process is highly dependent on human perception, and premature or late harvests may occur. The objective of this work was to develop monitoring systems of physical quantities, digital image processing and acquisition. For the hardware development: sensors DHT11, LM35DZ, DS18B20 and LDR were used alongside a WebCam (Logitech C920); actuators: solenoid valve and lamps; and microcontrollers: Arduino and Raspberry PI. The OpenCV library was used for the digital imaging processing, and, through the Java programming language, for pre-processing (color space conversion, image correction through dilatation and erosion mathematic morphology) and the processing (image segmentation and classification of variety), and, from the obtained amount of pixels, variety development analysis was carried out, with the help of gaussian and linear function adjustments. Two experiments were carried out, one from june to august and another one from october to december 2018, both totaled 66 days of cultivation (21 days of sowing and 45 days of development in a greenhouse) at the experimental area of the Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) in Laranjeiras do Sul,PR campus. While, from the agronomic point of view, the winter variety Palmas differs from the others on total fresh mass, the summer varieties Palmas, Crocante and Pira Verde significantly differ on leaves fresh mass from Simpson and Grand Rapids varieties. The results obtained through the function adjustments had shown the effective possibilities for digital image processing on helping at lettuce development process, correlating the amount of pixels with the growth lettuce foliage over time.

Keywords: Image processing, CIEL*a*b*, *Lactuca sativa*, OpenCV, sensors, irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Graus de abstração no PDI.....	22
Figura 2 - Etapas envolvidas em sistemas de PDI.....	23
Figura 3 - Imagem monocromática e a convenção utilizada para o par de eixos (x,y).....	25
Figura 4 - Representação geométrica (cúbica) do espaço de cores RGB.....	27
Figura 5 - Representação geométrica do espaço de cor HSV (um tetraedro superior e outro inferior, com base comum): (a) disposição das cores primárias e secundárias em um triângulo resultante de corte transversal e (b) influência da altura do corte em relação a base comum para a intensidade da cor.....	28
Figura 6 - Representação do espaço de cor CIEL*a*b*.....	30
Figura 7 - Limiarização de uma imagem monocromática utilizando valor limite T: (a) histograma original e (b) histograma da imagem binarizada.....	33
Figura 8 - Ilustração de uma visão superior de uma esteira de rolagem: (a) os objetos que podem ser classificados quanto a forma, e (b) objetos agrupados (classificados) quanto a similaridade de forma.....	35
Figura 9 - Exemplo de erosão de X por B. O sinal + em B indica a origem.....	37
Figura 10 - Exemplo de dilatação de X por B. O sinal + em B indica a origem.....	38
Figura 11 - WebCam Logitech, modelo C920.	40
Figura 12 - Microcontroladores: (a) Arduino Uno R3 e (b) Raspberry PI B+.....	41
Figura 13 - Fluxo de dados do sistema.....	43
Figura 14 - Comunicação SPI + Conversor de nível lógico.....	44
Figura 15 - Uma imagem, do total de três imagens, dos cultivares obtida em um momento do experimento.....	46
Figura 16 - Fluxo do sistema de processamento digital de imagens.	47
Figura 17 - Imagem capturada sem recortes, com destaque às regiões fora da área de cultivo e que poderiam ser considerados pixels do cultivar.....	47
Figura 18 - Imagem com regiões que pertencem e não pertencem aos cultivares: (a) original; e identificação visual de como se dá a diferença entre as regiões com e sem cultivo por canal no espaço de cor (b) RBG,(c) HSV e (d) L*a*b*.....	49
Figura 19 - Exemplos de máscaras utilizadas para demarcar a região de cada cultivar em cada repetição (segunda coluna) de acordo com a imagem da webcam (primeira coluna).....	51

Figura 20 - Delineamento experimental utilizado.	52
Figura 21 - Estrutura e instalação das WebCams.	57
Figura 22 - Gráfico calibração dos sensores de temperaturas.	58
Figura 23 - Imagem original utilizada para a segmentação do espaços de cores.	59
Figura 24 - Imagem segmentada utilizando o espaço de cor RGB.	60
Figura 25 - Imagem segmentada utilizando o espaço de cor HSV.	60
Figura 26 - Imagem segmentada utilizando o espaço de cor CIEL*a*b*.	61
Figura 27 - Evolução diária da média de pixels dos cultivares durante o experimento de inverno.	62
Figura 28 - Evolução diária da média de pixels dos cultivares durante a primavera.	63
Figura 29 - Ajuste de função gaussiana na evolução da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C1 no inverno.	64
Figura 30 - Ajuste de função gaussiana na evolução da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C2 no inverno.	65
Figura 31 - Ajuste de função gaussiana na evolução da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C3 no inverno.	65
Figura 32 - Ajuste de função gaussiana na evolução da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C4 no inverno.	66
Figura 33 - Ajuste de função gaussiana na evolução da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C5 no inverno.	66
Figura 34 - Ajuste de função gaussiana de dois picos na evolução diária da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C1 durante a primavera.	68
Figura 35 - Ajuste de função gaussiana de dois picos na evolução diária da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C2 durante a primavera.	68
Figura 36 - Ajuste de função gaussiana de dois picos na evolução diária da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C3 durante a primavera.	69
Figura 37 - Ajuste de função gaussiana de dois picos na evolução diária da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C4 durante a primavera.	69

Figura 38 - Ajuste de função gaussiana de dois picos na evolução diária da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C5 durante a primavera.	70
Figura 39 - Medidas de massas e da média de pixels dos cultivares no inverno.....	71
Figura 40 - Medidas de quantidade de folhas e da média de pixels do cultivar no inverno.	72
Figura 41 - Medidas de massas e da média de pixels do cultivar na primavera.....	73
Figura 42 - Medidas de quantidade de folhas e da média de pixels do cultivar na primavera.	73
Figura 43 - Gráfico da umidade média diária do ar durante o cultivo no inverno.	75
Figura 44 - Gráfico da temperatura média diária do ar durante o cultivo no inverno.	75
Figura 45 - Gráfico da umidade média diária do ar durante o cultivo na primavera.....	76
Figura 46 - Gráfico da temperatura média diária do ar durante o cultivo na primavera.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pinos comunicação SPI.	42
Tabela 2 - Coeficiente Kp para o tanque classe A, para estimativa de ETo.....	54
Tabela 3 - Tabela dos coeficientes de determinação dos cultivares no inverno.....	67
Tabela 4 - Tabela dos coeficientes de determinação dos cultivares na primavera.	70
Tabela 5 - Valores obtidos para a Média de Pixels, Massa Total Fresca, Massa Fresca Folhas e Massa Seca Folhas para os diferentes cultivares avaliados no inverno.	72
Tabela 6 - Tabela média de Pixels, Massa Total Fresca, Massa Fresca Folhas e Massa Seca Folhas na primavera.	74
Tabela 7 - Número de folhas, Massa fresca da folhas (g), Massa seca da folha (g), Comprimento do caule (cm) e Massa fresca total (g) de cinco cultivares de alface cultivadas no período de inverno na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul Campus Laranjeiras do Sul (PR), 2018.....	77
Tabela 8 - Número de folhas, Massa fresca da folhas (g), Massa seca da folha (g), Comprimento do caule (cm) e Massa fresca total (g) de cinco cultivares de alface cultivadas no período de primavera na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul Campus Laranjeiras do Sul (PR), 2018.....	77

SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AP	Agricultura de Precisão
CCD	charge-coupled device - Dispositivos de Carga Acoplada
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage - Comissão Internacional de Iluminação
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor - Semicondutores de Óxido de Metal
I2C	Inter-Integrated Circuit - Circuito Inter-integrado
IDE	Integrated Development Environment - Ambiente de Desenvolvimento Integrado
JPEG	Joint Photographic Experts Group - Grupo de especialista em fotografia
L*a*b*	Luminosidade, tons de verde e de vermelho, tons de azul e de amarelo
LDR	Light Dependent Resistor - Resistor dependente da luz
OMS	Organização Mundial da Saúde
PDI	Processamento Digital de Imagens
RGB	Red, Green, Blue - Vermelho, Verde, Azul
RRD	Round Robin Database - Base de Dados Round-Robin
SPI	Serial Peripheral Interface - Interface Serial Periférica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
1.3	ESTRUTURA.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	ALFACE.....	18
2.2	AMBIENTE PROTEGIDO.....	19
2.3	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM	21
2.3.1	Imagens Digitais	24
2.3.2	Espaço de Cor.....	26
2.3.3	Segmentação.....	32
2.3.4	Representação e Extração de Características	34
2.3.5	Classificação.....	34
2.4	MORFOLOGIA MATEMÁTICA	35
2.4.1	Erosão	36
2.4.2	Dilatação.....	37
3	METODOLOGIA.....	39
3.1	LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS GERAIS DOS EXPERIMENTOS	39
3.2	AQUISIÇÃO DE DADOS DE GRANDEZAS FÍSICAS E DE IMAGEM	40
3.2.1	Sistema de Aquisição de Imagem.....	40
3.2.2	Sistema de Aquisição de Dados de Grandezas Físicas.....	41
3.2.3	Sistema de Monitoramento e de Armazenamento.....	45
3.3	SISTEMA DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	46
3.3.1	Segmentação.....	49
3.3.2	Morfologia Matemática: Dilatação e Erosão.....	50
3.3.3	Classificação dos Cultivares e Contagem de Pixels por Cultivar.....	50
3.3.4	Análise dos Dados Computacionais	51
3.4	AGRÔNÔMICO.....	52
3.4.1	Semeadura, Transplante e Distribuição das Mudas.....	52
3.4.2	Delineamento Experimental	52
3.4.3	Irrigação.....	53

3.4.4 Colheita.....	54
3.4.5 Análise dos Dados Agronômicos	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1 COMPUTACIONAL	56
4.1.1 Avaliação do Sistema de Aquisição de Imagem	56
4.1.2 Avaliação do Sistema de Aquisição das Grandezas Físicas	57
4.1.3 Segmentação.....	59
4.1.4 Classificação.....	61
4.2 AGRONÔMICO.....	74
4.2.1 Resultados Gerais	74
4.2.2 Análise Estatísticas	77
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	80
5.1 TRABALHOS FUTUROS	81
REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

Entre as hortaliças folhosas, a alface é a mais consumida no mundo, sendo utilizada in natura na forma de saladas (SALA; COSTA, 2012). No Brasil, a alface é a folhosa mais consumida (SANTOS et al., 2015), movimentando no ano de 2013, apenas no varejo, R\$ 8 bilhões; com uma produção de mais de 1,5 milhão de toneladas ao ano (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS, 2016).

A alface tem origem em regiões de clima temperado, necessitando de temperaturas amenas para um melhor desenvolvimento das folhas. Segundo Radin et al. (2004), e Lima Júnior et al. (2011), a temperatura máxima aceitável para a maioria dos cultivares fica em torno de 30 °C e a mínima em 6 °C. A umidade relativa do ar ideal para um bom desenvolvimento do cultivar, é entre 60 a 80 %, podendo apresentar melhor desempenho em determinadas fases com valores inferiores a 60 %. A umidade relativa do ar superior a 80 % pode favorecer a incidência de doenças, causando problema principalmente no cultivo em estufas plásticas (RADIN et al., 2004; LIMA JÚNIOR et al., 2011).

A agricultura moderna visa maximizar a produção, produtividade e diminuição de custos, possibilitando um retorno econômico maior ao produtor. Uma alternativa para produção de folhosas em épocas com condições climáticas desfavoráveis é o uso de casas de vegetação, que são estruturas geralmente cobertas com materiais transparentes, protegendo a planta das condições climáticas externas (BELTRÃO; FILHO; FIGUEIRÊDO, 2002).

Oliveira (1995), divide em quatro tipos de estrutura as casas de vegetação: de vidro climatizadas, de vidro semi-climatizadas, casas de plástico semi-climatizadas e casas de plástico tipo “guarda-chuva”.

Segundo Amaral et al. (2014), a utilização de diversas técnicas de processamento digital de imagens (PDI) é uma alternativa para a modernização da agricultura. Dentre essas técnicas, está a classificação de imagens, utilizada para obter informações a respeito de determinados objetos presentes nas imagens utilizando-se do agrupamento de pixels em classes ou temas específicos, e assim possibilitando um acréscimo de informações quanto à produtividade.

Para García-Mateos et al. (2014), uma das características mais difundidas na aplicação do PDI junto a agricultura é a utilização da segmentação por cor, embora nem todas as técnicas do PDI trabalhem com esta característica, sendo que algumas delas utilizam as bordas, formas, textura, entre outras. A utilização das cores tem algumas vantagens: simplicidade, robustez, potência e eficiência. A cor é, principalmente, utilizada para aplicações relacionadas ao

monitoramento de cultivos, controle de qualidade de frutas e vegetais, controle de plantas daninhas e acompanhamento de culturas por meio de imagens de satélite (GARCÍA-MATEOS et al., 2014).

Para Marques Filho e Vieira Neto (1999), a cor é um eficiente descritor das propriedades de um objeto. No entanto, a segmentação por cor, é um fator considerado de alta complexidade no desenvolvimento de sistemas de processamento de imagens. Para determinar os limites do objeto identificado, algumas técnicas de segmentação utilizam fronteiras de cores na imagem, separando o objeto de interesse do plano de fundo, este sendo toda informação que não caracteriza o objeto de interesse. Essa segmentação pode implicar em ruídos. Caso o plano de fundo não seja uniforme, o processo de segmentação pode considerar fragmentos do plano de fundo como objetos de interesse (FRANCO, 2017).

O PDI é composto por várias etapas em cascata, definidas por Marques Filho e Vieira Neto (1999): aquisição, pré-processamento, segmentação, extração de características, reconhecimento e interpretação, onde a etapa de saída de um processo se torna a entrada do processo seguinte. Assim, a qualidade de resultado de cada etapa fica diretamente dependente da qualidade da etapa anterior. Com esse princípio, para o sucesso da construção de um sistema baseado em técnicas do PDI é necessário considerar os fatores que aumentam a qualidade do resultado, desde a aquisição, que é a primeira etapa (FRANCO, 2017).

Um dos principais fatores que influenciam na qualidade de aquisição das imagens é a iluminação. Essa, para ocorrer de forma adequada, deve ter intensidade e coloração que não modifique as características do objeto. Uma imagem capturada com iluminação inadequada pode apresentar ruídos indesejados, tais como, sombra projetada ou reflexos, que podem prejudicar etapas posteriores, como a incorreta identificação dos objetos, validando os ruídos como parte do objeto (FRANCO, 2017).

Portanto, sabendo-se que o PDI, ao possibilitar o monitoramento do desenvolvimento de cultivos, pode auxiliar na determinação do momento de colheita da alface; e que cada cultivar pode ter um ritmo de desenvolvimento e dependente de algumas grandezas físicas, como temperatura e umidade, desenvolveu-se, os sistemas computacionais para coletar a variação das diferentes grandezas físicas e de imagens do desenvolvimento de alface crespa em estufa ao longo do tempo. A partir disso, tinha-se que buscar um modelo matemático para determinar o melhor momento para colher alfaces em um ambiente controlado (estufa).

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver sistemas computacionais e obter características agronômicas de desenvolvimento do cultivar para avaliação do desenvolvimento de cultivares de alface nas estações (inverno e primavera) da região centro-sul paranaense, determinar um possível modelo matemático para tentar estimar o momento correto, dentro de cada uma destas estações, para a realização da colheita dos cultivares, e as diferenças de desenvolvimento entre os cultivares para as estações em análise.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Como objetivos específicos, têm-se:

- Analisar o desenvolvimento de cinco cultivares da alface, nas estações (inverno e primavera) da região centro-sul paranaense;
- Avaliar e monitorar a temperatura, umidade do ar e luminosidade do ambiente durante o desenvolvimento dos cultivares;
- Controlar a umidade do solo durante do desenvolvimento dos cultivares;
- Caracterizar o desenvolvimento do hardware (para coleta dos valores de temperatura, umidade e luminosidade, e de imagens ao longo do tempo);
- Caracterizar os métodos utilizados no processamento digital das imagens de alface coletadas ao longo do tempo;
- Analisar os dados obtidos a partir do processamento digital de imagens e das variáveis de grandeza físicas ao longo do tempo, para determinar modelos matemáticos para cada cultivar e o tempo de colheita; e
- Avaliar as características de desenvolvimento dos cultivares da alface nas estações da região centro-sul paranaense (inverno e primavera);

1.3 ESTRUTURA

Este trabalho está estruturado em 5 Capítulos, sendo o primeiro este de introdução. No Capítulo 2 são apresentados fundamentos e conceitos envolvidos e utilizados nesta pesquisa quanto ao processamento digital de imagens; à estufa; e à cultura da alface. Também é apresentada a revisão bibliográfica de trabalhos relacionados à pesquisa desenvolvida. No Capítulo 3 é descrita a metodologia e os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

Os resultados são apresentados e discutidos no Capítulo 4, enquanto as conclusões e perspectivas de trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo 5.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ALFACE

A alface (*Lactuca sativa*) é uma hortaliça folhosa pertencente à família *Asteraceae*, possuindo grande versatilidade em forma, cor e textura das folhas, caracterizando vários tipos para a comercialização (CORREIA, 2013). Segundo Křístková et al. (2008), a alface é originária do mediterrâneo oriental, onde indícios encontrados em tumbas egípcias datam em forma de pinturas 2.500 anos antes de Cristo.

Os primeiros relatos no Brasil foram em 1583, com o Padre Jesuíta Fernão Cardim relatando que alfaces, abóboras, couves, pepinos, rabanete, nabos, mostarda, hortelã, coentros, endros, funchos, ervilhas, gergelim, cebolas, alhos, e outras hortaliças adaptaram-se bem na nova terra (MADEIRA; REIFSCHNEIDER; GIORDANO, 2008).

Correia (2013), define botanicamente a alface sendo constituída de caule curto, não propagado, onde se prendem as folhas, estas sendo amplas e crescendo em roseta ao redor do caule; as folhas podem ser lisas ou crespas, em vários tons de verde ou roxo, e podendo formar cabeça ou não. O sistema radicular é muito ramificado e superficial, com a raiz pivotante explorando apenas os primeiros 25 cm de solo quando transplantada em campo e podendo alcançar 60 cm em semeadura direta. Na fase reprodutiva, emite um pendão floral (haste) com flores amareladas agrupadas em cachos, produzindo maior quantidade de lactoaria, que é uma substância leitosa e amarga.

Segundo Křístková et al. (2008), a cultura da alface é formada por sete grupos principais de cultivares que diferem fenotipicamente, e geralmente descritos como morfotipos. Osório (2015), define os setes principais grupos: (i) a alface lisa (*Butterhead lettuce*) possui folhas lisas e macias, que são consumidas cruas; (ii) a americana (*Crisphead lettuce*) possui folhas grossas com venação flabelada, que são consumidas cruas, e que formam cabeças compacta; (iii) a romana (*Cos lettuce*) possui folhas alongadas, nervuras proeminentes e que formam cabeça frouxa; (iv) a alface crespa no Brasil (*Cutting lettuce*) normalmente é comercializada como rosetas inteiras e não forma cabeça; (v) a Stalk (*Asparagus lettuce*), quando nova, tem suas folhas consumidas cruas, forma hastes e folhas que são colhidas como as couves manteigas; (vi) a Latin (*Latin lettuce*) tem suas folhas grossas e verde escuras, que são consumidas cruas, e que formam cabeças soltas; e (vii) a Oilseed (*Oilseed lettuce*) não é comestível, sendo formada de folhas muito amargas e sementes com até 35 % de óleo.

A alface é uma fonte de sais minerais e vitaminas (A, B1, B2 e C), além de ser rica em fósforo, potássio, sódio, ferro e certos fitoquímicos, como os flavonóides e lactucina, conservando todas as suas propriedades nutritivas por ser consumida in natura (CORREIA, 2013; BARBOSA et al., 2016).

A cultura da alface é um muito exigente em água, é uma hortaliça folhosa que apresenta grande superfície de transpiração e requer o manejo adequado da irrigação, importante para minimizar problemas com doenças, extração de nutrientes e suprir as necessidades da planta (KOETZ et al., 2006; ALBUQUERQUE et al., 2017).

Resende et al. (2007), relatam que o sistema de irrigação por aspersão é o mais utilizado nos cultivos de alface, porém o sistema por gotejamento vem ganhando espaço no cultivo da alface, por possibilitar economia de água, aspecto importante para os sistemas agroecológicos.

Devido à sua curta vida na pós-colheita, a alface é normalmente plantada próximo aos centros consumidores perto de áreas metropolitanas, os chamados “cinturões-verdes” (HENZ; SUINAGA, 2009).

Sala e Costa (2012), relatam algumas tendências para o agronegócio da alface no Brasil: novas tipologias de alface e aumento da importância de tipos poucos explorados; diferentes formas de comercialização, embalagens e armazenamento; melhoramento genético para tropicalização da alface; e crescimento do cultivo protegido e hidropônico.

2.2 AMBIENTE PROTEGIDO

Segundo Reis (2005), as características principais de uma casa de vegetação de plástico são a eficiência e a funcionalidade. Entende-se por eficiência, a oferta de um determinado elemento do clima de forma não estática, respeitando os limites fisiológicos da cultura de uma forma não fixa; e a funcionalidade, do ponto de vista técnico e/ou econômico, um conjunto de requisitos que permitiria a melhor utilização da casa de vegetação.

Os modelos de estufas diferenciam-se principalmente por sua influência direta na permissibilidade de entrada da luz solar, baseando-se na forma da sua cobertura. Tibiriçá; Brito e Baêta (2004), definem alguns fatores importantes na construção de estufas, como a orientação e a dimensão, responsáveis por deixar homogêneo a temperatura do ambiente interno. Outro fator relevante é o vento, principal responsável pelos danos nas estruturas e pelo rompimento

do filme plástico das estufas, sendo assim, um fator a ser considerado durante a fase de implantação dessas edificações.

O controle de parâmetros ambientais como temperatura, umidade do solo, umidade do ar, luz e precipitação são fatores importantes levando-se em consideração a produção de hortaliças (ZADE; HARWANI; BAWANKULE, 2017). A casa de vegetação, por exemplo, pode ser uma proteção a estas variáveis ambientais, principalmente para a produção de olerícolas, evitando o contato direto com chuva e com o granizo. De fato, as exigências físico-ambientais de temperatura e radiação, fazem os vegetais se comportarem de acordo com a determinada estação ou época climática, e a estufa pode ser uma maneira de condicionar o comportamento dos vegetais com o que for necessário (TIBIRIÇÁ; BRITO; BAÊTA, 2004).

Para o acompanhamento do ciclo de desenvolvimento das plantas dentro das estufas é necessária a dedicação de uma pessoa, ficando a critério desta analisar e atuar nas diversas necessidades, como no controle de umidade do ar, umidade do solo e temperatura.

Enquanto que Zhang et al. (2015), define o cultivo em estufa como uma forma importante da agricultura moderna, e, por isto, vem recebendo maior atenção. As principais características da estufa moderna são a introdução de tecnologia de sensores, tecnologia embutida, e tecnologia de comunicação em projetos de sistema para monitoramento e controle de ambiente.

O sistema de irrigação em casas de vegetação deve levar em consideração os parâmetros da cultura que será produzida, o tipo de plantio e o sistema de produção (BELTRÃO; FILHO; FIGUEIRÊDO, 2002).

Explicando de outra forma, o sistema de irrigação ideal para a cultura que estará em desenvolvimento na casa de vegetação é aquele que melhor beneficia o desenvolvimento da mesma. Um dos métodos mais utilizados é a de irrigação localizada, dentre eles, o método de gotejamento, porém, para alcançar resultados satisfatórios, é importante conhecer o manejo adequado da água de irrigação para a utilização deste método no interior dessas estruturas (ANDRADE JÚNIOR; KLAR, 1997). No caso da alface, para obter uma boa produção, é necessária a utilização de irrigação para suprir de forma total ou suplementar as necessidades hídricas da cultura (MAGALHÃES et al., 2015).

Dentre os métodos para efetuar o manejo da água de irrigação, destaca-se o método do Tanque Classe A, que deve ser instalado próximo a cultura a ser irrigada. Esse método, de fácil utilização e de custo relativamente baixo, permite obter resultados satisfatórios para a estimativa da necessidade hídrica das plantas cultivadas, mesmo que haja, em algumas

situações, superestimativa da demanda, pois associa os efeitos integrados dos diferentes fatores que influenciam na evapotranspiração da cultura. A superestimativa da evapotranspiração da cultura pode ser equilibrada utilizando um coeficientes empíricos denominados fator de evaporação do Tanque Classe A, correlacionando estes efeitos (elementos climáticos) com a necessidades real hídricas da cultura (ANDRADE JÚNIOR; KLAR, 1997).

Para Zade; Harwani e Bawankule (2017), a aplicação de tecnologia em um ambiente de estufa pode melhorar a eficiência e segurança da produção, reduzir o custo de produção, promover a melhoria na automação agrícola, e melhorar o nível de gerenciamento de funcionários, trazendo benefícios econômicos e sociais.

2.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM

A Marques Filho e Vieira Neto (1999), relatam que o grande impulso do uso de técnicas computacionais de aprimoramento de imagens ocorreu em 1964, quando imagens da lua, transmitidas por uma sonda, eram processadas por computador, com a finalidade de corrigir vários tipos de distorção, ocorridos pela câmera de TV acoplada a sonda.

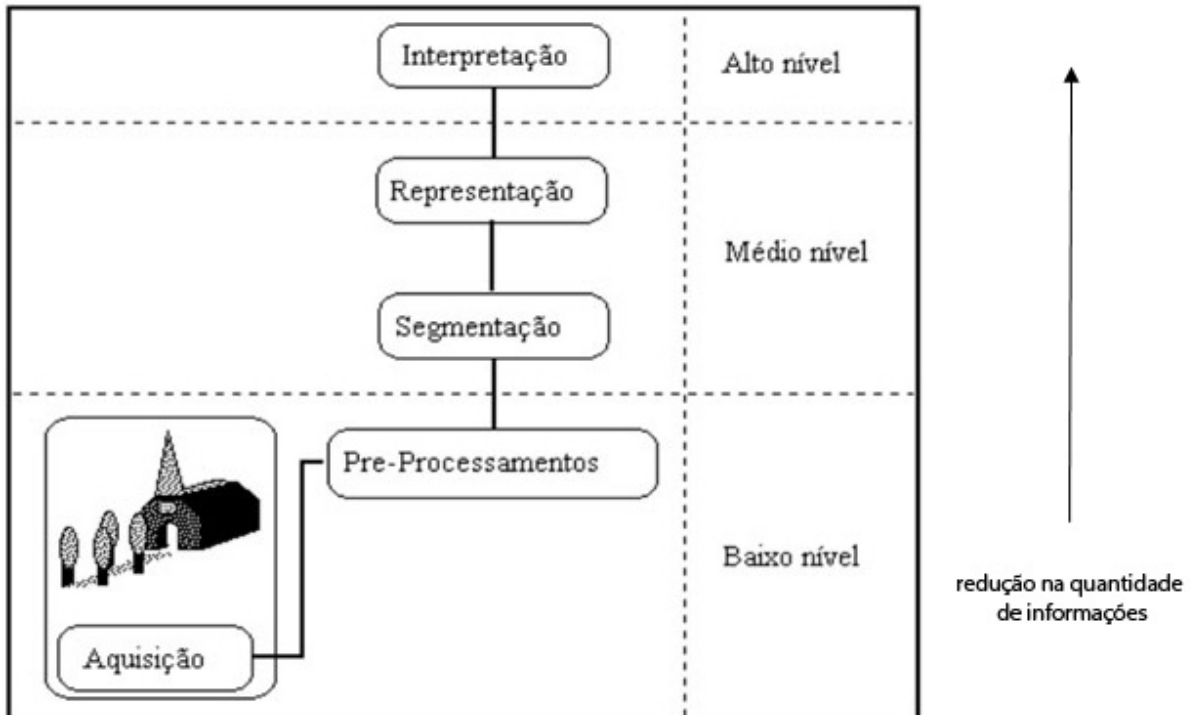
Franco (2017), menciona a área de processamento digital de imagens como o processamento de imagens digitais por um computador, utilizando-se do desenvolvimento de ferramentas com o objetivo de simular computacionalmente as habilidades do sistema visual humano, proporcionando a interação do objeto investigado com o computador, construindo bases de conhecimento e experiência.

Facon (2002), define um sistema genérico mínimo de processamento de imagens sendo constituído por: captadores de visão, uma parte para aquisição-digitalização de imagens, uma memória para as mesmas, um computador que pode ter acesso a essa memória, e um conjunto de ferramentas que permita visualizar o conteúdo da memória. Assim, o sistema adquire, processa e visualiza imagens.

Ainda, segundo Facon (2002), o PDI pode ser classificado em relação ao grau de abstração em três níveis distintos: baixo, médio e alto. Conforme demonstrado na Figura 1, ocorrendo uma redução progressiva de ordem crescente na quantidade de informações manipuladas conforme se modifica os níveis. Como processamento de baixo nível, os pixels da imagem original são os dados de entrada enquanto os valores numéricos associados a cada pixel, representando as propriedades da imagem, são os dados de saída. O processamento de nível médio é a transformação desse conjunto de valores do nível mais baixo em uma lista de

características. No processamento de alto nível há a interpretação do conteúdo da imagem a partir da lista de características do nível médio.

Figura 1 - Graus de abstração no PDI.

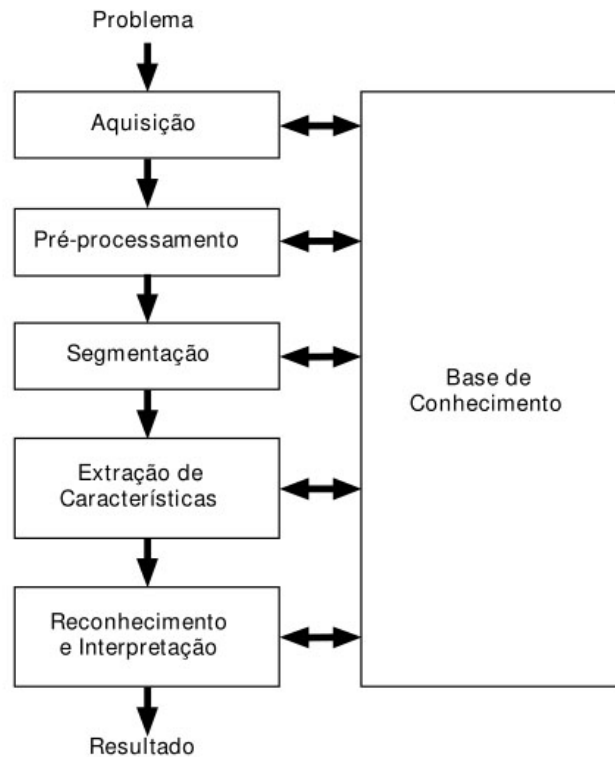


Fonte: Adaptada de Facon (2002).

O PDI não é uma tarefa simples, pois envolve várias tarefas interligadas (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999), (Figura 2), iniciando com a aquisição (captura) de uma imagem, que corresponde à iluminação que é refletida na superfície de um objeto e processada através de um sistema de aquisição; sendo continuada pelas etapas de pré-processamento, onde envolve processos computacionais como a filtragem de ruídos e a correção de distorções geométricas causados pelos sensores. Em seguida está a segmentação, em que os objetos de interesse são separados do plano de fundo; a representação e extração de características, em que é buscado um agrupamento de detalhes do objeto analisado que venha ser igual ao propósito da classificação; e o reconhecimento e interpretação (classificação), que relaciona as propriedades extraídas da amostra e atribui a mesma identificação para as imagens com características semelhantes, colocando-as em um mesmo grupo (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; QUEIROZ; GOMES, 2001; FRANCO, 2017).

Para Marques Filho e Vieira Neto (1999), um sistema de PDI deveria permitir a realimentação entre as etapas descritas anteriormente usando a base de conhecimento armazenada. Porém, essa integração entre as várias etapas através da base de conhecimento acaba tornando-se um objetivo difícil de alcançar.

Figura 2 - Etapas envolvidas em sistemas de PDI.



Fonte: (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999)

Para Franco (2017), as etapas exibidas na Figura 2 nem sempre estão presentes nos sistemas baseados em processamento digital de imagens, pois depende do problema que os sistemas necessitam resolver e das imagens adquiridas como entrada. Marques Filho e Vieira Neto (1999), adicionam que a maioria das técnicas descritas estão delimitadas até o bloco de 'pré-processamento'.

O processamento de imagens permite viabilizar grande número de aplicações, dividindo-as em duas distintas categorias (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999):

- Aquelas que desejam aprimorar informações de imagens para interpretação humana; e
- Aquelas que necessitam de análise automática por computador de informações extraídas de uma imagem, podendo, desta maneira, ter aplicações do PDI em quase todos os ramos da atividade humana, tais como:
 - o Medicina, na avaliação de imagens para diagnósticos;
 - o Biologia, na avaliação de imagens obtidas de microscópios;
 - o Geografia, na avaliação de imagens captadas por satélites;
 - o Arqueologista, na recuperação de fotos borradas de artefatos raros;

- Automação industrial, como visão artificial em tarefas como controle de qualidade em linha de produção;
- Inúmeras outras áreas distintas como: Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, Meteorologia, Astronomia, Segurança, Publicidade e Direito, são beneficiadas com os avanços nas áreas de processamento de imagens e de visão por computador.

Junior et al. (2015), definem a combinação da tecnologia da informação e comunicação com a agropecuária em três categorias, baseado no fluxo que vai da observação do cenário a tomada de decisões:

- Geração de dados a partir da realidade observada: sendo basicamente o objetivo da Agricultura de Precisão (AP), gerando uma quantidade de dados relacionados há diferentes aspectos da cadeia agroindustrial;
- Tratamento dos dados de modo a gerar informações relevantes: é o processo onde ocorre a transformação dos dados em informações úteis; dentre as tecnologias capazes de realizar esta tarefa, existem as técnicas de modelagem baseados nos dados gerados, processamento digital de imagens e visão computacional; e
- Exploração das informações a fim de subsidiar a tomada de decisões: é a integração de toda informação proveniente de diferentes fontes, de modo que possa ser explorada de maneira sistêmica, sendo um dos desafios da pesquisa agropecuária.

Portanto, o PDI pode auxiliar na tomada de decisões de um cenário agrícola.

2.3.1 Imagens Digitais

Para Acharya e Ray (2005), a imagem é formada por três componentes básicos: a iluminação, os modelos de reflectância das superfícies que são fotografadas e o processo de formação da imagem no plano do sensor da câmara. A representação da imagem digital ocorre em formato apropriado para que possa ser processada e manipulada por um computador digital para diversas aplicações.

Uma imagem digital monocromática pode ser definida como sendo um conjunto de pontos (pixels), correspondendo a uma unidade de informação, formada através de uma função bidimensional $f(x,y)$, onde x e y são coordenadas espaciais e o valor de f no ponto (x,y) representa o brilho ou nível de cinza da área correspondente ao pixel (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; FIGUEIREDO, 2005; GONZALEZ; WOODS, 2008). Normalmente,

posiciona-se a origem da imagem no canto superior esquerdo, como mostra a Figura 3 (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; FRANCO, 2017).

Figura 3 - Imagem monocromática e a convenção utilizada para o par de eixos (x,y).



Fonte: (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Para imagens coloridas, que possuem informações em intervalos ou bandas distintas de frequência, a função $f(x,y)$ se faz necessária para cada banda. Por exemplo, imagens coloridas armazenadas no padrão ou espaço de cor RGB são formadas pelas informações das cores primárias aditivas vermelha (R - *Red*), verde (G - *Green*) e azul (B - *Blue*) (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Várias características extraídas de uma imagem são utilizadas para reconhecer objetos, tais como, forma, textura e outros recursos de imagem de baixo nível, e as informações de cores usadas com sucesso em muitos aplicativos de processamento de imagens (ACHARYA; RAY, 2005).

A utilização de cores no processamento digital de imagens pode decorrer de dois fatores (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999):

- Para reconhecimento de padrões: na análise automática de imagens, a cor é uma poderosa característica para definição de um objeto, podendo simplificar sua identificação e segmentação.
- Para reconhecimento utilizando a intervenção humana: o olho humano pode diferenciar milhares de alterações de modo gradativo da cor em diferentes matizes e tonalidade, no entanto, sua capacidade de distinguir os diferentes tons de cinza não passa de algumas poucas dezenas diferentes.

2.3.2 Espaço de Cor

Para García-Mateos et al. (2014), o conceito de espaço de cor pode ser definido como o espaço n-dimensional induzido por todas as tuplas possíveis deste modelo ou espaço. Cada dimensão de um espaço de cor é geralmente chamada de canal ou classe de cor. Todos os principais modelos de cores utilizados no processamento de imagens consistem em 3 canais, devido à percepção humana da cor.

Cada modelo de cor define cores de maneira diferente, gerando formas distintas e níveis de sobreposição entre as distribuições das classes. A eficiência de um modelo pode ser definida em dois termos: separabilidade, que é a capacidade de separar as distribuições de diferentes classes no espaço de cor; e generalização, que é a capacidade de classificar corretamente amostras diferentes das utilizadas durante o treino (GARCÍA-MATEOS et al., 2014).

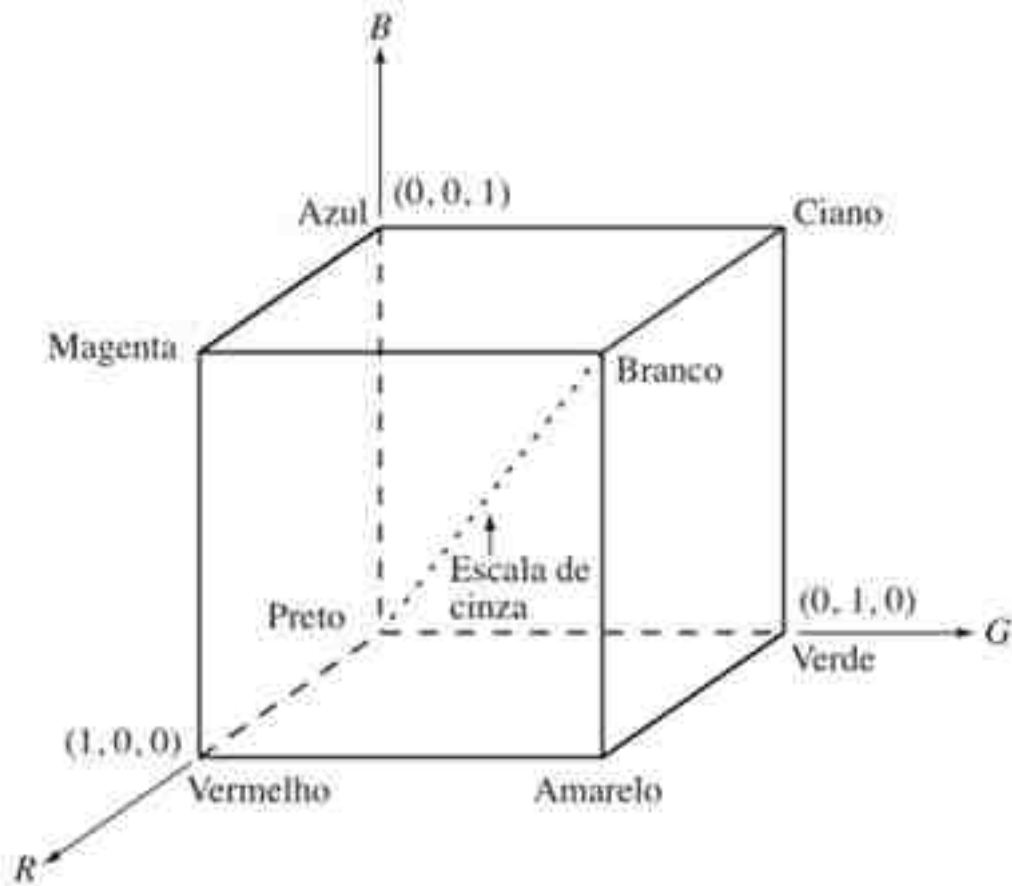
Gonzalez e Woods (2010), relatam que entre os diversos espaços de cor, os mais utilizados e conhecidos são o modelo RGB, por ser comumente empregado em monitores coloridos e em grande números de câmeras de vídeo em cores e o HSV, onde H (*hue*) é a matiz, S (*saturation*) corresponde à saturação (S) e V (*value*) representa o valor ou a intensidade. Solomon e Breckon (2013), Franco (2017), acrescentam que existe outro espaço de cor que é bastante utilizado, o adotado pela CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage* - Comissão Internacional de Iluminação), o CIEL*a*b* (Luminosidade, tons de verde e de vermelho, tons de azul e de amarelo). No geral, todos esses espaços são obtidos por transformações do modelo RGB, no qual as imagens são capturadas originalmente (GARCÍA-MATEOS et al., 2014).

O espaço de cor RGB é mais difundido em dispositivos de captura e exibição. Conforme já explicado anteriormente, ele é baseado em um modelo de mistura aditiva das cores vermelha, verde e azul (GARCÍA-MATEOS et al., 2014). Esse modelo é baseado coordenadas cartesianas, sendo o cubo o subespaço de cores de interesse, (Figura 4), onde os valores RGB

primários estão em três vértices; as cores secundárias: ciano, magenta e amarelo estão nos outros três vértices; o preto está na origem; e o branco está no vértice mais distante da origem (GONZALEZ; WOODS, 2010).

A escala de cinza no espaço de cor RGB são pontos de valores RGB iguais, estendendo do preto até o branco, e representado pelo segmento de reta que une os vértices do preto e do branco. As diferentes cores no RGB são definidas por vetores que se estendem a partir da origem e representam pontos no cubo ou dentro dele. O espaço de cor RGB tem a sua melhor aplicação para a geração de imagens coloridas e tem limitação na descrição de cores (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Figura 4 - Representação geométrica (cúbica) do espaço de cores RGB.



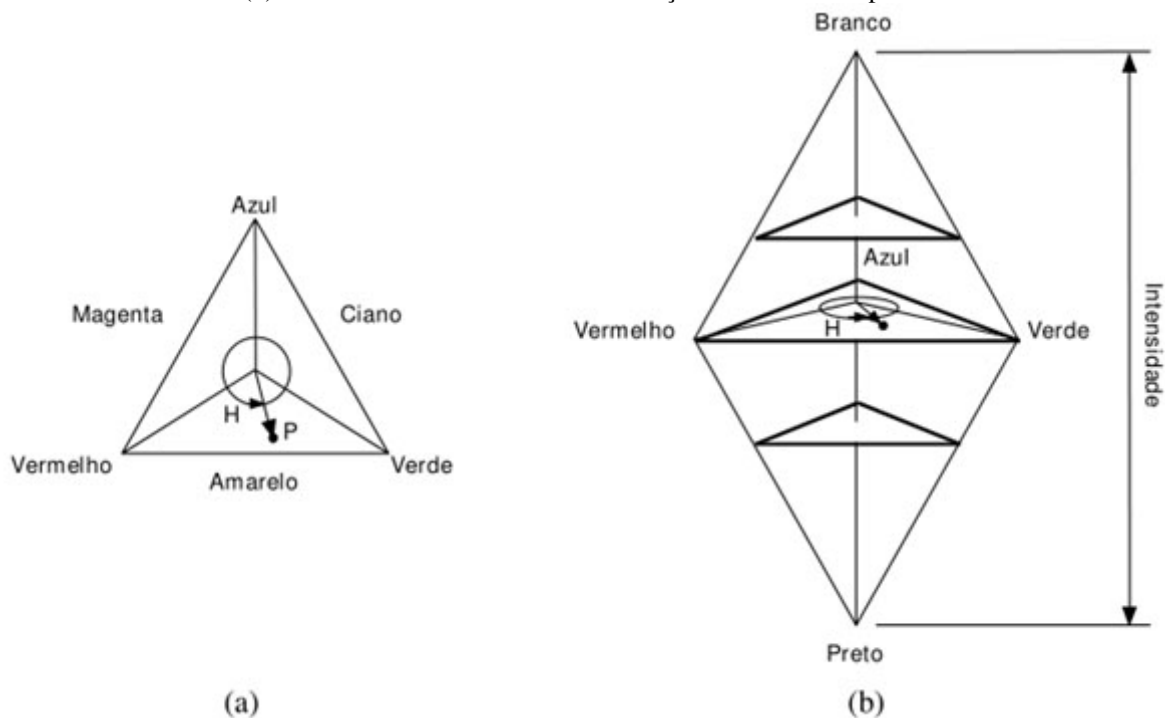
Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 2010).

O espaço de cor HSV, como também já mencionado, permite separar a informação de cor de uma imagem nas componentes de matiz, saturação e intensidade. Esse modelo de cor representa as cores da maneira percebida pelos seres humanos (ACHARYA; RAY, 2005). Com essa característica, o HSV se transforma em um espaço de cor ideal para o desenvolvimento de algoritmos de processamento de imagens com base em descrições de cores que são naturais e

intuitivas para os seres humanos como, por exemplo, em um sistema automatizado de colheita de frutas, onde se faz necessário determinar se a fruta está suficientemente madura para ser colhida a partir de sua coloração externa (GONZALEZ; WOODS, 2010).

O modelo HSV pode ser visto geometricamente como um sólido (um tetraedro superior e outro inferior, com base comum), (Figura 5). Os cortes horizontais, (Figura 5 [b]), produzem triângulos nos quais os vértices contêm as cores primárias, nos lados estão as cores secundárias, e o centro corresponde à combinação das cores citadas em iguais proporções, (Figura 5 [a]). Conforme a altura em que o corte tenha sido efetuado, a cor estará mais próxima do preto ou do branco (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Figura 5 - Representação geométrica do espaço de cor HSV (um tetraedro superior e outro inferior, com base comum): (a) disposição das cores primárias e secundárias em um triângulo resultante de corte transversal e (b) influência da altura do corte em relação a base comum para a intensidade da cor.



Fonte:(MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Chernov; Alander e Bochko (2015), Saravanan; Yamuna e Nandhini (2016), Franco (2017), demonstram que a conversão do espaço de cor RGB para HSV pode ser realizada conforme a Equação 1, onde $m = \min(R,G,B)$, é o valor mínimo entre os valores dos canais R, G e B, e $M = \max(R,G,B)$, é o maior valor entre os valores dos canais R, G e B.

$$H = \begin{cases} 60 \frac{(G - B)}{(M - m)}, & \text{se } M = R \\ 60 \frac{(B - R)}{(M - m)} + 120, & \text{se } M = G \\ 60 \frac{(R - G)}{(M - m)} + 240, & \text{se } M = B \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} \frac{(M - m)}{M}, & \text{se } M \neq 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

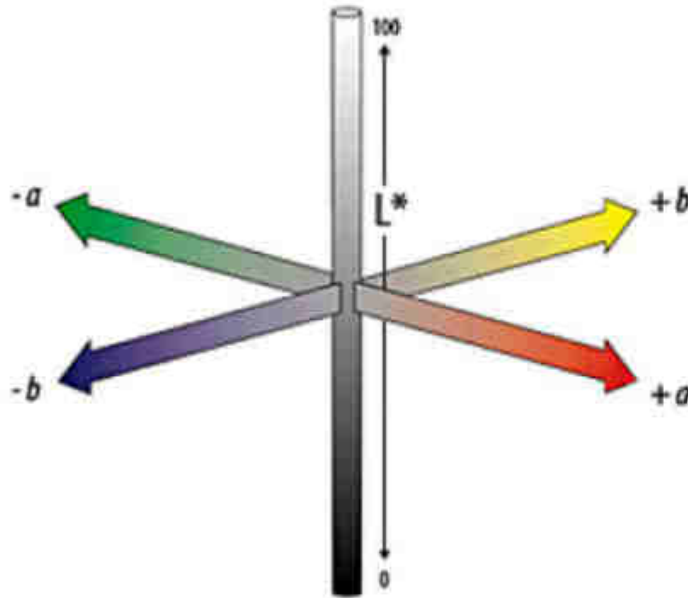
$$V = M$$

(1)

Outro modelo de cor é o CIEL*a*b* ou CIELAB, proposto pelo CIE para aplicações industriais de cor. Nesse espaço de cor as definições dos canais são de modo a obter representações de cor perceptivelmente uniformes, sendo as diferenças nos espaços proporcionais às diferenças subjetivas na percepção humana. O modelo consiste em um canal de luminância (L^*) e dois canais de cromaticidade, o canal a^* é um eixo verde-vermelho e b^* é um eixo azul-amarelo, (Figura 6) (GARCÍA-MATEOS et al., 2014).

O espaço de cor CIEL*a*b* tem como principal característica a distância euclidiana entre dois pontos de cor, que corresponde à diferença perceptual entre as duas cores pelo sistema de visão humana. Essa propriedade tornou esse modelo de cor particularmente atrativo e útil para a análise de cores. A superioridade do CIEL*a*b* sobre outros espaços de cores foi demonstrada em muitas aplicações de imagens coloridas como, por exemplo, nos trabalhos de (ACHARYA; RAY, 2005; LEITE, 2006).

Figura 6 - Representação do espaço de cor CIEL*a*b*.



Fonte: (LEITE, 2006).

A conversão do espaço de cor RGB para CIEL*a*b* ocorre em duas etapas: primeiramente o modelo RGB é convertido para o espaço de cor CIE XYZ, onde XYZ representam os valores triestímulos que definem um espaço tridimensional, que originou o L*a*b*, Equação 2 (a); posteriormente esse modelo é convertido para o modelo CIEL*a*b*, com base na Equação 2 (b), considerando $f(t) = t^{1/3}$ se $t > 0,008856$, ou, caso contrário, $f(t) = 7,787t + 16/116$. Sendo que X_n , Y_n e Z_n são as coordenadas do ponto neutro.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,490 & 0,310 & 0,200 \\ 0,177 & 0,813 & 0,010 \\ 0,000 & 0,010 & 0,990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (a)$$

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16, & \text{se } \frac{Y}{Y_n} > 0,008856 \\ 903,3 \left(\frac{Y}{Y_n} \right), & \text{se } \frac{Y}{Y_n} \leq 0,008856 \end{cases}$$

$$a^* = 500 \left[f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right] \quad (b)$$

$$b^* = 200 \left[f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right] \quad (2)$$

2.3.2.1 Aquisição de imagens

A etapa de aquisição tem como objetivo transformar uma imagem em uma representação numérica adequada para o processamento digital subsequente. Essa etapa é composta por dois principais elementos Marques Filho e Vieira Neto (1999): o sensor e o módulo de conversão de sinais.

O sensor é um componente eletrônico com sensibilidade às radiações de uma faixa de energia no espectro eletromagnético, produzindo como resposta um sinal elétrico proporcional ao nível de energia detectado. São exemplos de sensores de radiação eletromagnética os sensores de: raio X, ultravioleta, espectro visível, e raios infravermelhos (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

O segundo elemento da etapa de aquisição é o módulo, que tem a função de converter o sinal elétrico analógico, proveniente do sensor, em informação digital, representado por bits 0 (zero) e 1(um). Há vários dispositivos para aquisição de imagens, sendo as câmeras, scanners e satélites os mais difundidos (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

A aquisição utilizando câmeras efetivamente ocorre quando uma cena real tridimensional é convertida em uma imagem eletrônica com a redução de dimensionalidade, passando para bidimensional (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; SCURI, 2002). As intensidades na imagem são provenientes da captura de uma parcela da luz refletida da cena na lente da câmera, com base no modelo de projeção do dispositivo (FRANCO, 2017).

Os principais sensores utilizados nas câmeras são os dispositivos de carga acoplada CCD (*charge-coupled device*) e semicondutores de óxido de metal CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*).

O CCD monocromático consiste de uma matriz de células semicondutoras fotossensíveis, que atuam como capacitores, armazenando carga elétrica proporcional à energia luminosa incidente. Já para imagens coloridas é necessário um conjunto de prismas e filtros de cor encarregados de decompor a imagem colorida em suas componentes R, G e B, cada qual capturada por um CCD independente (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

O sinal elétrico produzido no CCD monocromático é condicionado por circuitos eletrônicos especializados, que produz um sinal de saída chamado Sinal Composto de Vídeo (SCV) analógico. Para as imagens coloridas, os sinais elétricos correspondentes a cada componente são combinados posteriormente, conforme o padrão de cor utilizado NTSC (*National Television Standards Committee*) - Comitê Nacional dos Sistemas de Televisão ou

PAL (*Phase Alternating Line* - Linha de Fase Alternada) (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Sensores CMOS são baseados nos semicondutores de silício, mas a sua principal diferença dos CCDs é na forma com que a carga dos pixels são lidas. Nos sensores CMOS há isolamento de cada pixel com os pixels vizinhos e cada pixel é conectado diretamente a um transistor (SILVA, 2011).

Os sensores CMOS possuem um circuito constituído de fotodiodos, capacitores e transistores interligados para cada pixel individual. Isso possibilita ao sensor selecionar as linhas e colunas na matriz sensorial; realizar interseção entre eles, para selecionar apenas um pixel designado; ou acessar apenas uma área dentro de uma imagem (SOUZA; CARDOZA, 2012).

Com a imagem formada, esta passa por um processo denominado digitalização, onde a imagem é particionada em uma imagem de resolução finita formada por pixels, permitindo como processo posterior o processamento digital (FRANCO, 2017).

2.3.3 Segmentação

A segmentação é um processo que divide uma imagem em suas unidades significativas, obtendo, a partir de uma imagem pré-processada, objetos de interesse que contêm a informação semântica relativa à imagem de origem. Esse processo, apesar da simplicidade para descrevê-lo, é difícil de implementá-lo, determinando o sucesso ou o fracasso final do processamento digital de imagens (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; FACON, 2002; GONZALEZ; WOODS, 2010).

Para Gonzalez e Woods (2010), a maioria dos algoritmos de segmentação é baseada nas propriedades básicas de valores de intensidade, dividindo-se entre a abordagem descontinuidade e similaridade. A descontinuidade evidencia mudanças bruscas de intensidade de uma imagem, como a detecção de bordas, e a similaridade divide uma imagem em regiões que sejam semelhantes de acordo com um conjunto de critérios predefinidos, como tons similares.

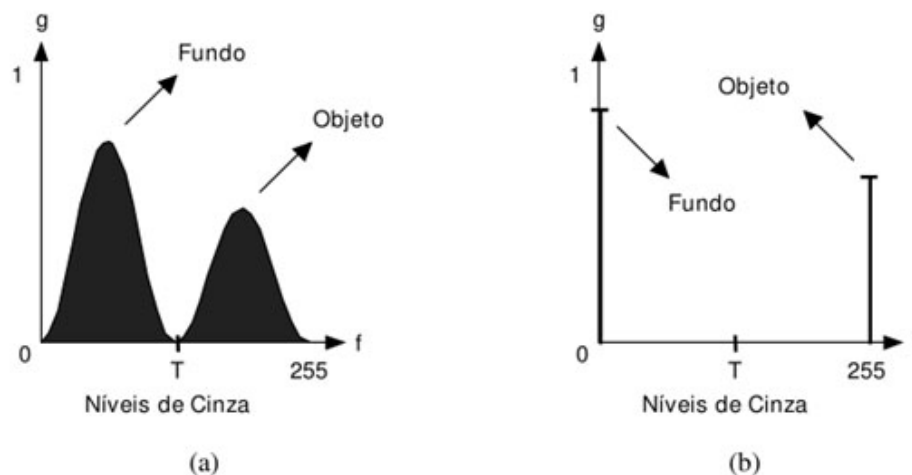
Os algoritmos para detecção de borda são métodos desenvolvidos para detectar os pixels da borda, que são aqueles onde a intensidade de uma função imagem muda bruscamente, e as bordas são o agrupamento de pixels de borda relacionados (GONZALEZ; WOODS, 2010). Marques Filho e Vieira Neto (1999), definem a borda, como a fronteira entre duas regiões onde predominantemente níveis de cinza se diferenciam.

Gonzalez e Woods (2010), definem três passos fundamentais para a detecção das bordas: suavização da imagem, para redução do ruído; detecção dos pontos de borda e localização da borda.

A similaridade, o princípio da limiarização, consiste na separação das regiões de uma imagem, com base em um valor, quando esta apresenta duas classes (fundo e objeto). A limiarização pode ser chamada de binarização, por produzir como saída uma imagem binária (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

O processo de limiarização mais simples é conhecido como limiarização global. Nesse processo, o valor limite utilizado para separar o fundo e o objeto é uma constante T , (Figura 7 [a]), que corresponde a um valor de bipartição do histograma (gráfico de distribuição de probabilidade de ocorrência de pixels de determinado tom de cinza na imagem) de uma imagem inteira. Os eixos g e f na Figura 7 correspondem, respectivamente, a probabilidade de ocorrência de um determinado tom de cinza na imagem, e a intensidade da imagem (tom de cinza). Os pixels da imagem cujo tom de cinza é maior ou igual ao valor limite definido são convertidos em branco e os demais em pretos, como demonstrado na Figura 7 (b). Assim, para casos com níveis de cinza divididos basicamente em duas classes, ocorrendo dois picos e um vale no histograma, a limiarização é simples (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; GONZALEZ; WOODS, 2010).

Figura 7 - Limiarização de uma imagem monocromática utilizando valor limite T : (a) histograma original e (b) histograma da imagem binarizada.



Fonte: (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Quando o valor de limiarização sofre alterações ao longo da imagem é utilizado o termo limiarização variável, podendo também ser denotado como limiarização local ou regional. Esse tipo de limiarização é indicado quando o valor de limiar em qualquer ponto (x ,

y) em uma imagem é dependente das propriedades da vizinhança de (x, y) (GONZALEZ; WOODS, 2010).

2.3.4 Representação e Extração de Características

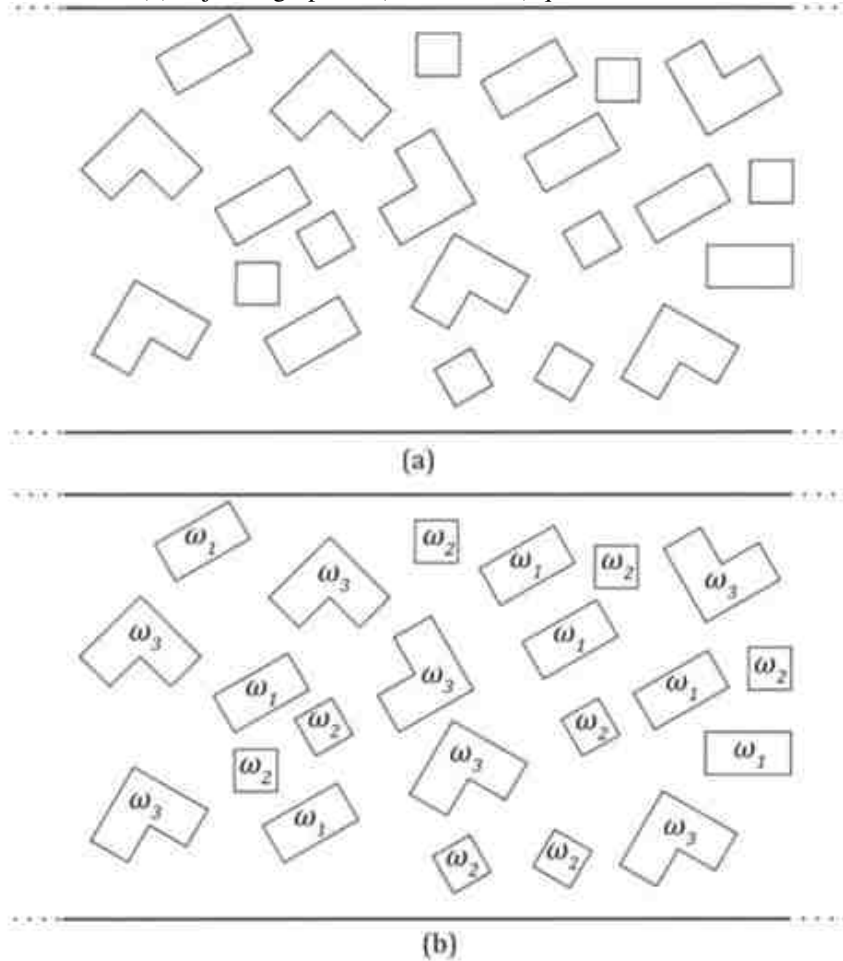
A etapa de representação e extração de características busca, somente nas imagens dos objetos de interesse que foram extraídas da etapa de segmentação, um conjunto de características com o propósito da classificação. As diversas técnicas dessa etapa podem ser representadas em duas opções: em termos de suas características externas (sua fronteira) ou em termos de suas características internas (os pixels que constituem a região) (GONZALEZ; WOODS, 2010; FRANCO, 2017).

2.3.5 Classificação

A etapa denominada de classificação ou reconhecimento corresponde ao processo de atribuição de um rótulo a um objeto baseado em suas características, traduzidas por seus descritores (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999). Essa etapa podem ser dividida em duas áreas principais: decisões teóricas, em que são utilizados como padrões os descritores quantitativos, como comprimento, área e textura; e estrutural, abordando os descritores qualitativos (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Pedrini e Schwartz (2008), exemplificam a etapa de classificação a partir da Figura 8, uma imagem da vista superior de uma esteira de rolagem. Verifica-se da Figura 8 (a) que os objetos presentes na esteira podem ser separados ou classificados quanto a forma. A Figura 8 (b) apresenta o resultado da etapa de classificação, onde cada uma das três classes de interesse recebeu um rótulo ω_1 , ω_2 e ω_3 . De outra maneira, os autores demonstram um modelo relativo a classificação automática de objetos, utilizando-se de uma vista superior de uma esteira de rolagem, onde a análise da forma dos objetos classifica-os em três classes diferentes, dentro do mapeamento no algoritmo classificador.

Figura 8 - Ilustração de uma visão superior de uma esteira de rolagem: (a) os objetos que podem ser classificados quanto a forma, e (b) objetos agrupados (classificados) quanto a similaridade de forma.



Fonte: (PEDRINI; SCHWARTZ, 2008b)

2.4 MORFOLOGIA MATEMÁTICA

A morfologia matemática tem como princípio básico extrair uma informação relativa à geometria e à topologia de um conjunto de pixels desconhecidos de uma imagem, pela transformação obtida a partir de um outro conjunto completamente definido chamado elemento estruturante (objetos de interesse), concentrando seus esforços no estudo da estrutura geométrica das entidades presentes em uma imagem (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; FACON, 2002; GONZALEZ; WOODS, 2010).

Para Marques Filho e Vieira Neto (1999), a morfologia matemática é aplicável em muitas áreas de análise e processamento de imagens e com finalidades distintas, como: realce, filtragem, segmentação, detecção de bordas, esqueletização e afinamento.

A base da morfologia matemática é a teoria de conjuntos. Bem como, oferecendo uma abordagem unificada e poderosa para diversos problemas de processamento de imagens. Na

morfologia matemática os conjuntos representam os objetos localizados em uma imagem. Gonzalez e Woods (2010), citam como exemplo uma imagem binária, onde todos os pixels pretos formam um conjunto que descreve completamente a imagem, uma vez que os demais pontos só podem ser brancos,

Existem dois operadores morfológicos básicos, a erosão e a dilatação, por meio dos quais muitos algoritmos são baseados (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; GONZALEZ; WOODS, 2010).

2.4.1 Erosão

A erosão ocorre quando cada pixel branco da imagem de entrada é invertido na imagem saída, não existindo um pixel branco na vizinhança “coberta” pelo elemento estruturante, fazendo o objeto encolher (GOMES, 2001).

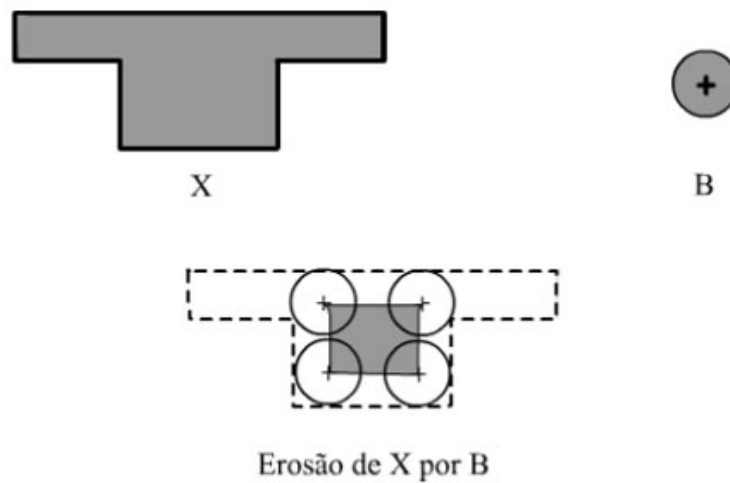
Dados os conjuntos A e B no espaço Z^2 , a erosão de A por B , denotada $A \ominus B$, é definida pela Equação 3 (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; GONZALEZ; WOODS, 2010):

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\} \quad (3)$$

A erosão de A por B tem como consequência o conjunto de todos os pontos z tais que B , transladado de z , está contido em A (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; GONZALEZ; WOODS, 2010).

A Figura 9, Machado (2008), demonstra a erosão de X por B , onde o sinal $+$ em B indica a origem. Com base na figura resultante percebe-se que ocorre uma retração da área da imagem que definia a figura X , utilizando a delimitação definida pela figura B .

Figura 9 - Exemplo de erosão de X por B. O sinal + em B indica a origem.



Fonte: (MACHADO, 2008).

2.4.2 Dilatação

Inversamente à erosão, a dilatação faz crescer o objeto em área, o pixel preto da imagem de entrada é invertido na imagem de saída, existindo ao menos um vizinho branco na região “coberta” pelo elemento estruturante (GOMES, 2001).

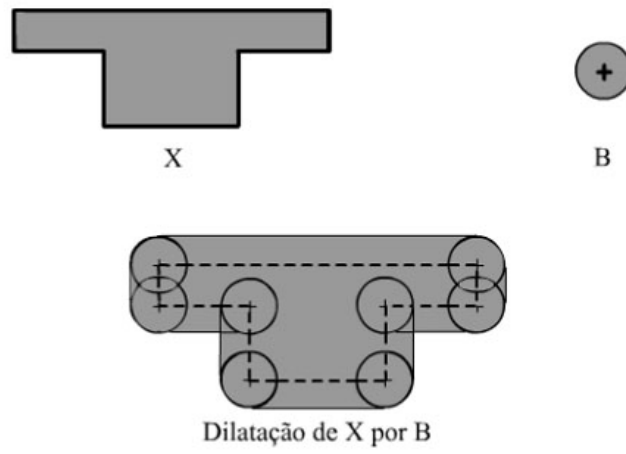
Dados os conjuntos A e B no espaço de Z^2 , e seja \emptyset o conjunto vazio, a dilatação de A por B , indicada por $A \oplus B$, é definida pela Equação 4:

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (4)$$

O processo de dilatação significa em obter a reflexão de B sobre sua origem e depois deslocar esta reflexão de z . A dilatação de A por B ocorre quando, o conjunto de todos os deslocamentos de z , para os quais a interseção de $(\hat{B})_z$ e A inclui pelo menos um elemento diferente de zero (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; GONZALEZ; WOODS, 2010).

A Figura 10, Machado (2008), apresenta a dilatação de X por B , onde o sinal + em B indica a origem. Com base na figura resultante percebe-se que ocorre uma expansão da área da imagem que definia a figura X , utilizando a delimitação definida pela figura B .

Figura 10 - Exemplo de dilatação de X por B. O sinal + em B indica a origem.



Fonte: (MACHADO, 2008).

3 METODOLOGIA

Inicialmente foram estudados artigos e demais materiais bibliográficos para avaliar a metodologia adequada para a construção do sistema de aquisição de dados de grandezas físicas e de imagens, e para selecionar as técnicas de processamento digital de imagens apropriadas para o objetivo estabelecido neste trabalho.

Então, realizaram-se experimentos tendo como referência os métodos elaborados a partir do material estudado. Após, foram analisados sistemas de aquisição de dados de grandezas físicas e de imagens e foi buscado um modelo para relacionar as grandezas físicas com o tempo, e os dados obtidos a partir das técnicas de PDI com o tempo. Também foi avaliada a diferença no desenvolvimento das culturas nas estações da região centro-sul paranaense (inverno e primavera).

A Coordenação Adjunta de Áreas Experimentais da Universidade Federal da Fronteira Sul *Campus* Laranjeiras do Sul/PR forneceu espaço dentro da estufa para a realização do experimento, onde foram utilizados de sementes e substratos comerciais.

3.1 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS GERAIS DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram conduzidos na estufa da Universidade Federal da Fronteira Sul *Campus* Laranjeiras do Sul/PR, onde foram instalados sistemas de cultivo em bancadas de 6 metros de comprimento por 1,2 metro de largura. O primeiro cultivo foi transplantado para o sistema de estufa em 27 de junho de 2018 e cultivadas até 10 de agosto de 2018 e o segundo cultivo foi transferido para o sistema de estufa em 30 de outubro de 2018 e cultivadas até 13 de dezembro de 2018, ambos os ciclos fecharam 45 dias de cultivo no vaso.

As cultivares de alface utilizadas foram: Crocante (TecnoSeed) denominada como C1, Pira Verde (TecnoSeed) denominada como C2, Simpson (Isla) denominada como C3, Grand Rapids (Isla) denominada como C4 e Palmas (Isla) denominada como C5.

A estufa utilizada foi constituída de estrutura metálica de aço com dimensões de 8 metros de largura, 24 metros de comprimento, 3 metros de pé-direito e 2 metros de altura acima do pé-direito, possuíam uma porta com largura de 1,6 metros e altura de 2 metros e tendo uma área total de 192 m². O telhado é do tipo arco, sendo o material do telhado constituído por plástico transparente difusor de luz (PEBD - Polietileno de Baixa Densidade) com 150 μ m de espessura, tratado contra raios ultravioleta. O direcionamento da estufa é leste-oeste, nas coordenadas 25°26'40"S 52°26'18"O, e elevação aproximada de 800 m; e o clima, segundo

classificação de Köppen-Geiger, é Cfb, definido por Ayoade (1996), com um clima úmido em todas as estações e verão moderadamente quente.

3.2 AQUISIÇÃO DE DADOS DE GRANDEZAS FÍSICAS E DE IMAGEM

Na seção 2.3 foram descritos os elementos de maior complexidade e as dificuldades presentes na elaboração de sistemas de processamento digital de imagens. Para compreensão de como as grandezas físicas e o tempo influenciam no desenvolvimento da alface e no tempo de colheita, foi elaborado um sistema de aquisição dos dados de grandezas físicas e de imagens, assim como nos trabalhos de (FERNÁNDEZ-PACHECO et al., 2014; GARCÍA-MATEOS et al., 2014; GONZÁLEZ-ESQUIVA et al., 2017).

3.2.1 Sistema de Aquisição de Imagem

Para aquisição de imagens foi utilizado como sensor de captura três webcams Logitech modelo c920, com resolução para fotografias em até 15 Megapixels (Figura 11).

Figura 11 - WebCam Logitech, modelo C920.



Fonte: (LOGITECH, 2018).

Para realizar a captura das imagens, utilizou-se de software livre fswebcam (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2018a), instalado no sistema operacional Raspbian (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2018b), controlados pelo microcontrolador Raspberry Pi®. As imagens foram adquiridas, com intervalo de 30 minutos, durante as 24 horas do dia, tentando alcançar uma base de dados de 144 imagens/dia, acionando a iluminação somente no momento das capturas das imagens. A aquisição das imagens foram realizadas com resolução de 2 Megapixels, resultando em imagens de 1920 x 1080 pixels, e então uma cópia das imagens era

enviada para um servidor com sistema operacional Linux Debian utilizando o software apache 2 como serviço web.

As imagens escolhidas para as etapas subsequentes foram aquelas obtidas entre os horários de 07h30 e 08h30, resultando em 3 possíveis imagens para a utilização, priorizando sempre que possível a imagem das 08h, por se tratar da imagem que estaria no meio, assim podendo oscilar 30 minutos para mais ou para menos. Em algumas exceções, causadas por falta de energia elétrica na estufa, optou-se na escolha da primeira imagem capturada após o horário estabelecido.

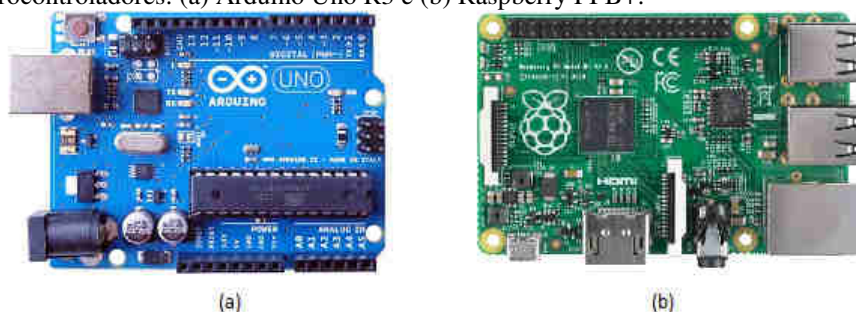
Isso foi feito para manter a mesma iluminação ambiente durante a captura, pois a iluminação pode alterar os resultados do sistema de processamento digital de imagens; e para obter a mesma posição de captura, pois as WebCams ficaram fixadas em um estrutura de madeira, e esta estrutura sofria dilatação, conforme o passar das horas do dia, retrocedendo posteriormente, voltando ao seu estado inicial. No entorno das webcams foram instaladas oito lâmpadas fluorescentes de 15 watts, ficando as webcams centralizada com quatro lâmpadas formando um quadrado envolta de cada webcam.

3.2.2 Sistema de Aquisição de Dados de Grandezas Físicas

O sistema desenvolvido para aquisição de dados de grandezas físicas é composto por hardware e software baseados em plataformas livres, e possui uma interface que possibilita a visualização dos dados armazenados e imagens adquiridas durante os experimentos em navegador web.

Para que isso fosse possível, foram usados dois microcontroladores, um Arduino Uno R3 (Figura 12 [a]) e um Raspberry Pi B+, (Figura 12 [b]), onde os sensores estão conectados ao Arduino e os atuadores ligados ao Raspberry Pi. Essa divisão foi necessária pois o Raspberry Pi não possui conversor analógico/digital integrado, necessário para a leitura dos sensores.

Figura 12 - Microcontroladores: (a) Arduino Uno R3 e (b) Raspberry PI B+.



Fonte: (ARDUINO, 2019 ;RASPBERRY PI FOUNDATION, 2018b)

Com essa distribuição de tarefas entre os microcontroladores, houve a implementação da comunicação entre eles. A comunicação com dispositivos periféricos pode ser realizadas através dos protocolos pré-implementados, como I2C (*Inter-Integrated Circuit* - Circuito Inter-integrado), SPI (*Serial Peripheral Interface* - Interface Serial Periférica) e controle de memória externo (GUARESCHI et al., 2013). Para a realização do projeto optou-se pela comunicação SPI, pois tanto o microcontrolador Arduino como o Raspberry Pi, contemplam este protocolo.

Para a realização da comunicação entre os microcontroladores, por meio do SPI, foram necessários, três pinos do barramento para o protocolo e mais um por microcontrolador escravo, conforme demonstrado na Tabela 1. Como o microcontrolador Raspberry Pi foi definido como principal, por sua capacidade de processamento e interface com a rede, e o microcontrolador Arduino como escravo, foram feitas as seguintes conexões: o pino 10 MOSI (*Master Output Slave Input*) do Raspberry foi conectado ao pino 11 MOSI do Arduino, o pino 9 MISO (*Master Input Slave Output*) do Raspberry foi conectado ao pino 12 MISO do Arduino, o pino 11 SCLK (*Serial Clock*) do Raspberry foi conectado ao pino 13 SCLK do Arduino, e o pino 7 SS (*Slave Select*) do Raspberry foi conectado ao pino 10 do Arduino.

Tabela 1 - Pinos comunicação SPI.

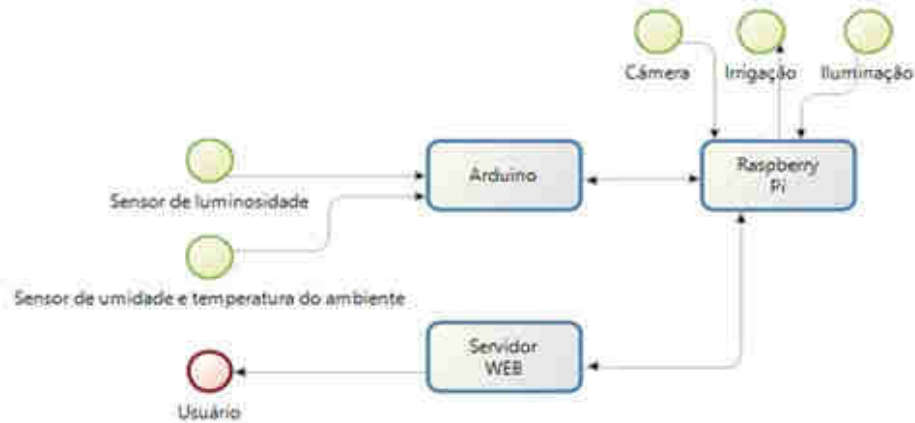
Pino	Nome	Detalhe
Saída do principal para a entrada no escravo	MOSI	Master Output Slave Input
Saída do escravo para a entrada no principal	MISO	Master Input Slave Output
Sincronismo	SCLK	Serial Clock
Seleção do escravo	SS	Slave Select

Fonte: O autor.

Os dados dos sensores foram capturados pelo Arduino e transferidos para o Raspberry Pi, que era responsável por enviar os dados para o um computador, denominado servidor, via protocolo HTTP, utilizando a interface de rede. A Figura 13 mostra o fluxograma dos dados no sistema, onde o Raspberry solicitava, a cada minuto, os valores de leitura dos sensores (luminosidade, temperaturas e umidade do ar) para o Arduino, que respondia em formato de texto com todos os valores lidos no momento, sendo que para a separação entre os valores era usado um espaço em branco.

Ao receber os dados, o Raspberry subdividia o texto transformando os valores em números inteiros e com casa decimais. O Raspberry também, a cada trinta minutos, acionava a iluminação, realizava a captura das imagens pelas três WebCams em sequência, e então desligava a iluminação.

Figura 13 - Fluxo de dados do sistema.

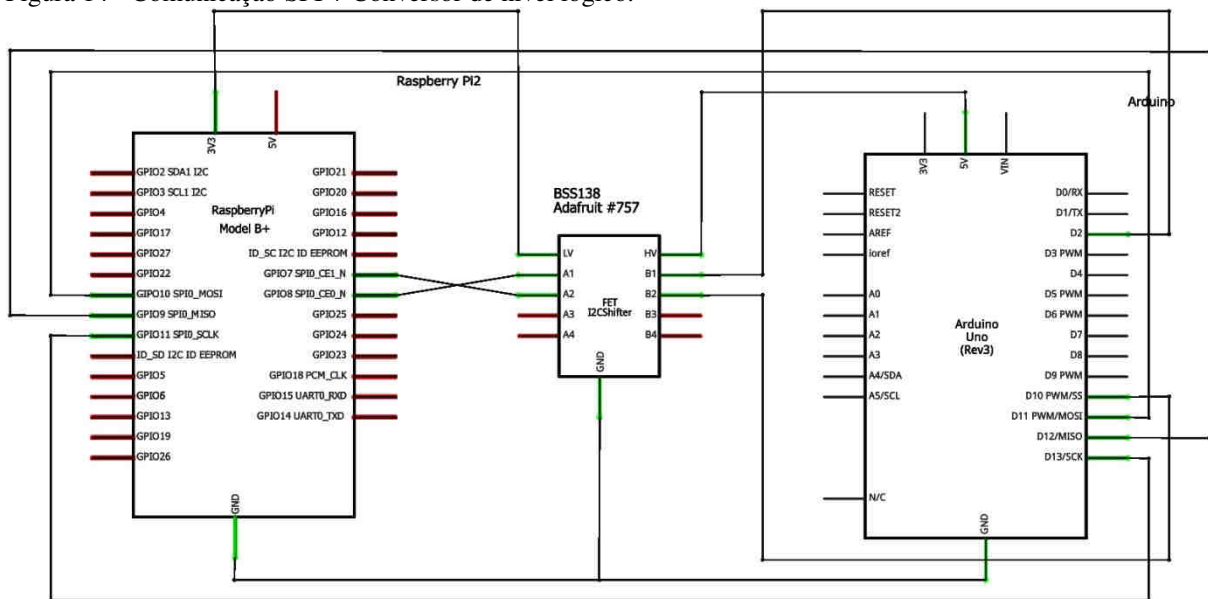


Fonte: O autor.

Para a realização da irrigação era acionado, por um programa externo, o pino 7 no Raspberry, que acionava o relê da válvula solenoide, liberando o fluxo da água durante o tempo necessário. Esse tempo era calculado conforme método agrônômico, a partir da leitura de evaporação do tanque Classe A, dividindo o resultado pela vazão do gotejamento de 1,2 ml por segundo, assim obtendo quantos segundos era necessário ficar acionado.

Para compatibilizar os diferentes níveis de tensão entre os microcontroladores utilizados, foi necessário o uso de um conversor de nível lógico bidirecional, que realizava a conversão de tensão de 5 V (Arduino) para 3,3 V (Raspberry Pi). O conversor usado para isso foi o transistor BSS138 (CORPORATION, 2005), conforme apresentado na Figura 14, onde o pino da tensão de 5 V do Arduino foi conectado ao pino HV (*High Voltage* - alta tensão) do conversor e o pino da tensão de 3,3 V do Raspberry foi conectado ao pino LV (*Low Voltage* - baixa tensão) do conversor. Após a conectividade das tensões ao conversor, foram conectados os pinos responsáveis pela troca de dados o RX (Recepção) e TX (Transmissão) de cada lado do conversor.

Figura 14 - Comunicação SPI + Conversor de nível lógico.



Fonte: O autor.

3.2.2.1 Sensores

As medidas das grandezas físicas na casa de vegetação foram realizadas com sensores de luminosidade, umidade do ar e temperatura do ar, que foram todos conectados ao microcontrolador Arduino. Também foram instalados dois atuadores: um para o acionamento de irrigação, feito por comando no Raspberry, com base na reposição da evapotranspiração; e outro para acionamento de iluminação, ativado quando o ambiente estava com baixa luminosidade.

Para a leitura da luminosidade no ambiente de estudo foi utilizado um sensor do tipo LDR (*Light Dependent Resistor* - Resistor dependente da luz), que converte a luminosidade em valores de resistência elétrica, diminuindo a resistência quando a luz incidente aumenta e vice-versa.

Para a leitura dos valores de umidade e de temperatura do ar foi utilizado o DHT11, o qual realizava a leitura em resolução de 40 bits, sendo 8 bits para a parte inteira da umidade do ar, 8 bits para a parte decimal da umidade do ar, 8 bits para a parte inteira da temperatura, 8 bits para a parte decimal da temperatura e os últimos 8 bits de paridade, comparando a soma dos quatro primeiros conjuntos de 8 bits com o último conjunto de 8 bits (AOSONG, 2017).

Outras opções para obter o valor da temperatura do ar foram com os sensores DS18B20 e LM35DZ. O DS18B20 opera com uma precisão de $\pm 0,5$ °C, na faixa de operação de -10 °C até +85 °C (MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, 2015). O LM35DZ é um sensor com

encapsulamento TO-92 fabricado pela National Semiconductor®. Fornece uma tensão de saída linearmente proporcional à temperatura em graus Celsius, possuindo baixa impedância de saída, fator de escala de 10 mV/°C e faixa de operação de temperatura entre 0 °C até 100 °C (NATIONAL SEMICINDUCTOR, 1994).

3.2.2.2 Calibração dos sensores

A calibração dos sensores é uma etapa essencial em sistemas de medidas de grandezas físicas, pois é o momento onde os valores lidos pelos sensores foram comparados com valores reais e ajustados, quando necessário, de forma a possibilitar a correspondência dos valores lidos pelos sensores com os valores reais.

Nesta etapa os sensores de temperatura DS18B20, DHT11 e LM35DZ foram calibrados conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que baseada na NBR 14610 de outubro de 2000, permite a calibração de sensores baseado em outro equipamento calibrado que possua informação visual da temperatura em qual o sensor que for calibrado esteja submetido (ABNT, 2000). Os equipamentos utilizados nesta etapa, como base calibrada, foram uma câmara de germinação e um multímetro da marca Minipa modelo ET-1110A equipado com sensor termopar tipo K. Ao termino de cada experimento (inverno e primavera) foram realizadas as correções dos valores lidos utilizando planilha eletrônica, aplicando a média do erro padrão encontrado na etapa da calibração.

Para efetuar a calibração do sensor LDR, optou-se pela mesma abordagem da ABNT, utilizando-se como equipamento referência um luxímetro Light Meter modelo HS1010, porém o mesmo não demonstrou uma oscilação significativa na resistência durante os testes da calibração.

3.2.3 Sistema de Monitoramento e de Armazenamento

O sistema de monitoramento e de armazenamento foi configurado em um servidor Linux com a funcionalidade de servidor web na porta 80, tendo como software web o Apache2, para receber os dados submetidos pelo Raspberry Pi e posteriormente armazenar no banco de dados RRD (*Round Robin Database* - Base de Dados Round-Robin). Os dados no banco de dados foram divididos em arquivos específicos por sensores (luz LDR, temperatura DHT11, umidade DHT11, temperatura DS18B20 e temperatura LM35DZ), e as imagens enviadas para o servidor foram salvas nos formatos JPEG e RAW.

O sistema foi elaborado de forma que, para o usuário, os dados eram disponibilizados em qualquer browser (navegador). Então, a partir desse, o usuário conseguia obter todas as informações lidas dos sensores, em forma de gráfico e em arquivos, após a devida filtragem dos dados, além de visualizar as imagens capturadas, em forma de uma animação, durante o período definido. Assim, conseguia-se o histórico do experimento, de onde era possível visualizar o desenvolvimento da planta, ao longo do período desejado.

3.3 SISTEMA DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Após definido e testado o sistema de monitoramento e de armazenamento, foi elaborado o sistema de processamento digital de imagens, com a finalidade de processar as três imagens, referente as três webcams, que contemplavam todas as plantas cultivadas. Um exemplo de imagem obtida por uma das webcams (Figura 15).

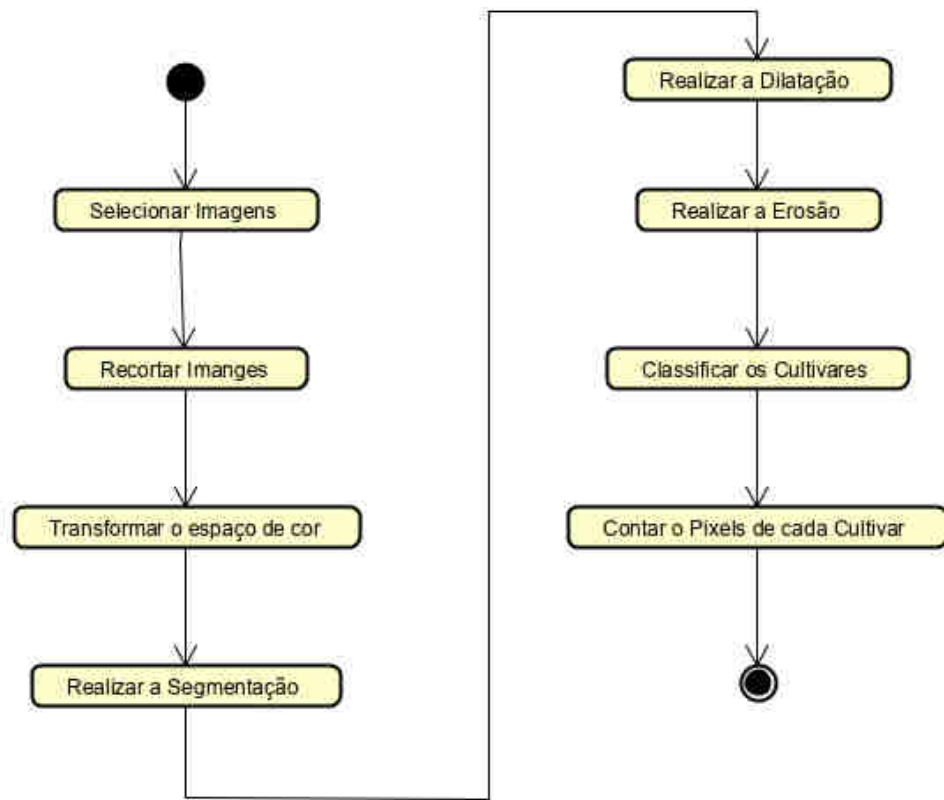
Figura 15 - Uma imagem, do total de três imagens, dos cultivares obtida em um momento do experimento.



Fonte: O autor.

Este sistema de processamento foi desenvolvido para realizar as funções de seleção e recorte da imagem, mudança de espaço de cor, segmentação, dilatação, erosão, classificação dos cultivares, e contagem de pixels por cultivar, conforme diagrama (Figura 16).

Figura 16 - Fluxo do sistema de processamento digital de imagens.



Fonte: O autor.

Após a seleção da imagem, o sistema realiza o recorte da mesma, para separar as áreas com e sem plantas cultivadas no experimento. Isso foi feito para evitar que pixels fora da área de cultivo fossem considerados, conforme demarcado em vermelho (Figura 17).

Figura 17 - Imagem capturada sem recortes, com destaque às regiões fora da área de cultivo e que poderiam ser considerados pixels do cultivar.



Fonte: O autor.

Após o recorte da imagem realizou-se a transformação do espaço de cor RGB para o CIEL*a*b*, por ser o espaço de cor ativo e útil para análise de cores, correlacionando coerentemente os valores de cor com a percepção visual (seção 2.3.2).

Então realizou-se a segmentação, conforme seção 3.3.1. Para isso, para cada pixel correspondente aos cultivares em análise, foram buscadas as faixas de valores de cada canal L*, a* e b*. Encontradas essas faixas de valores, aqueles pixels que não satisfaziam as condições estabelecidas para os três canais, eram substituídos por preto em uma cópia da imagem e, ao concluir a verificação de todos os pixels, salvou um novo arquivo com a estrutura, planta e não pertencente a planta.

Em sequência, por ficar na imagem, após a segmentação, regiões pretas na imagem que deveriam ser consideradas folhas, foi realizada a dilatação e posteriormente a erosão. A dilatação foi realizada com o canal a* como base, verificando os pixels vizinhos, onde os pixels vizinhos deveriam estar com os valores dos canais L*, a* e b* dentro dos limiares definidos por canal e o pixel central com uma alteração no valor do canal a* com um acréscimo no valor máximo, ficando o valor máximo do canal a*, o valor máximo mais dez, buscando por uma tonalidade mais intensa de verde, assim o pixel central atendendo ao critério do novo valor do canal a* anularia a conversão para pixel preto, ficando com a cor original da imagem.

Para a classificação dos cultivares utilizou-se da delimitação por região na imagem, agrupando os pixels relativos às plantas do mesmo cultivo, no mesmo bloco de repetição, conforme a metodologia agrônômica aplicada. Para isso foram criadas como que máscaras, para cada cultivar, demarcando o pixel inicial até o final de cada região referente a um cultivar de uma repetição, tanto para as linhas horizontais como para as linhas verticais.

A última tarefa do sistema de processamento é a da contagem dos pixels das regiões delimitadas. As etapas de segmentação, dilatação, erosão, classificação e de contagem de pixels estão descritas em detalhes nas próximas seções.

Para a realização do sistema baseado em técnicas do PDI foi utilizada a linguagem de programação Java, com a biblioteca adicional OpenCV na versão 3.4.1. Como plataforma de desenvolvimento foi adotada a IDE (*Integrated Development Environment* – Ambiente de Desenvolvimento Integrado) NetBeans 8.2 e o computador utilizado foi um notebook da marca Lenovo, com processador Intel Core i5 – 6200U 2,3 GHz e 8 GB de memória RAM, com sistema operacional Windows 10 64-bits.

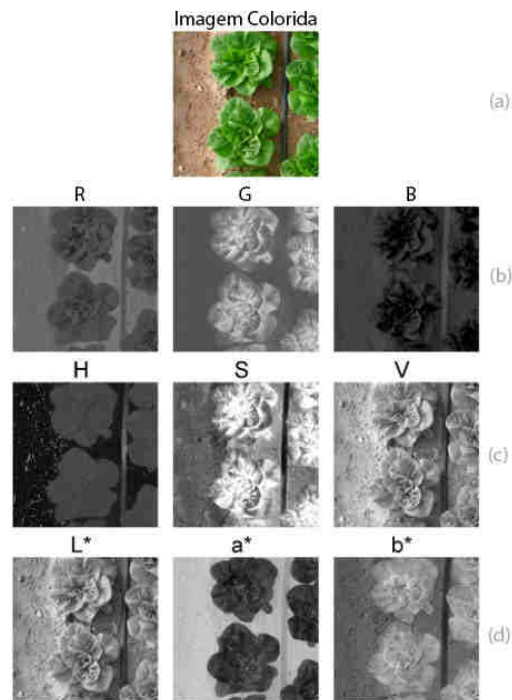
3.3.1 Segmentação

Para a separação de folhas das alfaces do restante da imagem, inicialmente foram realizados testes nos espaços de cores RGB, HSV e CIEL*a*b*. Para os testes nos espaços de cores HSV e CIEL*a*b*, realizou-se a conversão com apoio da biblioteca OpenCV, convertendo a imagem original do RGB para HSV e do RGB para CIEL*a*b*.

Para determinar os valores de limiarização global, para cada canal nos espaços de cores, foram recortadas das imagens capturadas, durante o ciclo de cultivo, regiões que continham somente folhas. Em seguida, foram analisados, pixel por pixel, quais eram os valores máximos e mínimos para os canais “R”, “G”, “B”, “H”, “S”, “V”, “L*”, “a*”, e “b*” que mantinham o máximo das folhas da alface nas imagens e o mínimo do ambiente.

O trabalho de García-Mateos et al. (2014), apresenta uma imagem original (Figura 18 [a]), e a imagem segmentada em canal de cor de cada espaço, que buscou analisar o melhor espaço de cor para detectar alfaces, entre vários espaços de cor, o RGB, HSV e L*a*b*, (Figuras 18 [b] a [d]), respectivamente. Nota-se que o canal a* do espaço de cor CIEL*a*b*, destacou de forma mais nítida o cultivar da alface, ocorrendo menor detecção das alfaces com a utilização dos espaços de cores RGB e HSV.

Figura 18 - Imagem com regiões que pertencem e não pertencem aos cultivares: (a) original; e identificação visual de como se dá a diferença entre as regiões com e sem cultivo por canal no espaço de cor (b) RGB, (c) HSV e (d) L*a*b*.



Fonte: (GARCÍA-MATEOS et al., 2014).

Após os testes preliminares optou-se por trabalhar com o espaço de cor CIEL*a*b* como ocorreu no trabalho de García-Mateos et al. (2014), que após analisar vários espaços de cores, concluiu que o CIEL*a*b* alcançou a melhor detecção para alfices comparando com análise de especialistas.

3.3.2 Morfologia Matemática: Dilatação e Erosão

Na busca por melhorar a detecção das alfices aplicou-se os princípios básicos da morfologia matemática de dilatação e de erosão. Para a dilatação, foi realizada uma expansão das áreas próximas detectadas como pertencente as alfices. Para isso, foi realizada uma busca nos pixels vizinhos, analisando cada canal dos pixels com o limiars definidos na segmentação. Se o pixel analisado (central) fosse preto (área considerada não pertencente a planta) e ao menos um vizinho não sendo pixel preto estivesse dentro do limiars (área considerada pertencente a alface), então o pixel em análise recebia o valor do limiar máximo do canal acrescentando 10 pontos as coordenadas vermelha/verde do espaço de cor CIEL*a*b*.

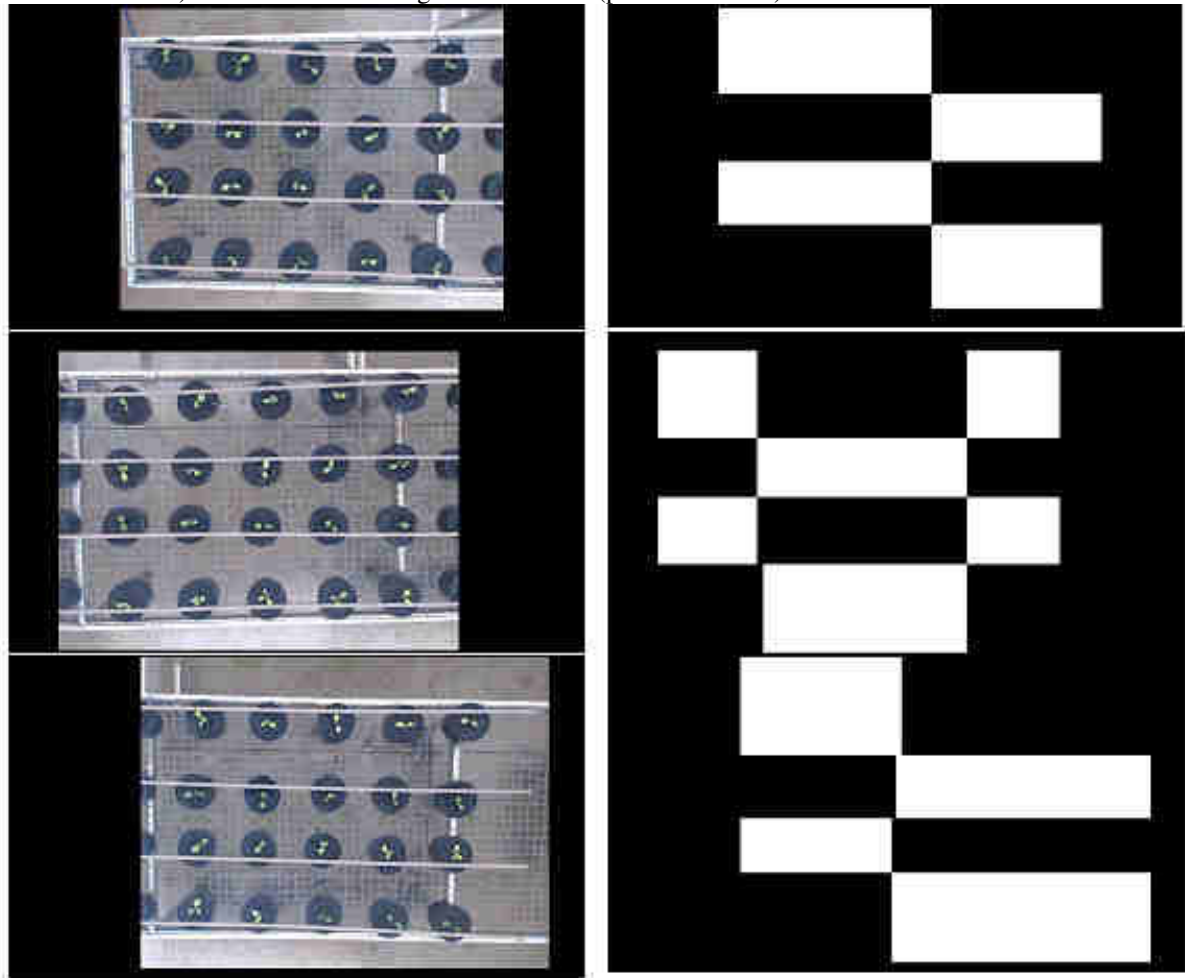
Inversamente a dilatação, a erosão fez a retração das áreas detectadas como plantas. Para aplicação da erosão também foram analisados cada canal dos pixels vizinhos do pixel detectado com os limiars definidos na segmentação. Se o pixel analisado (central) era considerado planta e ao menos dois vizinhos eram pixel preto, então era convertido o pixel analisado para preto, ocorrendo a retração da área detectada como planta.

Ressalva-se que os limiars máximo e mínimo de cada canal foram definidos na limiarização de cada canal, com base no recorte da área que contemplava somente folha em imagens durante o ciclo de desenvolvimento, e assim obteve os limites para cada espaço de cor.

3.3.3 Classificação dos Cultivares e Contagem de Pixels por Cultivar

A seleção dos cultivares foi realizada por meio de máscaras (Figura 19), elaboradas conforme a imagem da webcam (primeira coluna), da repetição desejada e do cultivar (segunda coluna). Nas máscaras, as regiões em preto da primeira coluna correspondem às partes da imagem que não pertencem ao cultivar e repetição desejados e as regiões em branco e preto da segunda coluna, exceto as regiões em preto definido na primeira coluna, são as partes da imagem com alfices de um determinado cultivar e repetição. As máscaras são diferentes para cada cultivar e repetição pois se adotou o delineamento experimental em blocos casualizados (seção 3.4).

Figura 19 - Exemplos de máscaras utilizadas para demarcar a região de cada cultivar em cada repetição (segunda coluna) de acordo com a imagem da webcam (primeira coluna).



Fonte: O autor.

Agrupadas as imagens dos cultivares de uma repetição, foi feita a avaliação do crescimento da folhagem por meio da soma dos pixels pretos, como parte não pertencente a cultivares, para simples conferência da quantidade total dos pixels; e a soma dos pixels não pretos, correspondentes às alfices.

3.3.4 Análise dos Dados Computacionais

Os dados da parte de processamento de imagens foram analisados com auxílio de funções lineares e gaussianas. Para buscar a correlação entre a parte agrônômica com a computacional (PDI), foram feitos ajustes lineares entre o média de pixels equivalentes a folhagem durante o desenvolvimento do ciclo de um experimento; e a média de todas as repetições de cada cultivar, deste mesmo experimento.

Para compreender qual era o provável momento para a colheita, a partir da quantidade de pixels equivalente a folhagem e o tempo do experimento, foi ajustada uma função gaussiana de um pico, para o experimento de inverno, e de dois picos, para o experimento de primavera, pois visualmente foi percebida a presença de dois picos neste experimento até a realização da colheita.

Também foi buscada alguma relação entre o número de pixels do último dia do experimento com: número de folhas, massa seca das folhas, massa fresca das folhas, massa fresca total e o comprimento do caule.

3.4 AGRONÔMICO

3.4.1 Semeadura, Transplante e Distribuição das Mudas

Os cultivares foram semeados em bandejas de plásticos flexíveis de 200 células, preenchidas com 100% de substrato comercial da marca Multiplant® tipo Hortaliças. Após 21 dias, as mudas foram transplantadas para vasos de 3 litros contendo o mesmo substrato utilizado na produção das mudas. O espaçamento utilizado entre os vasos foi de 0,30 x 0,30 m.

3.4.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (Figura 20), com quatro repetições (R1, R2, R3 e R4), cada repetição com os cinco cultivares e cada cultivar com três plantas do mesmo cultivar.

Figura 20 - Delineamento experimental utilizado.



Fonte: O autor.

3.4.3 Irrigação

Nos experimentos foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento. Esse sistema de irrigação foi definido com base nos trabalhos dos autores, Lima Junior (2008), Lima Júnior et al. (2011) e Bandeira et al. (2011), e levando em consideração a eficácia da aplicabilidade da irrigação mais próxima a base da planta, assim possibilitando uma irrigação melhor para o sistema radicular. O sistema de gotejamento foi pressurizado por meio da gravidade devido a caixa da água ficar localizada cinco metros acima da superfície do piso da estufa.

A reposição da lâmina da água foi realizada com base na tabela do Tanque Classe A (Tabela 2), proposto por Doorenbos e Pruitt (1977), onde leva em consideração a área e o tipo de bordadura, a velocidade do vento e a umidade relativa. Por meio da Equação 5, encontra-se a evapotranspiração de referência (ET_o),

$$ET_o = ECA \cdot K_p \quad (5)$$

onde ET_o é o valor referente a evapotranspiração de referência, ECA é o valor referente a evaporação do Tanque Classe A e K_p é o valor obtido na Tabela 2.

Para obter a evapotranspiração da cultura (ET_c), utilizou-se a Equação 6,

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (6)$$

onde ET_c é o valor referente a evapotranspiração da cultura e K_c é o valor referente ao coeficiente de cultura. O valor de K_c altera-se ao longo do tempo, desta forma, para cada data terá um valor de K_c .

Tabela 2 - Coeficiente Kp para o tanque classe A, para estimativa de ETo.

Umidade relativa (%)	Tanque circundado por grama				Tanque circundado por solo nu			
		Baixa < 40	Média 40 – 70	Alta > 70		Baixa < 40	Média 40 – 70	Alta > 70
Vento (m/s)	Posição do tanque R (m)*				Posição do tanque R (m)*			
	0	0,55	0,65	0,75	0	0,70	0,80	0,85
Leve < 2	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 2 – 5	0	0,50	0,60	0,65	0	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
Forte 5 – 8	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
	0	0,45	0,50	0,60	0	0,60	0,60	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
Muito forte > 8	100	0,60	0,65	0,75	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
	0	0,40	0,45	0,50	0	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

* Por R entende-se a menor distância (metro) do centro do tanque ao limite da bordadura (grama ou solo nu).

Fonte: Marouelli; Silva e Silva (1996) apud Doorenbos e Pruitt (1977).

Para o Kc foram definidos três níveis de reposição durante o ciclo de 45 dias. Do primeiro até o décimo quinto dia ficou definido o Kc como 100 %, do décimo sexto dia até o trigésimo dia, o valor do Kc adotado foi de 110 % e do trigésimo primeiro dia até o final do ciclo do cultivo, o Kc recebeu o valor de 120 %. Ainda, do primeiro até o décimo dia foram realizadas duas reposição da lâmina da água, uma no período da manhã, entre 08h até as 09h e outra no período da tarde, entre 17h – 18h; e a partir do décimo primeiro dia até o quadragésimo quinto dia foram realizadas reposições uma vez por dia, no período da manhã, mantendo o mesmo horário do período da manhã.

3.4.4 Colheita

Após decorridos os 45 dias após o transplante, foi realizada a colheita e posteriormente executadas as aferições de cada planta, no laboratório bloco 2 de Química do Solo na Universidade Federal Fronteira Sul *Campus* Laranjeiras do Sul/PR, para as características: comprimento do caule, massa total, massa fresca das folhas, número de folhas e massa seca das folhas.

O comprimento do caule foi obtido com uma trena de 3 metros. Para obter o número de folhas, foram contabilizadas as folhas que obtiveram o tamanho superior a 5 cm, como realizados nos trabalhos Blind e Silva Filho (2015a), Blind e Silva Filho (2015b).

A massa foi obtida com uma balança de precisão da marca Shimadzu modelo ux6200h, com capacidade máxima 6200 g e mínima 0,5 g. A massa das folhas foram obtidas somente com as folhas consideradas no número de folhas.

Para a secagem das folhas foi utilizada uma planta por cultivar de cada repetição escolhida aleatoriamente. Foi utilizado o método de secagem convencional, por meio de uma estufa de secagem e esterilização com circulação e renovação de ar da marca American Lab modelo AL-102/408 na temperatura de 65 °C até obter o peso constante das folhas.

3.4.5 Análise dos Dados Agronômicos

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade, utilizando o software Assistat Versão 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 COMPUTACIONAL

4.1.1 Avaliação do Sistema de Aquisição de Imagem

O sistema de aquisição de imagem foi usado para a captura das imagens utilizadas no processamento digital de imagem, em que se buscou o acompanhamento do desenvolvimento dos diferentes cultivares da alface ao longo do tempo, nas estações da região centro-sul paranaense (inverno e primavera).

Para a captura de cada setor foi instalada uma webcam Logitech C920 (Figura 21). Como havia 60 plantas por experimento, foram obtidas imagens pelas webcams que abrangessem três setores (cada setor com uma região de 20 plantas dispostas na bancada dentro da estufa) para processamento digital de imagem, durante 45 dias de cada experimento. Dessa forma, a expectativa era obter 6480 imagens durante cada experimento, inverno e primavera, alcançando na primavera 2880 e no inverno 2607 imagens, dentre as imagens escolhidas como descrito na seção 3.2.1.

A maior perda de imagens ocorreu no período da noite, pois o experimento estava equipado com somente 8 lâmpadas fluorescente de 15 W, apresentando-se incapaz a utilização das imagens capturadas neste período do dia, assim explica-se a diferença do inverno para a primavera, pois no inverno a incidência solar é menor, capturando-se menos imagens que na primavera. Outro fator que acarretou a perda de imagens foi a falta de energia na estufa durante alguns momentos e ocasionalmente esses momentos eram de realização da captura da imagem.

Apesar da limitação de aquisição de imagens no período noturno, o conjunto de dispositivos selecionados para a aquisição de imagens conseguiu proporcionar a captura das imagens para atender aos objetivos do trabalho. Isso corrobora com o trabalho do Moreira (2017), que utilizou o mesmo modelo de WebCam para atribuir uma classificação aos impactos nos alvos em prova de tiro desportivo. Santos (2015), também, utilizou a WebCam Logitech C920 para capturar sequencias de 360 segundos de imagens do peixe-zebra em aquário com a finalidade para investigar se existia diferença no perfil comportamental dos peixes submetidos ao enriquecimento ambiental durante uma semana.

Figura 21 - Estrutura e instalação das WebCams.



Fonte: O autor.

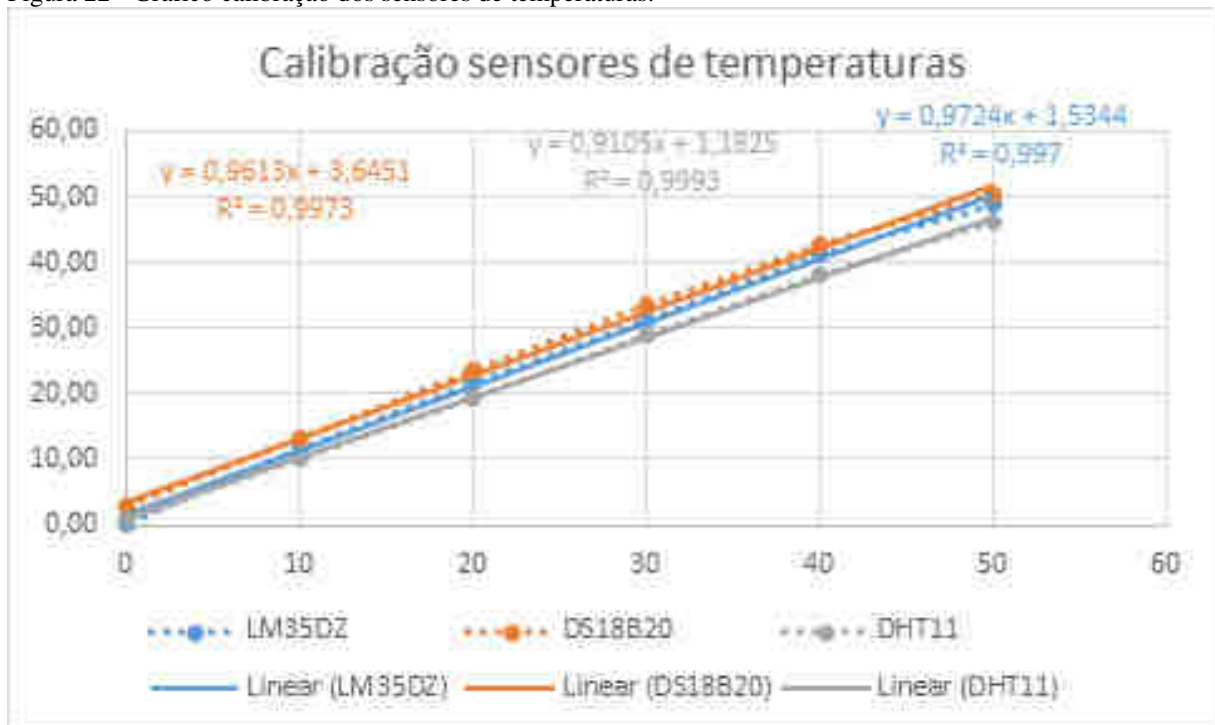
4.1.2 Avaliação do Sistema de Aquisição das Grandezas Físicas

O sistema de aquisição das grandezas físicas composto pelos sensores DHT11, LM35DZ, DS18B20 e LDR, ligados ao microcontrolador Arduino, realizou leituras de temperatura, umidade e luminosidade a cada minuto, durante 24 horas por dia, e enviando estes dados para o Raspberry que os armazenavam em arquivos, um para cada sensor. Durante o experimento ocorreram algumas perdas de leituras, ocasionados por falta de energia elétrica na estufa.

Da calibração dos sensores (Figura 22), foram obtidos os coeficientes de correlação de 0,997 para o sensor LM35DZ (azul), de 0,9973 para o sensor DS18B20 (laranja), e de 0,9993 para o sensor DHT11 (cinza). Portanto, o sensor DHT11 foi o que obteve melhor correlação.

Os dados capturados no sensor LDR, como mencionado na Seção 3.2.2.2, não alcançaram um correlacionamento, pois não ocorreram leituras com diferenciação significativa durante a calibragem. Por isso, neste trabalho não foram utilizados os dados coletados por esse sensor.

Figura 22 - Gráfico calibração dos sensores de temperaturas.



Fonte: O autor.

Conforme pode ser verificado na Figura 22, embora o sensor DHT11 tenha conseguido uma correlação mais próxima de 1, ele é, dos três sensores analisados, o que possui a menor precisão, podendo oscilar em até 2 °C para mais ou para menos. De fato, o DHT11 apresenta menor precisão quando submetido ao limite da sua faixa de operação de 50 °C, segundo o datasheet do fabricante Aosong (2017), ficando aproximadamente 4 °C inferior. Em contrapartida o LM35DZ e DS18B20 apresentam melhor precisão, podendo oscilar em até 0,5 °C para mais ou para menos e com um limite de temperatura máxima superior que 50 °C. Santos et al. (2013), relatam o mesmo problema que o encontrado com o sensor DHT11, onde conseguiram obter leitura apenas entre 2 e 45 °C. O trabalho de Oliveira Júnior; Vicentin e Cunha (2014), também, relatam o problema do limite da faixa de temperatura do sensor do DHT11.

Com base nesse resultado e na realização de experimento teste, realizado em fevereiro de 2018 na estufa, notou-se que durante a estação com temperaturas mais elevadas poderiam superar a temperatura limite determinada experimentalmente do sensor DHT11, assim impossibilitando a utilização dos dados de temperatura presente deste sensor no decorrer do experimento. Diante disso, optou-se em usar o sensor LM35DZ, o mesmo usado no trabalho de

Queiroz et al. (2016), que concluíram que o sensor LM35 é um componente para aplicações com necessidade de medir temperaturas mais elevadas.

4.1.3 Segmentação

Com as imagens adquiridas, e a partir dos valores de limiar por canal obtidos para a segmentação, identificados os limiares máximo e mínimo de cada canal que correspondesse as folhas da alface, Seção 3.3.1, foram obtidas imagens com somente a região da folha da alface.

A segmentação foi aplicada nas imagens originais (espaço de cor RGB), e em imagens convertidas para os espaços de cor HSV e CIEL*a*b*, utilizando a função `Imgproc.cvtColor()` para estas conversões. Depois das conversões das imagens para os espaços de cor mencionados, os dados de cada canal foram armazenados em seis novas variáveis, máxima e mínima para cada canal de cor.

A Figura 23 é um exemplo de imagem obtida pelo sistema de aquisição, e a Figura 24 apresenta o resultado para a segmentação das imagens no espaço de cor RGB. Como pode ser observado, além das folhas dos cultivares, outros elementos permaneceram na imagem, sendo este processo insuficiente para o propósito desta pesquisa.

Figura 23 - Imagem original utilizada para a segmentação do espaços de cores.



Fonte: O autor.

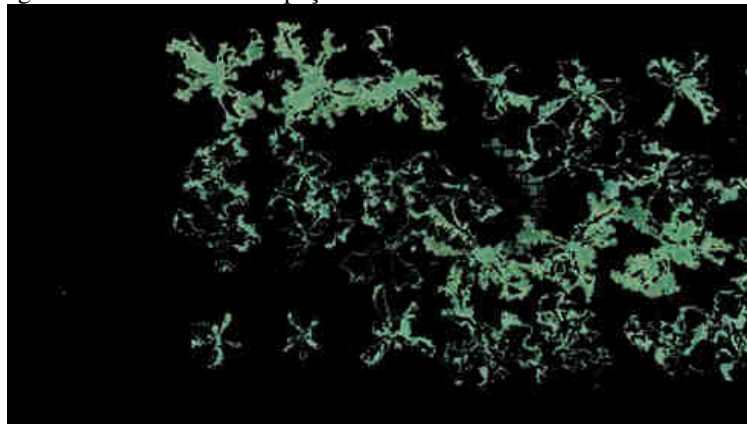
Figura 24 - Imagem segmentada utilizando o espaço de cor RGB.



Fonte: O autor.

A Figura 25 apresenta o resultado da segmentação para imagens no espaço de cor HSV. Comparando a imagem original (Figura 23) com a da Figura 25, verifica-se que a segmentação separou as alfaces do restante da imagem, no entanto, a área identificada como alface é menor que a esperada.

Figura 25 - Imagem segmentada utilizando o espaço de cor HSV.



Fonte: O autor.

A Figura 26 é o resultado da segmentação para imagem no espaço de cor CIEL*a*b*. Nesse caso, comparando com a imagem original (Figura 23), visivelmente há maior detecção da área considerada folhas da alface.

Figura 26 - Imagem segmentada utilizando o espaço de cor CIEL*a*b*.



Fonte: O autor.

Esse resultado ocorreu no trabalho García-Mateos et al. (2014), que após analisar vários espaços de cores, concluiu que o CIEL*a*b* alcançou a melhor detecção para alfaces comparando com análise de especialistas. Outro trabalho que obteve o melhor resultado na detecção do objeto de interesse é o trabalho de Franco (2017), onde foi testada a detecção de 10 sementes de soja e o espaço de cor CIEL*a*b* foi que o mais se aproximou, detectando 11 sementes, enquanto o espaço de cor RGB identificou 17 sementes, e o que apresentou o pior desempenho foi o espaço de cor HSV, identificando 196 sementes.

Portanto, com a utilização do espaço de cor CIEL*a*b*, a área considerada pertencente a alface foi superior, quando comparada com a área calculada na imagem RGB e HSV. Dessa forma, o espaço de cor CIEL*a*b* foi considerado para segmentação das imagens utilizadas para as etapas seguintes do processamento. Visando aumentar a área de detecção das alfaces, foi aplicada a morfologia matemática dilatação e erosão.

4.1.4 Classificação

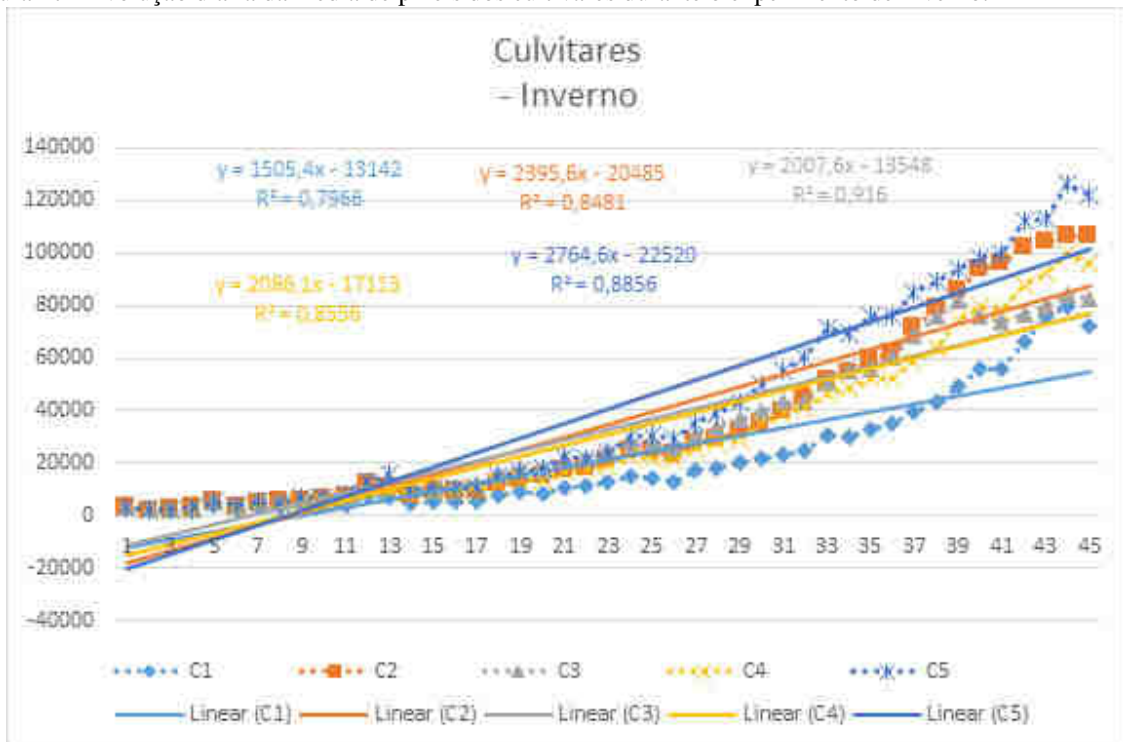
Para a realização da classificação, foram criadas máscaras (Seção 3.3.3), que separavam da imagem convertida para o espaço de cor CIEL*a*b* as regiões que pertenciam a mesma repetição e a mesma cultivar, ou seja, que agrupavam as três plantas de mesmo cultivar e repetição. Então, as imagens eram segmentadas, conforme Seção 3.3.1, para em seguida conseguir, efetivamente, colher dados de imagem por repetição e cultivar.

Embora tenha sido almejado, não foi possível usar a detecção dos contornos da folhagem para o acompanhamento do desenvolvimento dos diferentes cultivares da alface. Isso porque os múltiplos cultivares apresentaram múltiplos itens de desenvolvimento (diferentes comprimentos do caule, quantidade de folhas e massa das folhas), o que também refletiu em

sobreposições diferenciadas nas imagens. Por exemplo, o cultivar C3 cresceu mais e acabou sobrepondo pequenas áreas dos cultivares vizinhos.

Então, foi buscada a contagem de pixels por cultivar. A Figura 27 apresenta a quantidade de média de pixels referente a cada cultivar da alface ao longo do tempo de desenvolvimento do cultivo, para o experimento de inverno. As linhas pontilhadas, conectando os símbolos, são apenas guias visuais, enquanto as retas sólidas são resultados do ajuste linear para cada cultivar.

Figura 27 - Evolução diária da média de pixels dos cultivares durante o experimento de inverno.

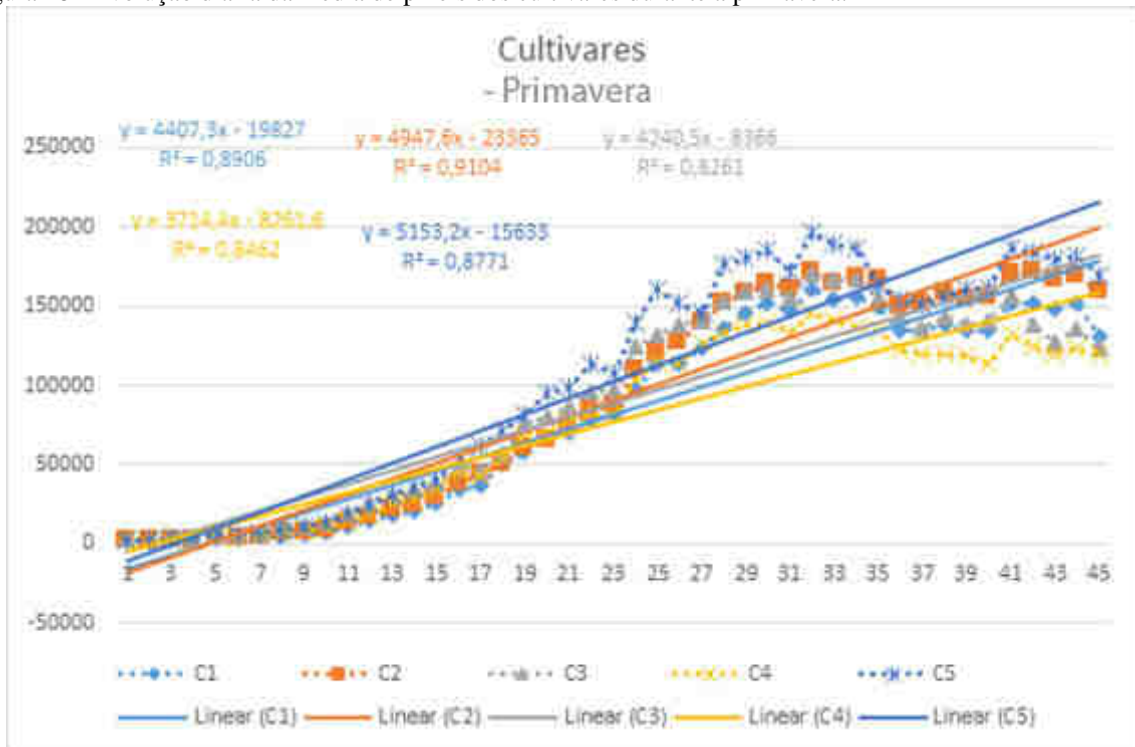


Fonte: O autor.

Observa-se, da Figura 27, que há uma relação monotônica entre o valor médio dos pixels dos cultivares e o tempo de desenvolvimento do cultivo (45 dias). Dos ajustes lineares foram obtidos respectivamente os seguintes coeficientes de determinação R^2 e de correlação R por cultivar: para C1, $R^2 = 0,7966$ e $R = 0,8925$, correspondendo a uma correlação forte; para C2, $R^2 = 0,8481$ e $R = 0,9209$, correspondendo a uma correlação muito forte; para C3, $R^2 = 0,9160$ e $R = 0,9571$, correspondendo a uma correlação muito forte; para C4, $R^2 = 0,8556$ e $R = 0,9250$, correspondendo a uma correlação muito forte; e para C5, $R^2 = 0,8856$ e $R = 0,9411$, correspondendo a uma correlação muito forte. Diante disso, verifica-se ser possível acompanhar o desenvolvimento das alfaces com o auxílio das técnicas do PDI.

A Figura 28 apresenta os resultados da contagem média de pixels verdes das cultivares durante o ciclo de primavera ao longo dos 45 dias de cultivo. As linhas pontilhadas, conectando os símbolos, são apenas guias visuais, enquanto as retas sólidas são resultados do ajuste linear para cada cultivar. É possível verificar um crescimento não monotônico das plantas detectado pelo PDI.

Figura 28 - Evolução diária da média de pixels dos cultivares durante a primavera.



Fonte: O autor.

Dos ajustes lineares, Figura 28, foram obtidos respectivamente os seguintes coeficientes de determinação e de correlação por cultivar: para C1, $R^2 = 0,8906$ e $R = 0,9437$; para C2, $R^2 = 0,9104$ e $R = 0,9541$; para C3, $R^2 = 0,8261$ e $R = 0,9089$; para C4, $R^2 = 0,8462$ e $R = 0,9199$; e para C5, $R^2 = 0,8771$ e $R = 0,9365$, todos correspondendo a uma correlação muito forte.

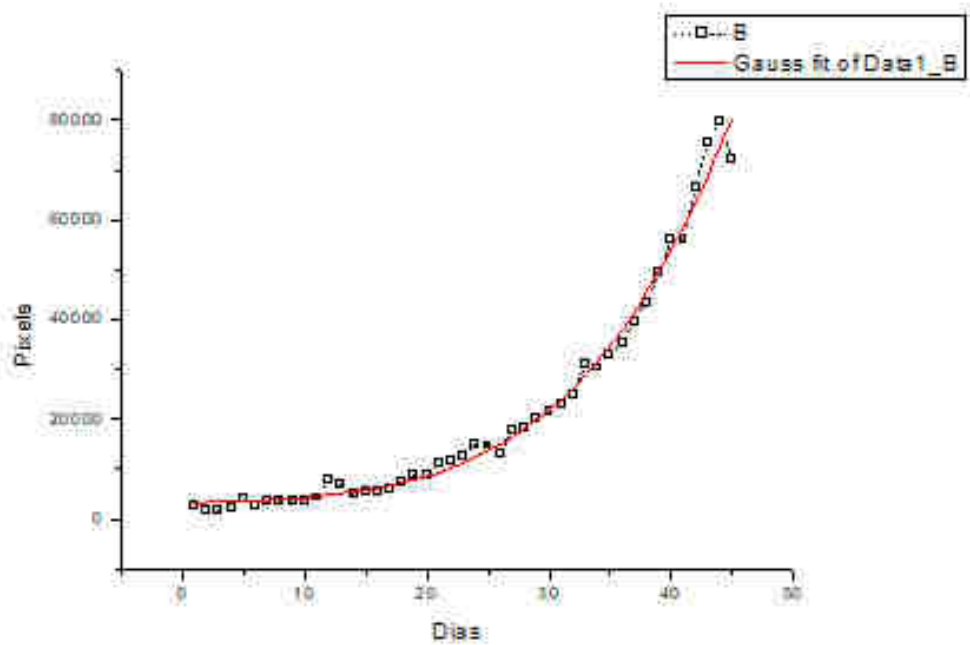
Ainda da Figura 28 é possível observar que na primavera as plantas se desenvolveram mais rapidamente, além de apresentar o momento de troca das folhas velhas por folhas novas. Esse momento de troca é observado pela ocorrência de dois pontos máximos de crescimento das alfaces.

Para melhor entender o crescimento da alface e estimar um possível momento de colheita, foi feito o ajuste com função gaussiana de um pico, para os resultados do inverno, pois o crescimento observado é monotônico; e de dois picos para os resultados de primavera, devido

ao segundo crescimento de folhagens. A função gaussiana foi escolhida pois foi a que melhor se ajustou nos gráficos apresentados.

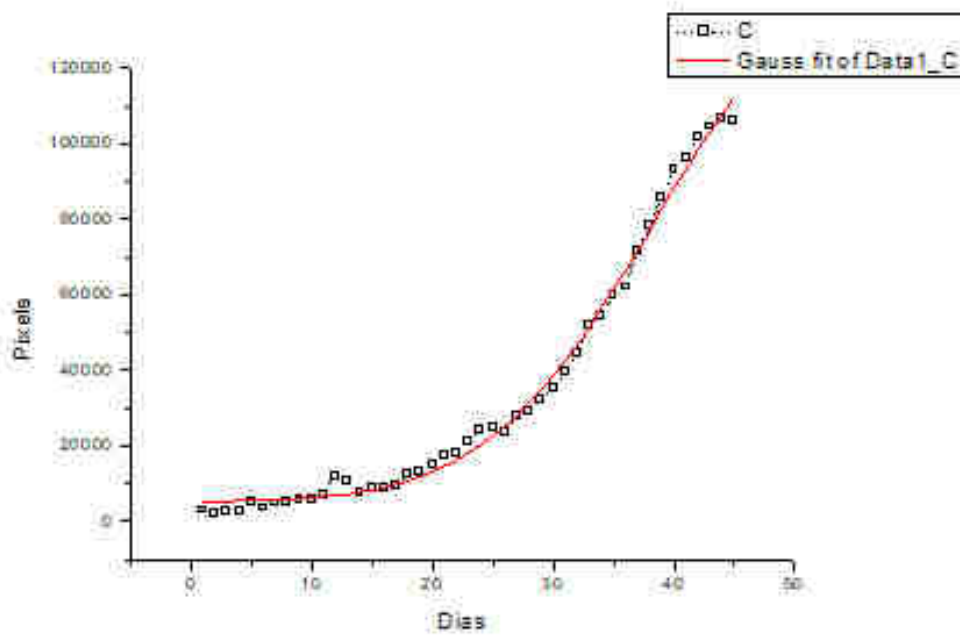
As Figuras 29 a 33 apresentam, respectivamente, o ajuste com função gaussiana obtido para a contagem média de pixels ao longo do ciclo de cultivo do inverno para a cultivar C1 a C5. Os pontilhados entre os símbolos são meramente guias visuais.

Figura 29 - Ajuste de função gaussiana na evolução da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C1 no inverno.



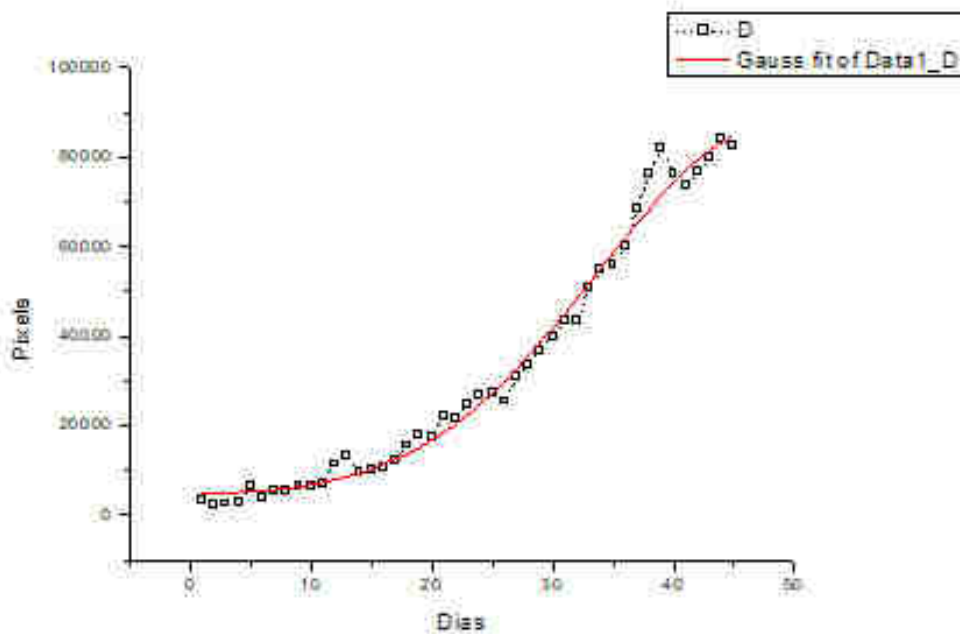
Fonte: O autor.

Figura 30 - Ajuste de função gaussiana na evolução da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C2 no inverno.



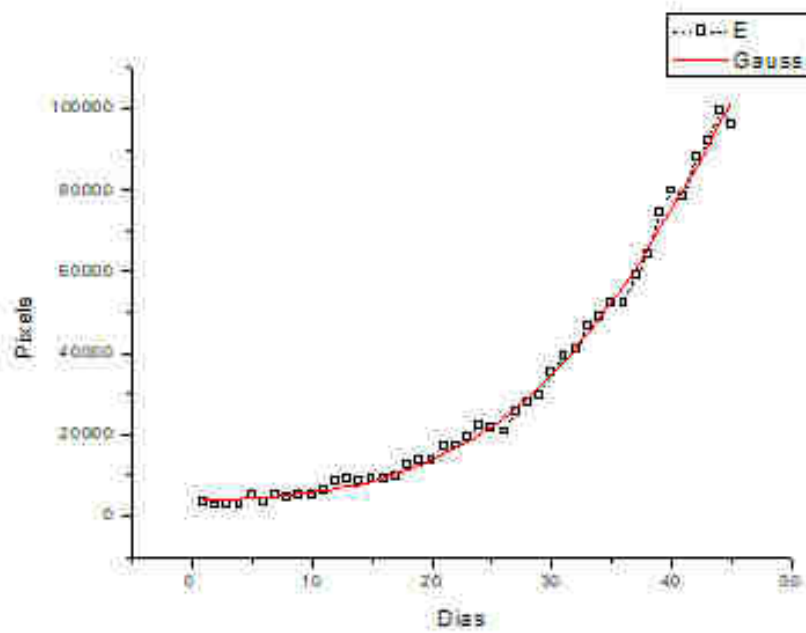
Fonte: O autor.

Figura 31 - Ajuste de função gaussiana na evolução da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C3 no inverno.



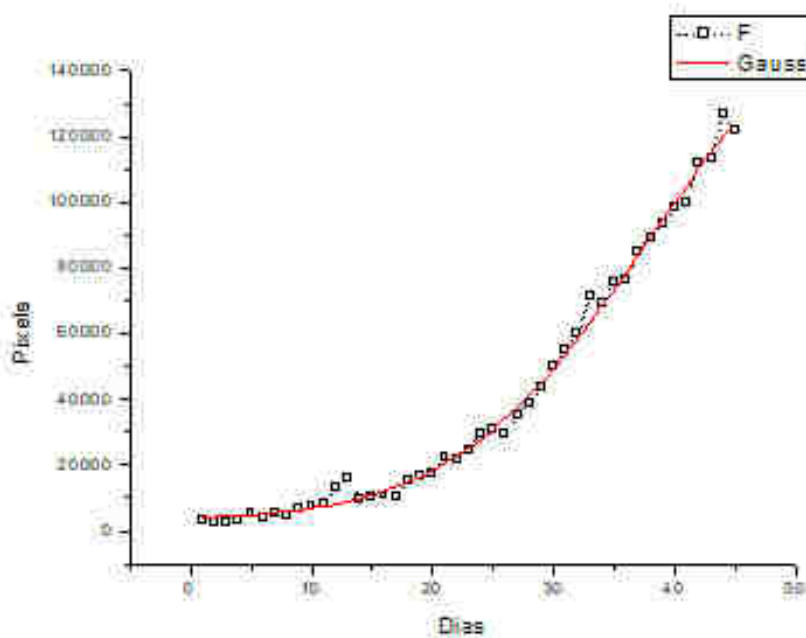
Fonte: O autor.

Figura 32 - Ajuste de função gaussiana na evolução da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C4 no inverno.



Fonte: O autor.

Figura 33 - Ajuste de função gaussiana na evolução da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C5 no inverno.



Fonte: O autor.

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de determinação obtidos para cada cultivar no inverno. Nota-se que o desenvolvimento de todos os cultivares puderam ser ajustados com função gaussiana de um pico e que todos os ajustes apresentaram um coeficiente de determinação muito forte, sendo os que obtiveram os melhores coeficientes, foram as cultivares C4 e C5, respectivamente com 0,99566 e 0,99505. A cultivar que obteve o pior coeficiente de determinação foi a C3 com 0,98892.

Tabela 3 - Tabela dos coeficientes de determinação dos cultivares no inverno.

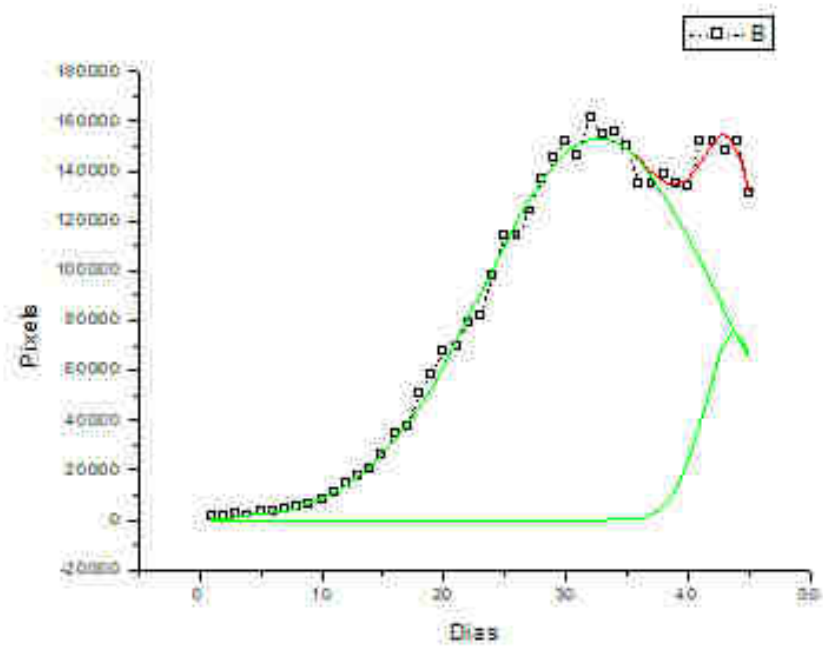
Cultivar	Coeficiente de determinação
C1	0,98902
C2	0,9942
C3	0,98892
C4	0,99566
C5	0,99505

Fonte: O Autor

Dessa forma, no inverno observou-se apenas uma tendência de crescimento para as cinco cultivares, que foi ajustada pela função gaussiana de um pico. O período de 45 dias apresenta o crescimento da planta e maior absorção de nutrientes. Todas as cultivares apresentaram um aumento crescente de folhagem (pixel) até aproximadamente 45 dias, mostrando que neste período não é possível detectar o ponto máximo de crescimento. As cultivares C1 e C3 apresentaram um valor menor de contagem de pixels verdes de folhagens, resultado esperado, pois essas cultivares apresentaram menores média nos valores de massa fresca das folhas (Tabela 5).

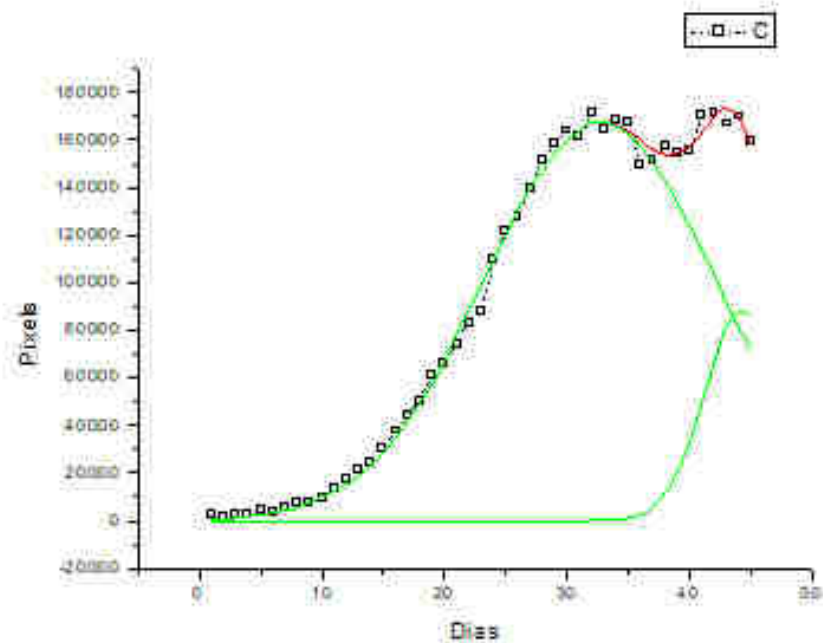
As Figuras 34 a 38 apresentam as contagens médias de pixels ao longo do ciclo de cultivo da primavera para as cultivares C1 a C5, respectivamente, e os ajustes obtidos com função gaussiana de dois picos. Os pontilhados entre os símbolos são meramente guias visuais. As curvas sólidas em verde corresponde ao ajuste gaussiano individual de cada pico e a curva sólida em vermelho é a soma das curvas em verde.

Figura 34 - Ajuste de função gaussiana de dois picos na evolução diária da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C1 durante a primavera.



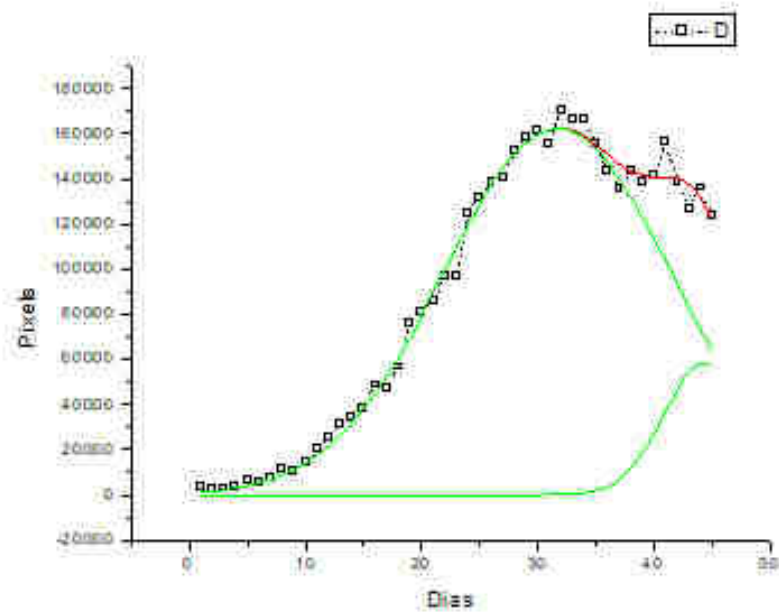
Fonte: O autor.

Figura 35 - Ajuste de função gaussiana de dois picos na evolução diária da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C2 durante a primavera.



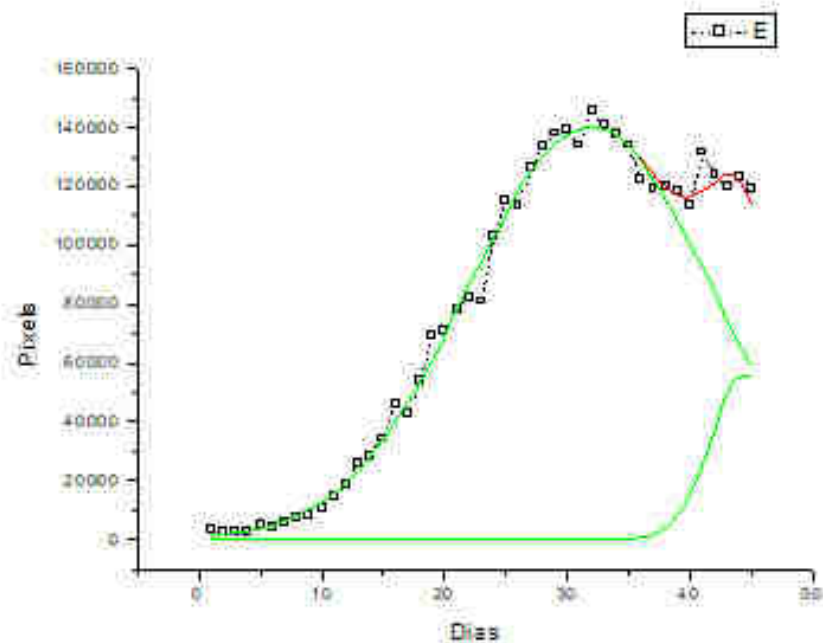
Fonte: O autor

Figura 36 - Ajuste de função gaussiana de dois picos na evolução diária da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C3 durante a primavera.



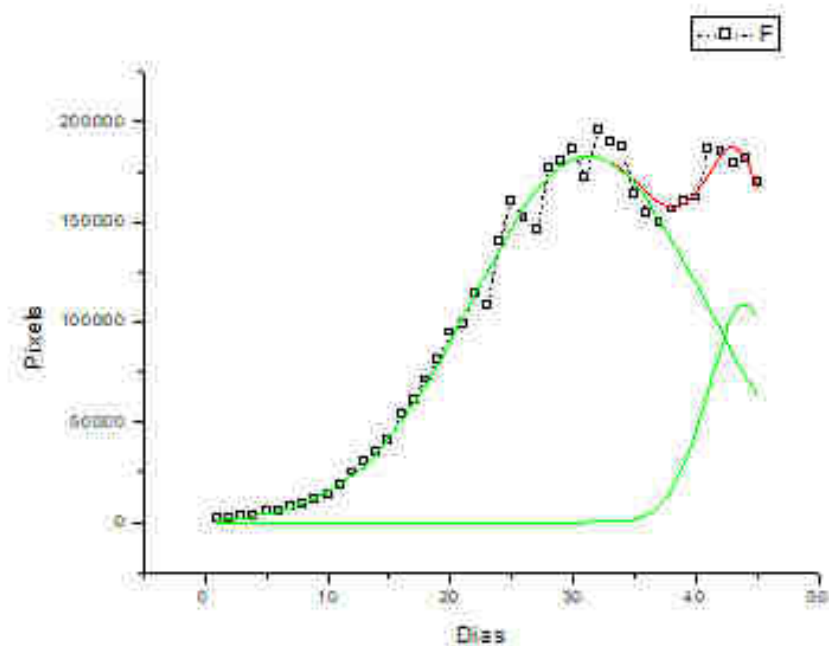
Fonte: O autor.

Figura 37 - Ajuste de função gaussiana de dois picos na evolução diária da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C4 durante a primavera.



Fonte: O autor.

Figura 38 - Ajuste de função gaussiana de dois picos na evolução diária da contagem média de pixels durante o desenvolvimento do cultivar C5 durante a primavera.



Fonte: O autor.

A Tabela 4 apresenta os coeficientes de determinação obtidos para cada cultivar na primavera. Nota-se que todos os cultivares com o ajuste com dois picos apresentaram um coeficiente de determinação muito forte, sendo os que obtiveram os melhores coeficientes, foram as cultivares C2 e C1, respectivamente com 0,99732 e 0,99618, e a cultivar que obteve o pior coeficiente de determinação foi a C5 com 0,99119.

Tabela 4 - Tabela dos coeficientes de determinação dos cultivares na primavera.

Cultivar	Pico 1 (Dias)	Pico 2 (Dias)	Coefficiente de determinação
C1	33	44	0,99618
C2	33	44	0,99732
C3	32	44	0,99272
C4	32	44	0,99367
C5	31	44	0,99119

Fonte: O autor

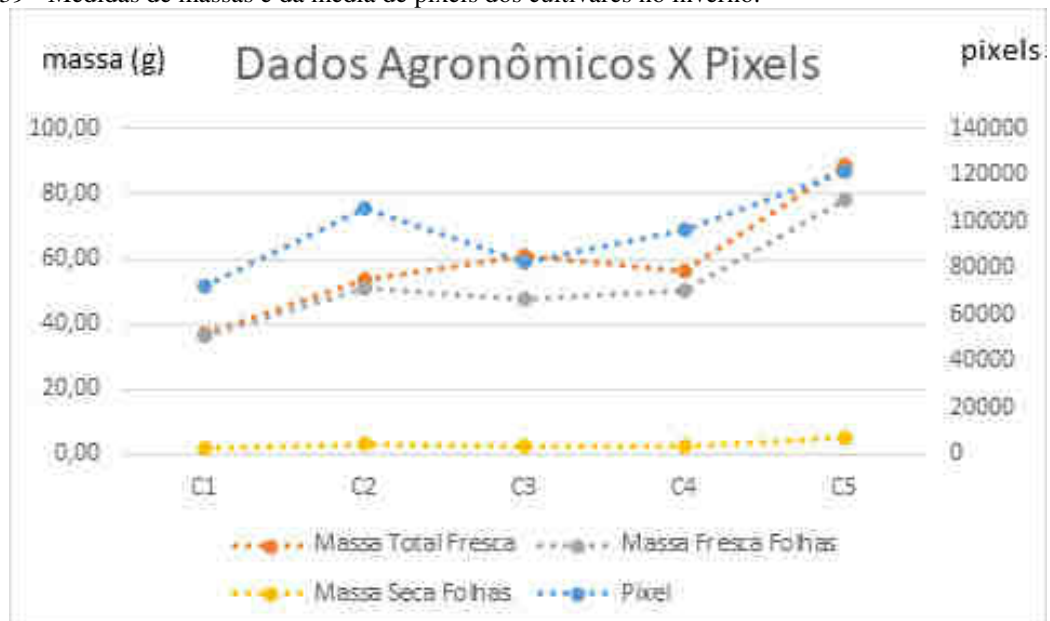
Dessa maneira, na primavera observou-se duas tendências de crescimento para as cinco cultivares, que foi ajustada pela função gaussiana de dois picos. Conforme a Tabela 4 os cultivares C1 e C2 apresentaram o primeiro pico da função ajustada em aproximadamente 33 dias, os cultivares C3 e C4 apresentaram o primeiro pico da função ajustada em aproximadamente 32 dias e o cultivar C5 apresentou o primeiro pico da função ajustada em

aproximadamente em 31 dias, demonstrando o primeiro pico com o máximo de detecção de pixels verde de folhagem. O primeiro pico mostra o crescimento das plantas e maior absorção de nutrientes acarretando uma maior quantidade de clorofila nas plantas. Após o período do primeiro pico nota-se uma diminuição na contagem de pixels verdes de folhagem, devido ao envelhecimento das folhas e diminuição da absorção de nutrientes. Em aproximadamente 44 dias, é observado um segundo pico máximo de detecção de pixels verdes de folhagem, devido ao crescimento de novas folhas.

A cultivar C5 foi a que apresentou uma maior detecção de pixels verdes de folhagem, resultado esperado, devido a este cultivar ter apresentado melhores resultados de agronomia, como uma maior média da quantidade de folhas, comparado às demais cultivares (Tabela 6). Já as cultivares C3 e C4, apresentaram um valor menor de contagem de pixel verde, resultado também esperado, pois essas cultivares apresentaram valores médio menores de massa fresca das folhas, massa seca das folhas e quantidades de folhas menores (Tabela 6).

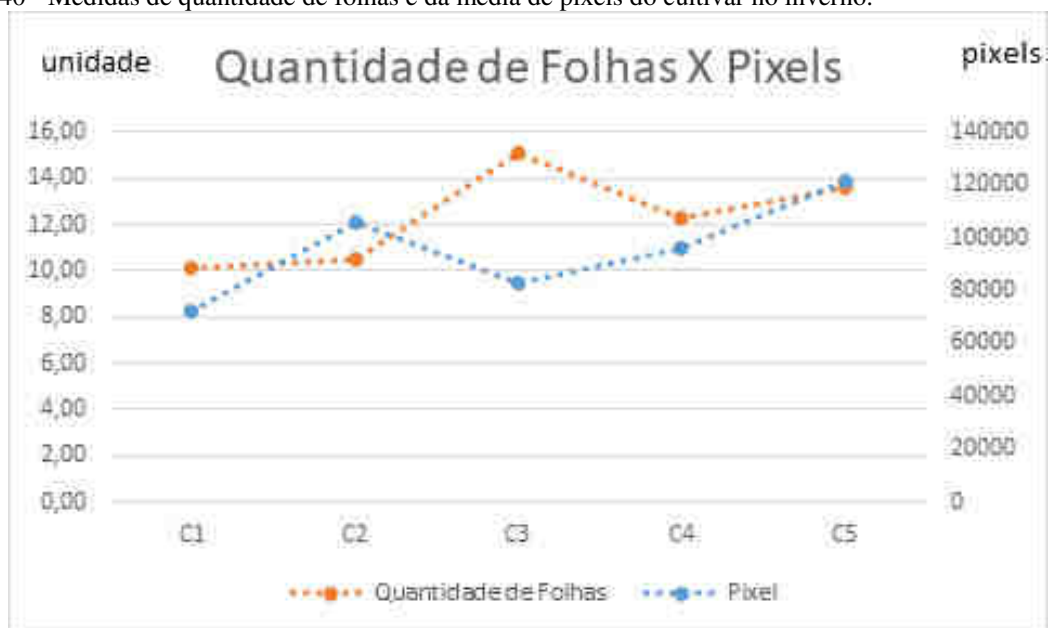
A partir do resultado da contagem de pixels no último dia do experimento e dos dados agronômicos obtidos no final do experimento, foram avaliadas possíveis relações entre estas medidas. As Figuras 39 e 40 apresentam o comportamento da quantidade média de pixels correspondente ao cultivar (ou folhagem) para medidas de massa e de folhas, respectivamente, para o inverno.

Figura 39 - Medidas de massas e da média de pixels dos cultivares no inverno.



Fonte: O autor.

Figura 40 - Medidas de quantidade de folhas e da média de pixels do cultivar no inverno.



Fonte: O autor.

Verifica-se, da Figura 39, que a única medida de massa que a quantidade de pixels do cultivar consegue acompanhar, para todos os cultivares em análise, é a da massa fresca das folhas. Também deve-se registrar que as cultivares C2 e C5 apresentaram os maiores valores de contagem de pixels verdes de folhagens, sendo que estas cultivares são também as que apresentaram os melhores resultados para massa fresca e massa seca das folhas. As cultivares C1 e C3 apresentaram menores valores de pixels, massa fresca e massa seca das folhas. A Tabela 5 apresenta em detalhes os valores apresentados nas Figuras 39 e 40.

Tabela 5 - Valores obtidos para a Média de Pixels, Massa Total Fresca, Massa Fresca Folhas e Massa Seca Folhas para os diferentes cultivares avaliados no inverno.

	Pixel	Massa Total Fresca (g)	Massa Fresca Folhas (g)	Massa Seca Folhas (g)
C1	72217	37,19	36,06	1,83
C2	106066	53,65	51,34	3,11
C3	82685	61,28	47,46	2,45
C4	96224	56,51	50,49	2,48
C5	121642	89,14	78,57	4,97

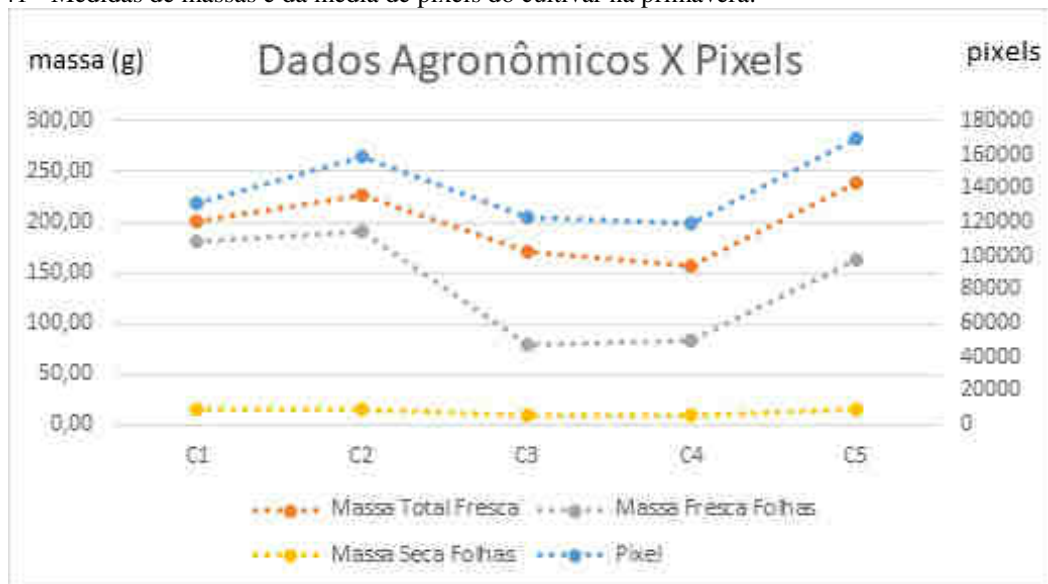
Fonte: O autor.

Para a quantidade de folhas não foi possível fazer uma associação com a quantidade de pixels, pois algumas cultivares apresentaram muitas folhas com 5 cm de comprimento, o que acarretou em uma área foliar menor. Isso mostra que a quantidade de folhas de uma cultivar não tem relação direta com a área foliar, pois algumas cultivares apresentam muitas folhas

pequenas sobrepostas, e estas sobreposições não são detectadas pela presente abordagem para análise de imagens de alface.

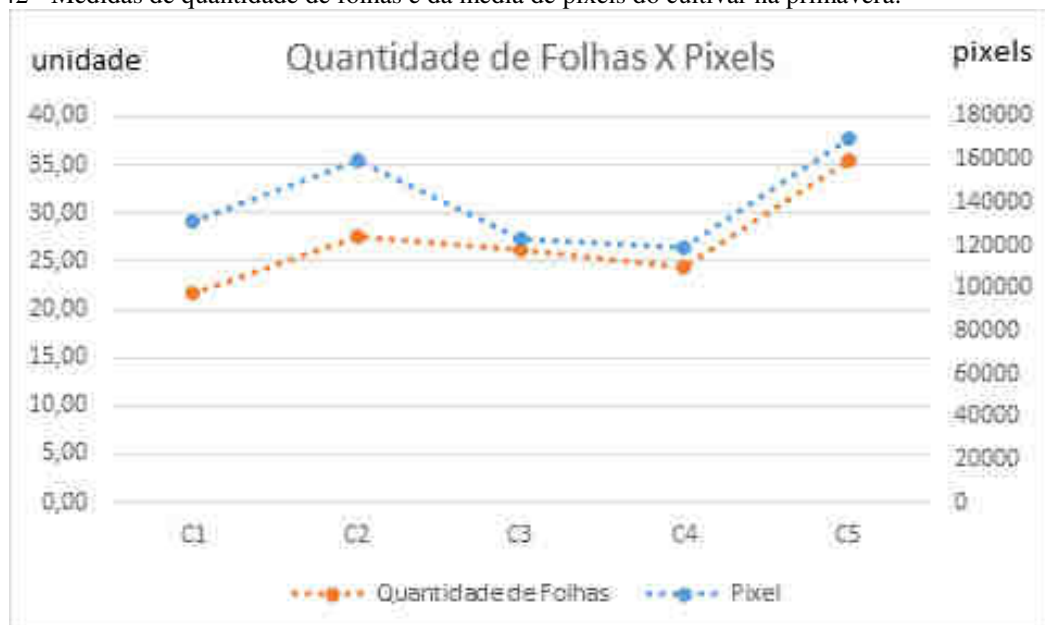
As Figuras 41 e 42 apresentam o comportamento da quantidade média de pixels correspondente ao cultivar (ou folhagem) para medidas de massa e de folhas, respectivamente, para a primavera.

Figura 41 - Medidas de massas e da média de pixels do cultivar na primavera.



Fonte: O autor.

Figura 42 - Medidas de quantidade de folhas e da média de pixels do cultivar na primavera.



Fonte: O autor.

Verifica-se, da Figura 41, que a única medida de massa que a quantidade de pixels do cultivar consegue acompanhar, para todos os cultivares em análise, é a da massa total fresca das folhas. As cultivares C2 e C5 apresentaram os maiores valores de contagem de pixels verdes de folhagens, sendo as cultivares que também apresentaram os melhores resultados para massa fresca total e massa seca das folhas. As cultivares C3 e C4 apresentaram menores valores de pixels verdes de folhagens. Da mesma forma, apresentaram menores valores de massa fresca total, massa fresca e massa seca das folhas. A Tabela 6 apresenta em detalhes os valores apresentados nas Figuras 41 e 42.

Tabela 6 - Tabela média de Pixels, Massa Total Fresca, Massa Fresca Folhas e Massa Seca Folhas na primavera.

	Pixel	Massa Total Fresca (g)	Massa Fresca Folhas (g)	Massa Seca Folhas (g)
C1	131418	201,89	181,70	14,60
C2	159418	226,51	190,37	15,83
C3	123490	170,80	79,11	9,40
C4	119426	156,59	82,85	8,99
C5	169429	238,73	163,37	15,93

Fonte: O autor.

Para a primavera, as folhas tiveram um crescimento mais homogêneo. Porém, não foi possível fazer associação entre a quantidade de pixels e a quantidade de folhas, pois algumas cultivares apresentaram muitas folhas com 5 cm de comprimento, acarretando em uma área foliar menor. Diante disso, pode-se inferir que a quantidade de folhas de uma cultivar não tem relação direta com a área foliar, visto que algumas cultivares apresentam muitas folhas pequenas sobrepostas, que não são detectadas pela abordagem apresentada neste trabalho para análise de imagens de alface.

4.2 AGRONÔMICO

4.2.1 Resultados Gerais

O experimento realizado no período de inverno obteve uma média diária da umidade relativa do ar em 64,34%, sendo o menor índice de umidade do ar de 50,09%, no dia 32, e o segundo dia foi o com maior índice de umidade do ar de 83,76%, conforme a Figura 43.

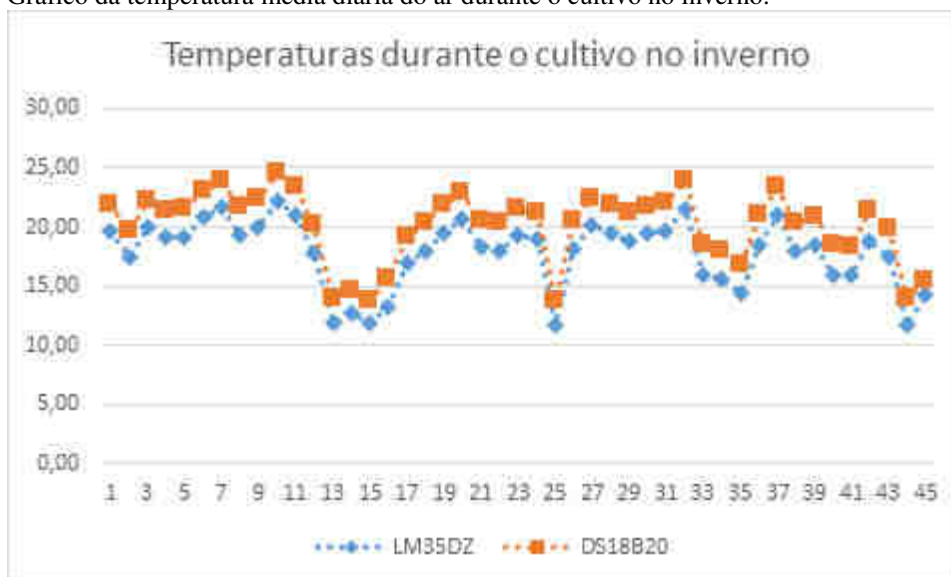
Figura 43 - Gráfico da umidade média diária do ar durante o cultivo no inverno.



Fonte: O autor.

As temperaturas registradas no experimento de inverno pelo sensor LM35DZ ficaram na média diária em 17,84 °C, com a temperatura mais baixa de 11,65 °C no dia 25 e a temperatura mais elevada de 22,25 °C, no dia 10. Com o sensor DS18B20 a média diária da temperatura ficou 20,11 °C, obtendo a temperatura mais baixa de 13,70 °C, no dia 15, e a temperatura mais elevada de 24,49 °C, no dia 10, conforme a Figura 44.

Figura 44 - Gráfico da temperatura média diária do ar durante o cultivo no inverno.



Fonte: O autor.

O experimento realizado no período de primavera obteve uma média diária da umidade relativa do ar em 52,58%, sendo o menor índice de umidade do ar de 37,43% (dia 37) e o maior índice de umidade do ar de 83,62% (dia 2), conforme a Figura 45.

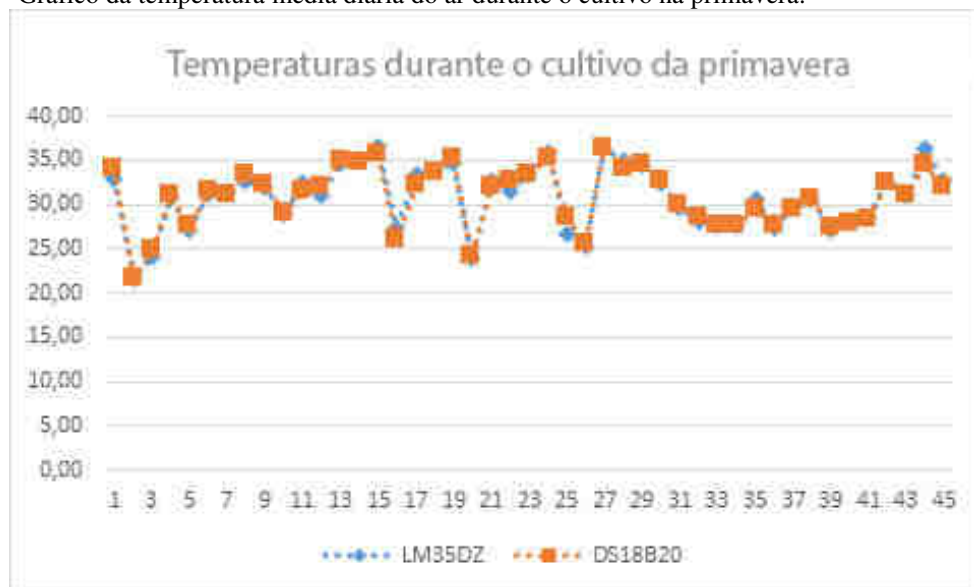
Figura 45 - Gráfico da umidade média diária do ar durante o cultivo na primavera.



Fonte: O autor.

As temperaturas registradas no experimento de primavera pelo sensor LM35DZ ficaram na média diária em 30,87 °C, obtendo a temperatura mais baixa de 21,57 °C (dia 2) e a temperatura mais elevada de 36,69 °C (dia 15). Com o sensor DS18B20 a média diária da temperatura ficou 30,80 °C, obtendo a temperatura mais baixa de 21,63 °C (dia 2) e a temperatura mais elevada de 36,33 °C (dia 27), conforme a Figura 46.

Figura 46 - Gráfico da temperatura média diária do ar durante o cultivo na primavera.



Fonte: O autor.

Outro fator que sofre influência da temperatura é a absorção de nutrientes, que diretamente influencia no desenvolvimento da alface. Para Antônio (1998), temperaturas

elevadas, acima de 40 °C retardam gradualmente a absorção de nutrientes, por outro lado a maior absorção é conseguida entre 25 °C e 30 °C.

Analisando a evaporação do tanque classe A no inverno e na primavera, foi obtido uma média de evaporação de 0,56 mm e 3,10 mm, respectivamente. No inverno, com temperaturas mais baixas e umidades relativas mais altas, observou-se uma redução na evaporação do tanque Classe A. Já na primavera, com temperaturas mais altas e umidades relativas mais baixas, pode-se observar uma tendência ao aumento da evaporação do tanque Classe A. Esse comportamento também verificado no trabalho de Maggi et al. (2006).

4.2.2 Análise Estatísticas

As Tabelas 7 e 8 apresentam os resultados da análise estatística, para os cultivares em análise, para: número de folhas, massa fresca de folhas, massa seca de folhas, comprimento de caule e massa fresca total, para o inverno e a primavera da região centro-sul paranaense, respectivamente.

Tabela 7 - Número de folhas, Massa fresca da folhas (g), Massa seca da folha (g), Comprimento do caule (cm) e Massa fresca total (g) de cinco cultivares de alface cultivadas no período de inverno na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul *Campus* Laranjeiras do Sul (PR), 2018.

Cultivares	Números de folhas	Massa Fresca de Folhas (g)	Massa Seca de Folhas (g)	Comprimento caule (cm)	Massa Fresca Total (g)
Crocante	10,17c	36,06b	1,83b	1,42c	37,19b
Pira Verde	10,50c	51,34ab	3,11b	2,17c	53,66b
Simpson	15,08a	47,47ab	2,45b	17,77a	61,28ab
Grand Rapids	12,33b	50,49ab	2,48b	6,46b	56,51ab
Palmas	13,58ab	78,57a	4,97a	7,43b	89,14a
<i>Coefficiente de variação %</i>	5,71	27,39	23,83	16,92	25,88

*Médias de tratamentos seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: O autor

Tabela 8 - Número de folhas, Massa fresca da folhas (g), Massa seca da folha (g), Comprimento do caule (cm) e Massa fresca total (g) de cinco cultivares de alface cultivadas no período de primavera na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul *Campus* Laranjeiras do Sul (PR), 2018.

Cultivares	Números de folhas	Massa Fresca de Folhas (g)	Massa Seca de Folhas (g)	Comprimento caule (cm)	Massa Fresca Total (g)
Crocante	21,78b	181,70a	14,60a	8,08c	201,89a
Pira Verde	27,67b	190,37a	15,83a	14,87c	226,51a
Simpson	26,22b	79,11b	9,40a	98,28a	170,80a
Grand Rapids	24,50b	82,85b	8,99a	57,06b	156,59a
Palmas	35,55a	163,37a	15,93a	29,11bc	238,73a

<i>Coefficiente de variação %</i>	8,61	18,33	21,14	24,04	14,93
-----------------------------------	------	-------	-------	-------	-------

*Médias de tratamentos seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: O autor

No inverno, a cultivar Palmas obteve uma massa fresca total de 89,14 g, sendo mais que 1,6 vezes e 2,3 vezes maior, respectivamente, que das cultivares Crocante e Pira Verde que tiveram os menores valores de massa fresca total, respectivamente de 37,19 g e 53,66 g. Ao analisar a massa fresca das folhas, as cultivares Palmas e Crocante diferiram entre si, porém não diferiram estatisticamente das demais cultivares. Devido a cultivar Simpson apresentar um caule maior em relação às demais, ela obteve uma perda maior de massa fresca das folhas. A cultivar Palmas diferiu estatisticamente das outras cultivares em relação a massa seca das folhas, obtendo uma maior massa seca.

Para o número de folhas, as cultivares Crocante e Pira Verde, diferiram das demais cultivares, já Simpson e Grand Rapids diferiram entre si, mas não diferiram de Palmas. A cultivar Simpson obteve o maior número de folhas.

Na primavera, as cultivares não apresentaram diferenças estatísticas em relação a massa fresca total, porém devido ao comprimento do caule de Simpson e Grand Rapids, ambas apresentaram diferenças significativas ao analisar a massa fresca das folhas. Também não houve diferença significativa em relação a massa seca das folhas. Ao analisar o número de folhas, apenas a cultivar Palmas apresentou diferença significativa, obtendo uma média de 35,55 folhas por pé de alface.

Verifica-se que a massa fresca comercial da alface, associada ao seu valor de comercialização, está entre os principais parâmetros que influem na escolha desta hortaliça pelo consumidor; assim sendo, as cultivares que apresentarem maior massa fresca são as preferidas pelo consumidor (SILVEIRA, 2016). Diante disso, as cultivares Crocante, Pira verde e Palmas teriam maior aceitação comercial devido a sua massa fresca total, para cultivo na primavera.

Quanto ao comprimento do caule, o maior valor indica que a cultivar tem maior suscetibilidade ao pendoamento. Tanto na primavera, quanto no inverno a Simpson diferenciou-se estatisticamente dos demais cultivares. No inverno as cultivares Crocante e Pira Verde não apresentaram diferenças significativas entre si e as cultivares Grand Rapids e Palmas também não diferenciaram entre si, porém diferenciaram-se de Crocante e Pira Verde. Na primavera as cultivares Crocante, Pira Verde e Palmas não se diferiram significativamente entre si, porém Crocante e Pira Verde diferiram significativamente de Grand Rapids, já Grand Rapids e Palmas

não diferiram estatisticamente entre si. Devido ao pendoamento precoce observado nas cultivares Simpson e Grand Rapids na primavera, observa-se que estes cultivares não são adequados a produção nas condições climáticas observadas. No inverno também foi observado pendoamento precoce da cultivar Simpson, sendo, portanto, também não adequada a produção da mesma nas condições climáticas do experimento. O processo de pendoamento precoce está relacionado à antecipação do ciclo reprodutivo, associado aos dias longos e as altas temperaturas (SILVA; LEAL; MALUF, 1999).

Flôres et al. (2016), também encontraram valores elevados para o comprimento de caule das cultivares Simpson e Grand Rapids, nas condições climáticas de temperaturas mais elevadas.

Quanto menor o caule, melhor a qualidade na comercialização e resistência do material ao florescimento. O que se observa na prática é que caules com comprimento entre 5,0 a 6,0 cm seriam os mais adequados, sendo aceitáveis até o patamar de 9,0 a 10 cm e inaceitáveis ou menos recomendados para comercialização acima disto (RESENDE et al., 2010).

Nos últimos anos surgiram programas de melhoramento genético, que têm disponibilizado considerada gama de cultivares, adaptadas a diferentes condições ambientais, sendo algumas recomendadas para cultivos de outono-inverno e outras para primavera-verão (FILGUEIRA, 2008). As cultivares selecionadas, segundo as empresas Isla e TecnoSeed, eram adaptadas ao cultivo o ano todo, porém verificou-se na primavera massas maiores para todas as cultivares, da mesma forma, foi observado um pendoamento precoce de duas delas, mostrando a influência das condições climáticas na produção das mesmas. Outro fator é o ciclo de produção, que foi de 66 dias para as duas épocas do ano, porém, segundo as duas empresas, na primavera-verão as cultivares podem ser produzidas em um ciclo menor de tempo.

Montes (2008), observou menores valores de evapotranspiração e maior eficiência no uso da água em alfaces cultivadas em ambiente protegido, em Viçosa - MG. Segovia et al. (1997), enfatizam que as plantas de alface cultivadas em casa de vegetação apresentaram maiores valores para parâmetros de crescimento de área foliar, massa fresca da parte aérea e massa seca das folhas, do caule e das raízes.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetos desenvolver sistemas computacionais e obter características agronômicas de desenvolvimento do cultivar de alface para avaliação do desenvolvimento nas estações (inverno e primavera) da região centro-sul paranaense; determinar um modelo matemático para estimar o momento correto, dentro de cada uma destas estações, para a realização da colheita dos cultivares; e estabelecer as diferenças de desenvolvimento entre os cultivares para as estações em análise. Para isso, foram buscadas relações entre as grandezas físicas e o PDI.

O sistema proposto de aquisição das variáveis de grandezas físicas provou ser capaz de obter valores de temperatura ambiente, a partir dos sensores DS18B20 e LM35DZ; valores de umidade do ar, com o sensor DHT11; e de armazenar os dados por minutos. Esses dados foram importantes para caracterizar os dois períodos de experimentos, as estações da região centro-sul paranaense, inverno e primavera.

O sistema de aquisição de imagens proposto gerou capturas com qualidade suficiente para as demais etapas do processamento. O sistema atendeu a quantidade de vasos determinada para os experimentos realizados, limitando-se a quantidade de vasos das quatro fileiras, referentes as quatro repetições, atentando-se ao ângulo de visão da lente da WebCam. A partir do arranjo proposto, foram adquiridas imagens com múltiplas alfases, por meio de três WebCams, realizando a captura de imagens das 60 plantas do experimento.

Para o sistema de processamento digital de imagens proposto foi possível detectar a área foliar utilizando o espaço de cor CIEL*a*b*. O PDI conseguiu acompanhar o desenvolvimento dos cultivares e diferenciou o tempo de crescimento para as estações extremas (inverno e primavera). Detectando a inclinação das retas (ajuste para obter correlação) mais lentamente no inverno em comparação a primavera, no inverno ocorrendo cerca de 2128 pixels/dia e na primavera 3125 pixels/dia.

O sistema pode ajudar a determinar o tempo máximo para colheita, por cultivar, assim possibilitando que o produtor não venha realizar gastos desnecessários. A utilização dos princípios básicos da morfologia matemática mostraram um aumento de detecção da área de interesse. Também, foi possível obter um modelo matemático para a determinação do melhor momento para a colheita da alface no cultivo de primavera, utilizando-se do ajuste de função de dois pico do gaussiano.

Agronomicamente, no cultivo do período de inverno, a cultivar que alcançou melhor índice de massa fresca foi a Palmas, já para o cultivo do período de primavera as cultivares não apresentaram diferenças significativas para massa fresca total, mas como as cultivares Simpson e Grand Rapids apresentaram grandes caules, acabaram ocorrendo grande perda de massa quando comparado a massa fresca total e massa fresca das folhas. Com base nos dados dos comerciantes de sementes utilizados no experimento, o resultado alcançado diferiram do anunciado para a grande maioria dos cultivares, nas condições vivenciadas no experimento, as quatro cultivares (Pira Verde, Simpson, Grand Rapids e Palmas) são definidas para cultivo o ano todo, enquanto que a cultivar Crocante é para o período de verão, que apresentou o melhor desempenho conforme o comerciante.

Ao analisar os dois resultados (inverno e primavera) do teste Tukey, percebe-se que as cultivares que mostraram melhores resultados, comparando os dois resultados, foram as cultivares Palmas e Pira Verde, respectivamente, assim possibilitando a utilização destas cultivares para possíveis cultivos onde as condições, regionais e climáticas, possam se aproximar com a realizado no experimento. As cultivares Grand Rapids e Simpson apresentaram estiolamento durante o cultivo de primavera e a cultivar Crocante não se desenvolveu de forma adequada no cultivo de inverno.

Por fim, é possível concluir que os sistemas propostos, de captura das grandezas físicas e captura de imagens obteve resultados satisfatórios comparando com a expectativa inicial, pois foi realizada captura de variáveis das grandezas físicas e imagens com sucesso, podendo contribuir com outros experimentos que requerem estes dados. O sistema de processamento digital de imagens por ter conseguido detectar a área foliar das alfaces pode ser utilizados em sistemas que necessitem detectar objetos com cores aproximadas.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa mostrou que um dos desafios na aquisição de imagens de múltiplos cultivares da alface para o processamento e identificação de características é a sobreposição das múltiplas cultivares, ocasionada por seu desenvolvimento não homogêneo, que ocorre dentro de limites determinados quando se trabalha somente com uma cultivar.

A técnica de segmentação utilizada, não detectou individualmente, as alfaces, ocorrendo que as espécies se desenvolveram de formas distintas, ocasionando invasões na região de cultivares vizinhas. Assim, para futuros trabalhos, envolvendo PDI e múltiplos cultivares de alface, sugere-se, primeiramente, um estudo preliminar do espaçamento

necessário entre plantas de um mesmo cultivar, podendo caracterizar cada tipo de cultivar, para então elaborar um arranjo experimental em que cada planta não invada uma região preestabelecida para outra planta.

O sistema não foi preparado para a falta de energia. Devido a isso, algumas coletas de dados durante o dia não foram realizadas ao longo dos experimentos pela falta de energia na estufa. Sugere-se, para evitar as perdas de dados dos sensores das grandezas físicas e imagens, a instalação de um módulo de nobreak, para garantir um tempo extra de energia quando ocorrer a falta de energia elétrica, ou um módulo de substituição de fonte de energia, por exemplo, para uma bateria. Também, sugere-se uma possível ventilação forçada na caixa hermética do circuito, onde se encontra o Arduino e o Raspberry, evitando assim um possível aquecimento, principalmente, nas épocas de temperaturas mais elevadas. Outra sugestão, é que a correção da média do erro padrão dos valores lidos dos sensores, possam ser corrigidos no microcontrolador Arduino, ou se manter a correção posteriormente em planilha eletrônica, o microcontrolador possa ser substituído por um conversor analógico-digital.

O sistema proposto apresentou problemas nas imagens adquiridas no período noturno, apresentando baixa luminosidade, assim impossibilitando o uso das imagens capturadas nesse período e algumas perdas durante o dia por falta de energia na estufa. Outra sugestão para trabalhos futuros é o aprimoramento da iluminação, assim possibilitando trabalhar com as fotos capturadas no período noturno.

Também, sugere-se aplicar o sistema de processamento digital de imagens desenvolvido neste trabalho para avaliar cultivares de outras plantas que tenham seu desenvolvimento caracterizado por alteração de cor e formato.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 14610:2000 - Indicador de temperatura com sensor - Calibração por comparação com instrumento padrão.** 2000.
- ACHARYA, T.; RAY, A. K. **Image Processing Principles and Applications.** 2005.
- ALBUQUERQUE, J. M. D. S. et al. Cultivo da alface crespa em função de diferentes níveis de água. **IV INOVAGRI International Meeting**, p. 7, 2017.
- AMARAL, B. A. S. et al. Análise de matiz para classificação da cobertura do solo em áreas agrícolas. **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014**, p. 1–4, 2014.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. DE; KLAR, A. . Manejo da irrigação da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque classe A. **Scientia Agricola**, v. 54, n. 1–2, p. 31–38, jan. 1997.
- ANTÔNIO, I. C. Análise do comportamento da cultura da alface em sistema Hidropônico, tipo NTF, com e sem o uso de nutrientes quelatizados na solução nutritiva. **Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticaba**, p. 91, 1998.
- AOSONG. **Temperature and Humidity.** Disponível em: <<http://www.baudaeletronica.com.br/Documentos/DHT11.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2017.
- ARDUINO. **Arduino Uno.** Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/>>. Acesso em: 20 fev. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **O mercado de folhosas Numeros e Tendencias.** 2016 Disponível em: <http://www.abcsem.com.br/upload/arquivos/O_mercado_de_folhosas__Numeros_e_Tendencias_-_Steven.pdf>.
- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos.** Editora Be ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 1996.
- BANDEIRA, G. R. et al. Manejo de irrigação para cultivo de alface em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, p. 237–241, 2011.
- BARBOSA, V. A. A. et al. Comparação da contaminação de alface (*Lactuca sativa*) proveniente de dois tipos de cultivo. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 10, n.2, p. 231–242, 2016.
- BELTRÃO, N. E. E M.; FILHO, J. F.; FIGUEIRÊDO, I. C. DE M. Uso adequado de casa-de-vegetação e de telados na experimentação agrícola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 547–552, 2002.
- BLIND, A. D.; SILVA FILHO, D. F. Desempenho produtivo de cultivares de alface americana na estação seca da Amazônia central. **Bioscience Journal**. p. 404–414, 2015a.
- BLIND, A. D.; SILVA FILHO, D. F. Desempenho de cultivares de alface americana cultivadas com e sem mulching em período chuvoso da Amazônia. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v.

9, n. 2, p. 143, 2015b.

CHERNOV, V.; ALANDER, J.; BOCHKO, V. Integer-based accurate conversion between RGB and HSV color spaces. **Computers and Electrical Engineering**, v. 46, p. 328–337, 2015.

CORREIA, É. C. S. DA S. **Reação de cultivares de alface do grupo americano a *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *M. enterolobii***. 2013.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop Water Requirements**. 1977.

FACON, J. **Processamento e Análise de Imagens**. Curitiba, 2002, 128 p.

FERNÁNDEZ-PACHECO, D. G. et al. A digital image-processing-based method for determining the crop coefficient of lettuce crops in the southeast of Spain. **Biosystems Engineering**, v. 117, n. C, p. 23–34, 2014.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. 2005.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa-MG: Embrapa Amazônia Ocidental (CPAA), 2008.

FLÔRES, J. DE A. et al. Desempenho agrônômico de cultivares de alface em casa de vegetação no município de Humaitá, AM. **Revista de Ciências Agroambientais**, 2016.

FRANCO, J. R. **Método computacional para identificação do fungo *Cercospora Kikuchii* em sementes de soja**. 2017.

GARCÍA-MATEOS, G. et al. Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications. **Agricultural Water Management**, v. 151, n. March, p. 158–166, 2014.

GOMES, O. DA F. M. **Processamento e análise de imagens aplicados à caracterização automática de materiais**. Rio de Janeiro, 2001.

GONZÁLEZ-ESQUIVA, J. M. et al. Web application for analysis of digital photography in the estimation of irrigation requirements for lettuce crops. **Agricultural Water Management**, v. 183, p. 136–145, 2017.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing Third Edition**. 2008.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento Digital de Imagens 3ª edição**. 3. ed. São Paulo: 2010.

GUARESCHI, W. et al. Configurable test bed design for nanosats to qualify commercial and customized integrated circuits. **IEEE Aerospace Conference Proceedings**, p. 1–7, 2013.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. Tipos de alface cultivados no brasil. **Comunicado Técnico - Embrapa Hortaliças**, v. 75, p. 1–7, 2009.

JUNIOR, A. L. et al. AgroTIC em agricultura de precisão e automação agrícola. In: **Embrapa**

Informática Agropecuária-Livros científicos (ALICE). [s.l: s.n.] 2015. cap. Capítulo 1. ISBN 978-85-7035-414-3.

KOETZ, M. et al. Efeito de doses de potássio e da frequência de irrigação na produção da alface-americana em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 730–737, 2006.

KŘÍSTKOVÁ, E. et al. Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources. **Hort. Sci. (Prague)**, v. 35, n. 3, p. 113–129, 2008.

LEITE, F. N. **Calibração de dispositivos a cores utilizando uma câmera digital.** 2006.

LIMA JUNIOR, J. A. DE. **Análise técnica e econômica da produção de alface americana irrigada por gotejamento.** 2008.

LIMA JÚNIOR, J. A. et al. Avaliação econômica da produção de alface americana em função de lâminas de irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 2, p. 392–398, 2011.

LOGITECH. **WebCam Logitech C920.** 2018.

MACHADO, A. F. **Erosões e dilatações morfológicas binárias seqüenciais rápidas.** 2008.

MADEIRA, N. R.; REIFSCHNEIDER, F. J.; GIORDANO, L. DE B. Contribuição portuguesa à produção e ao consumo de hortaliças no Brasil: uma revisão histórica. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 428–432, 2008.

MAGALHÃES, F. F. et al. Produção de cultivares de alface tipo crespa sob diferentes lâminas de irrigação. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 4, n. 1–3, p. 41–50, 2015.

MAGGI, M. F. et al. Produção de variedades de alface sob diferentes potenciais de água no solo em ambiente protegido. **Irriga Botucatu**, v. 11, p. 415–427, 2006.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. DE C. E; SILVA, H. R. DA. **Manejo da irrigação em hortaliças.** Brasília: 1996.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens.** Rio de Janeiro: [s.n.]. 1999, 331 p

MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. **DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer.** 2015. Disponível em: <www.maximintegrated.com>.

MONTES, D. R. P. **Evapotranspiração da cultura da alface dentro e fora de ambiente protegido.** 2008.

MOREIRA, T. M. P. N. **Sistema automático de classificação de alvos ISSF.** 2017.

NATIONAL SEMICINDUCTOR. **Precision centigrade temperature sensors LM35 LM35A LM35C LM35CA LM35D.** n. December 1994, 1994.

OLIVEIRA, M. R. V. DE. **O emprego de casas de vegetação no Brasil: vantagens e desvantagens** Pesq. agropec. bras, 1995.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. J.; VICENTIN, T. A.; CUNHA, A. R. Avaliação do sensor DHT11 - medidas de temperatura e umidade relativa do ar. **3ª Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu**, p. 1–6, 2014.

OSÓRIO, G. T. **Diversidade de espécies e variedades crioulas no oeste catarinense: um estudo de caso a partir de alface e radice em Anchieta e Guaraciaba**. v. 1, p. 110, 2015.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. **Análise de imagens digitais: princípios, algoritmos e aplicações**. [s.l.] Thomson Learning, 2008a.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. **Análise de imagens digitais: princípios, algoritmos e aplicações**. Thomson Le ed. São Paulo: [s.n.] 2008.

QUEIROZ, J. E. R. DE; GOMES, H. M. Introdução ao processamento digital de imagens. **Rita**, v. 8, n. 1, p. 1–31, 2001.

QUEIROZ, T. A. F. et al. Sistema embarcado linux para análise de sensores de temperatura DHT11 e LM35. **Escola Regional de Informática do Piauí**, p. 1–6, 2016.

RADIN, B. et al. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, v. 2222, n. 22, p. 178–181, 2004.

RASPBERRY PI FOUNDATION. **Raspberry Pi camera module**. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/webcams/>>. Acesso em: 20 fev. 2019a.

RASPBERRY PI FOUNDATION. **Raspbian**. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>>. Acesso em: 20 fev. 2019b.

REIS, N. V. B. DOS. Construção de estufas para produção de hortaliças nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. **Embrapa Hortaliças - Circular Técnica (INFOTECA-E)**, v. 38, n. 31468, p. 16, 2005.

RESENDE, G. M. DE et al. Yield and postharvest quality of winter growing crisphead lettuce as affected by doses of nitrogen and molybdenum. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 441–445, 2010.

RESENDE, F. V. et al. Cultivo de alface em sistema orgânico de produção. **Embrapa**, v. 56, p. 1–16, 2007.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. DA. Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 187–194, 2012.

SANTOS, A. et al. Uma plataforma de hardware e software para medição de temperatura utilizando diferentes tecnologias de sensores. **III Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais**, 2013.

SANTOS, C. E. DOS et al. Anuário brasileiro de hortaliças 2015. **Editora Gazeta Santa Cruz**, p. 43, 2015.

SANTOS, T. G. DOS. **Efeito do ambiente enriquecido no perfil comportamental do peixe-zebra (Danio rerio) adulto**. 2015.

SARAVANAN, G.; YAMUNA, G.; NANDHINI, S. Real time implementation of RGB to HSV/HSI/HSL and its reverse color space models. **International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2016**, p. 462–466, 2016.

SCURI, A. E. **Fundamentos da Imagem Digital**. 2002.

SEGOVIA, J. F. O. et al. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, p. 37–41, 1997.

SILVA, E. C. DA; LEAL, N. R.; MALUF, W. R. Avaliação de cultivares de alface sob altas temperaturas em cultivo protegido em três épocas de plantio na região Norte Fluminense. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, p. 491–499, 1999.

SILVA, F. DE A. S. E; AZEVEDO, C. A. V. DE. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733–3740, 2016.

SILVA, W. R. **Sistemas de imagens digitais com aplicabilidade na odontologia**. p. 0–29, 2011.

SILVEIRA, F. C. G. DA. **Desempenho de genótipos de alface-crespa em diferentes ambientes de cultivo, no município de Igarapava-SP desempenho de genótipos de alface-crespa em diferentes ambientes de cultivo, no município de Igarapava-SP**. 2016.

SOLOMON, C.; BRECKON, T. **Fundamentos de processamento digital de imagens: Uma abordagem prática com exemplos em MATLAB**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013.

SOUZA, J. S. DE; CARDOZA, J. A. S. Sensores de Imagem Digitais CCD E CMOS. **VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**, v. VII, p. 1–8, 2012.

TIBIRIÇÁ, A. C. G.; BRITO, A. A. A. DE; BAÊTA, F. C. Produção de alface no verão: estufas como ambiente de cultivo. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, p. 418–425, 2004.

ZADE, P. A. V; HARWANI, S.; BAWANKULE, P. A smart green house automation system by wireless sensor networks. **International Journal of Research in Advent Technology**, v. 5, n. 3, p. 48–50, 2017.

ZHANG, L. et al. Design of greenhouse environment remote monitoring system based on android platform. **Chemical Engineering Transactions**, v. 46, p. 739–744, 2015.