

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Luiz Antônio Meira

**USPLeaf: Software de processamento digital de imagens para obtenção da área foliar
em espécies forrageiras**

Pirassununga /SP
2020

Luiz Antônio Meira

**USPLeaf: Desenvolvimento de software de processamento digital de imagens para
obtenção da área foliar em espécies forrageiras**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: **Gestão e Inovação na Indústria Animal**

Orientador: Prof. Dr. Adriano Bruno Rogério Tech

Ficha catalográfica elaborada pelo

Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP, com
os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M514u Meira, Luiz Antônio
USPLeaf: Desenvolvimento de software de
processamento digital de imagens para obtenção da
área foliar em espécies forrageiras. / Luiz Antônio
Meira ; orientador Adriano Rogério Bruno Tech. --
Pirassununga, 2020.
80 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Mestrado Profissional Gestão e Inovação na
Indústria Animal) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Área Foliar. 2. Análise de Imagens. 3.
Agricultura de Precisão. 4. Agronegócio. 5.
Tecnologia da Informação. I. Tech, Adriano Rogério
Bruno, orient. II. Título.

Luiz Antônio Meira

**USPLeaf: Desenvolvimento de software de processamento digital de imagens para
obtenção da área foliar em espécies forrageiras**

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Gestão e Inovação da Indústria Animal.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Bruno Rogério Tech

Data de Aprovação: ___/___/_____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. _____

Instituição _____

Presidente da Banca Examinadora

Prof.(a) Dr(a) _____

Instituição _____

Prof.(a) Dr(a) _____

Instituição _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente ao meu avô, o Sr. Oscar Silva Meira (*in memoriam*), que mesmo em seu leito de morte teve o discernimento para ensinar com bondade e sabedoria dedicando poucas palavras, atordoadas pela maléfica doença, mas com um significado arrebatador e ecoam até hoje para que nunca perdesse a garra e fé na vida e nas pessoas. Aos meus pais, Sr. Antônio Rivaldo Meira (*in memoriam*) e Delcy Matos Meira, que mesmo impedidos de estudar em função das dificuldades sempre proporcionaram um ambiente incentivador e harmonioso aos estudos. Finalmente a minha esposa Rosiane de Fátima Cossa Meira pela bondade, apoio, compreensão, amor e fé inabaláveis, que nos momentos de maior dificuldade foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e Nossa Senhora Aparecida que sempre nos ampara em nos momentos difíceis e por reconhecimento e respeito devem ser lembrados também nos momentos alegres.

À instituição por promover um ambiente favorável ao aprendizado.

Ao Professor Doutor Adriano Rogério Bruno Tech, meu orientador e amigo por acreditar, incentivar e proporcionar momentos únicos de aprendizagem e conquista.

À Professora Doutora Lilian Elgalise Techio Pereira pela ajuda, paciência e apoio inestimáveis nos experimentos deste projeto e em suas orientações fornecida com empenho e paciência.

A todos os docentes que ajudaram, não apenas como professores, mas como verdadeiro orientadores na construção do conhecimento necessário para a realização e conclusão deste projeto.

E por fim, a minha família e amigos pessoais, pelo apoio incansável através gestos, palavras e ações.

A todos, minha eterna gratidão.

“Não está morto quem peleia.”

Ditado Gaúcho

RESUMO

MEIRA, Luiz Antônio. **USPLeaf: Desenvolvimento de software de processamento digital de imagens para obtenção da área foliar em espécies forrageiras**. 2020. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga-SP, 2020.

As novas tecnologias vêm crescendo de forma significativa em todos os setores da sociedade moderna. No campo não é diferente e seu uso tem contribuído para o aumento da produtividade em vários setores do Agronegócio, principalmente no correto uso das tecnologias no apoio ao manejo de animais. Dessa forma, o desenvolvimento de um software que possibilite ao produtor ou pesquisador determinar Área Foliar de forma rápida e barata pode contribuir de maneira significativa para o aumento da capacidade produtiva do setor. Com uma metodologia de trabalho simples o software USPLeaf foi capaz de captar imagens sem necessidade de aparatos sofisticados, exigindo pouco conhecimento técnico para a aquisição e manipulação das imagens, garantindo facilidade de operacionalidade e rapidez de processamento. O sistema foi desenvolvido na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) da Universidade de São Paulo (USP). Os métodos empregados para a aquisição das imagens consistiram de três dispositivos distintos, sendo o Samsung Galaxy A30, o Smartphone Lenovo K5 e uma câmera semiprofissional Sony Cyber Shot, modelo DSC H300. Como protocolo de coleta foi estabelecido que cada amostra deveria conter três folhas por espécie, sendo obtidas 15 amostras com 3 repetições de imagens por amostra, totalizando 45 amostras por espécie e processadas pelo software USPLeaf e pelo integrador padrão LI-COR 3100. As espécies utilizadas no experimento foram a Brachiaria Mavuno, a Macrotiloma e a Rami. Os resultados obtiveram um ótimo desempenho quando comparados com o método padrão, sendo que para a espécie Mavuno o coeficiente de determinação R^2 obtido com o dispositivo Samsung Galaxy A30, com a utilização da mesa de captação fixa foi de 97,05%, com o Smartphone Lenovo K5 sem o uso da mesa de captação foi de 90,80%, e com a câmera Cyber Shot DSC H300 sem a mesa de captação foi de 86,25%. Para a espécie Macrotiloma os valores de R^2 foram, respectivamente, 96,84%, 87,98 e 88,35% e, para a Rami, os valores de R^2 foram 96,39%, 92,09 e 78,05, respectivamente. Assim, os valores de R^2 obtidos permitem concluir que o uso do software é extremamente eficaz e, que possibilita uma agilidade extremamente grande na obtenção da área foliar para diversos tipos e espécies de plantas, sendo exigido apenas uma padronização mínima na aquisição das imagens, onde a utilização do dispositivo Samsung Galaxy A80, com a utilização da mesa de captura obteve o melhor desempenho quando comparado com o método padrão LI-COR 3100.

Palavras Chaves: Área Foliar, Análise de Imagens, Agricultura de Precisão, Agronegócio, Tecnologia da Informação.

ABSTRACT

MEIRA, Luiz Antônio. **USPLeaf: Development of digital image processing software to obtain leaf area in forage species**. 2020. Dissertation (Master's). Faculty of Animal Science and Food Engineering, Pirassununga-SP, 2020.

New technologies have been growing significantly in all sectors of modern society. In this field it is no different and its use has contributed to increase productivity in various sectors of Agribusiness, mainly in the correct use of technologies to support animal management. Thus, the development of A software that enables the producer or researcher to determine the Foliar Area quickly and cheaply can contribute significantly to the increase in the productive capacity of the sector. With a simple working methodology, the USPLeaf software IS able to capture images without the need for sophisticated apparatus, requiring little technical knowledge to acquire and manipulate the images, ensuring ease of operation and speed of processing. The system was developed at the Faculty of Animal Science and Food Engineering (FZEA) in University of São Paulo (USP). The methods used to acquire images consisted of three different devices, the Samsung Galaxy A30, the Lenovo K5 Smartphone and a Sony Cyber Shot semi-professional camera, model DSC H300. As a collection protocol, it was established that each sample should contain three leaves per species, obtaining 15 samples with 3 repetitions of images per sample, totaling 45 samples per species and processed by the USPLeaf software and by the standard integrator LI-COR 3100. The species used in the experiment were Brachiaria Mavuno, Macrotiloma and Rami. The results obtained an excellent performance when compared with the standard method, and for the Mavuno species the coefficient of determination R^2 obtained with the Samsung Galaxy A30 device, with the use of the fixed capture table was 97.05%, with the Smartphone Lenovo K5 without using the pickup table was 90.80%, and with the Cyber Shot DSC H300 camera without the pickup table it was 86.25%. For the Macrotiloma species, R^2 values were 96.84%, 87.98 and 88.35%, respectively, and for Rami, R^2 values were 96.39%, 92.09 and 78.05, respectively. Thus, the R^2 values obtained allow us to conclude that the use of the software is extremely effective and that it allows an extremely great agility in obtaining the leaf area for different types and species of plants, requiring only a minimum standardization in the acquisition of images, where the use of the Samsung Galaxy A80 device, with the use of the capture table obtained the best performance when compared to the standard LI-COR 3100 method.

Keywords: Leaf Area, Image Analysis, Precision Agriculture, Agribusiness, Information Technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formato de folhas em distintas espécies vegetais: (A) Melancia; (B) Rabanete; (C) Amendoim e (D) Gramíneas em Geral	21
Figura 2 - Primeira imagem digital.	22
Figura 3 - Imagem Ampliada	22
Figura 4 - Diagrama de fluxo de dados	24
Figura 5 - Etapas de processamento de imagens.	25
Figura 6 – Exemplos de operadores.	28
Figura 7 - Brachiaria Mavuno.	34
Figura 8 - Folha composta da Macrotiloma.	35
Figura 9 - Folha de Macrotiloma desmembrada.	35
Figura 10 - Forrageira Rami.	36
Figura 11 - Resultado do processamento da Rami.	36
Figura 12 - Dispositivos de captura de imagem: (A) Samsung A10, (B) LeNovo K5 Vive e (C) Câmera Digital Sony Cyber Shot DSC H300.	37
Figura 13 - Funcionamento do LI-COR 3100.	38
Figura 14 - Sistema USPLeaf - DFD.	40
Figura 15 - Sistema USPLeaf - Nível 1.	41
Figura 16 - Imagem utilizada para calibrar o software.	42
Figura 17 - Imagem original, com filtros e convertida de branco e preto.	43
Figura 18 - Ponto de referência.	44
Figura 19 - Resumo de processamento.	45
Figura 20 - Tapa da mesa de captação de imagens.	45
Figura 21 - Mesa de captação de imagens – 1º protótipo.	48
Figura 22 - Imagens com excesso de ruídos.	49
Figura 23 - Mesa de captação com quebra vento	50
Figura 24 - Mesa de captação - vista superior.	50
Figura 25 - Tela de cadastro de Experimento.	51
Figura 26 - Tela de cadastro de novo experimento no software.	52
Figura 27 - Área do ponto de referência a ser analisada.	53
Figura 28 - Resumo do Processamento das Imagens.	54
Figura 29 - Relatório Final de Processamento.	55
Figura 30 - Imagem descartada pelo sistema.	56

Figura 31 - Imagem utilizada para calibrar o software.	56
Figura 32 - Relação entre a área foliar da espécie Macrotiloma estimada (em cm ²) com imagens capturadas com smartphone Samsung A30 – DSam (A), um smartphone LeNovo K5 Vibe - DLen (B) e uma câmera digital- DCam (C), com a área foliar atual da amostra determinada pelo método padrão (medidor de área foliar LI-COR 3100 - LAI).....	67
Figura 33 - Relação entre a área foliar da espécie Mavuno estimada (em cm ²) com imagens capturadas com smartphone Samsung A30 – DSam (A), um smartphone LeNovo K5 Vibe - DLen (B) e uma câmera digital- DCam (C), com a área foliar atual da amostra determinada pelo m	69
Figura 34 - Relação entre a área foliar da espécie Rami estimada (em cm ²) com imagens capturadas com smartphone Samsung A30 – DSam (A), um smartphone LeNovo K5 Vibe - DLen (B) e uma câmera digital- DCam (C), com a área foliar atual da amostra determinada pelo método padrão (medidor de área foliar LI-COR 3100 – LAI).....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A4	Tamanho do Papel (210x297 milímetros).
AF	Área foliar.
AFE	Área foliar específica.
BMP	Bitmap
CCD	Charge Coupled Device.
cm ²	Centímetro Quadrado.
CSS	Cascading Style Sheets (folha de estilos aplicado ao HTML)
DPI	Dot Per Inch (Pontos por polegada).
GEFEP	Grupo de Estudos em Forragicultura e Pastagens
ha	Hectare (Área equivalente a 10.000 metros quadrados).
HP	Hewlett-Packard Company
HTML	HyperText Markup Language
IA	Índice de Área
IAF	Índice de Área Foliar
kg	Quilograma
LAFAC	Laboratório de Física Aplicada e Ciência Computacional
m ²	Metro Quadrado
MRI	Nuclear Magnetic Resonance Imaging
N	Nitrogênio
PDI	Processamento Digital de Imagens
PHP	Acrônimo para Hypertext PreProcessor
PIB	Produto Interno Bruto
RGB	Red Green Blue
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
TGS	Teoria Geral de Sistemas
USP	Universidade de São Paulo
W3C	World Wide Web Consortium

SUMÁRIO

1. Introdução	14
2. Revisão de Literatura	17
2.1. Determinando a Área Foliar	17
2.3. Processamento Digital de Imagens.....	23
2.3.1. Etapas do Processamento de Imagens	24
2.4. Determinação de área foliar a partir de imagens digitais	30
3. Objetivos	33
4. Material e Métodos	34
4.1. Amostragem	34
4.2. Aquisição da imagem	36
4.3. Implementação do <i>Software</i>	38
4.3.1. Diagrama de Fluxo de Dados	39
4.3.2. Sistema USPLearn – DFD nível 1.....	40
4.3.3. Calibração do Software	41
4.3.4. Carregamento das imagens no software.....	42
4.3.5. Processamento da Imagem	43
4.4. Mesa de captação.....	45
4.5. Análise estatística e comparação entre os métodos de processamento	46
5. Resultados e Discussão	48
5.1 Desenvolvimento de equipamento de aquisição de imagens	48
5.2 Descrição geral do software implementado	51
5.3 USPLearn: Desempenho do software na determinação da área foliar utilizando diferentes dispositivos de captura de imagens.....	59
6. Conclusão	72

1. Introdução

O agronegócio brasileiro é um setor que vem se destacando pelo seu crescimento acentuado nos últimos anos. Em 2017, o agronegócio representou cerca de 21,6% do Produto Interno Bruto (PIB), segundo o relatório resultante da parceria entre o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), da Esalq/USP e, a Confederação da Agricultura da Agricultura e Pecuária do Brasil. Apesar desse setor contribuir com uma parcela significativa da economia nacional, Santos (2010) afirma que a pecuária brasileira é um exemplo claro de um setor onde é possível facilmente constatar que os índices médios de produtividade ainda estão muito abaixo do potencial e, podem crescer consideravelmente.

O Brasil é hoje um dos maiores exportadores de carne bovina, possuindo um dos maiores rebanhos aliado a uma das maiores extensões geográficas do globo. Tudo favorece o crescimento do setor e possibilita um aumento ainda mais significativo na balança comercial. No entanto, esse potencial ainda não pôde ser atingido devido a diversos fatores que reduzem ou atrasam esse crescimento, como a produção animal em regime de pastagens extrativistas, a baixa ou não aplicação de tecnologias voltadas para o segmento, a falta de técnicas de manejo adequado tanto para o rebanho quanto para as pastagens, dentre outros. Barcellos et al. (2008, p. 1), afirmam que as perdas da capacidade produtiva das pastagens geram impactos sobre o ambiente e comprometem a sustentabilidade do segmento.

No Brasil diversos tipos de pastagens predominam em sua vasta extensão territorial e uma das forrageiras mais utilizadas na pecuária nacional é a *Brachiaria*. A sua utilização pode ser constatada em quase todas as áreas da pecuária, sendo muito utilizadas tanto para a produção de gado de leite quanto para o gado de corte, devido a sua facilidade de se adaptar a terrenos com baixa fertilidade, tendo boa resposta mesmo em terrenos com acidez acentuada, conforme afirma Costa et al. (2006, p. 11). No entanto, na grande maioria das pastagens onde essa gramínea é encontrada a forma de produção ainda é extrativista, com pouca ou nenhuma técnica de manejo o que reduz significativa seu potencial produtivo. Logo, é essencial que a manutenção de condições mínimas de fertilidade de solo e o manejo correto dessa importante fonte de alimento para pecuária nacional sejam enfatizados para que seu máximo potencial produtividade possa ser atingido.

O potencial produtivo das espécies vegetais, quando em condições nutricionais adequadas, é determinado pela superfície de captação da energia solar, particularmente as folhas, e seu potencial fotossintético (NABINGER, 1996).

Dessa forma, o Índice de Área Foliar (IAF) é considerado um dos parâmetros essenciais utilizados em modelos de produtividade, pois está relacionado diretamente com capacidade de captação de energia luminosa e transformação em biomassa vegetal (BIANCO et al., 2003; TECH et al., 2018).

O método tradicional para determinação do IAF, e o mais amplamente utilizado por fornecer medidas mais acuradas (KAUR et al., 2014), é baseado em amostragem direta destrutiva (BRADSHAW et al., 2007). Nesse processo, toda biomassa acima do nível do solo que está contida no interior de uma área conhecida é recolhida, uma sub-amostra é retirada, e seus componentes morfológicos (folhas, colmos e material morto) são separados manualmente. A Área Foliar (AF) é, então, determinada em um “medidor de área foliar”, sendo que, posteriormente à obtenção da AF as folhas são submetidas a secagem (LACA; LEMAIRE, 2000). Após a secagem, a amostra de folhas a partir da qual a AF foi determinada é pesada, para obtenção da Área Foliar Específica ($AFE = AF \text{ em cm}^2 / \text{peso da amostra de folhas em g}$), medida que serve como fator de conversão para a obtenção do IAF. Esse método, considerado padrão, possui a desvantagem de ser caro, uma vez que requer equipamentos específicos para obtenção das medidas de área foliar (LI-3100, LI-COR, Nebraska, USA, ou outro medidor de área foliar), os quais são obtidos apenas via importação.

Além disso, a troca ou substituição de partes ou peças simples, também requer importação, o que impõe grandes encargos financeiros para manutenção do equipamento. O equipamento requer energia elétrica, e deve ser mantido sob bancada nivelada, não sendo possível, portanto, sua utilização em campo. Além disso, para obtenção de medidas confiáveis, é necessário que as folhas estejam túrgidas (RICO-GARCIA et al., 2009; SANTOS et al., 2017), requerendo um curto espaço de tempo entre a coleta a campo e a medida pelo aparelho, situação que nem sempre é possível dependendo da localização da área de coleta e do laboratório. A possibilidade de subestimativa da área foliar é ainda maior em espécies ou culturas que possuem rápida perda de água após o corte, tais como as leguminosas, ou quando várias amostras precisam ser medidas sucessivamente.

Com o grande avanço da tecnologia em anos recentes, ferramentas de Agricultura e Zootecnia de Precisão têm sido amplamente testadas, a fim de estabelecer melhor controle do processo produtivo em todos os segmentos do Agronegócio. Aplicativos para dispositivos móveis ou monitoramento via web, voltados ao controle produtivo e sanitário de rebanhos, controle de máquinas e equipamentos, tecnologias para colheita, controle de custos, e para inúmeras outras aplicações têm sido lançadas no mercado. Todavia, quando se analisa o mercado de softwares voltados ao monitoramento das pastagens, o cenário é bem diferente

daquele observado para outras culturas, particularmente no Brasil. Com base no exposto, este estudo apresenta a aplicação de técnicas de processamento de análise de imagens aliadas ao uso de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) para construção de um software capaz de apoiar produtores, pesquisadores e laboratórios na obtenção, de forma rápida e segura, de medidas da área foliar (AF) em espécies forrageiras.

2. Revisão de Literatura

2.1. Determinando a Área Foliar

A necessidade de mensurar a área foliar (AF) e o índice de área foliar (IAF) nas mais variadas culturas de interesse econômico vem se tornando crescente nos últimos anos. Isso se deve ao fato que tais medidas possuem influência direta nos parâmetros de produtividade, tendo em vista que o processo da fotossíntese está diretamente atrelado a conversão de energia luminosa para a produção de energia química por parte das plantas (FAVARIN et al., 2002).

O IAF ($m^2 \cdot m^{-2}$) é a relação funcional entre área foliar da planta e sua respectiva área de terreno que a planta ocupa de acordo com a espécie, clima, estações do ano e estágios de desenvolvimento da cultura em questão (HEIFFIG et al., 2006), conforme a Eq. (1):

$$IAF = \{ [MF (g/m^2) \times \%F] \times AFE (cm^2 /g) \} \quad (1)$$

onde: MF é massa de forragem; AFE é a área foliar específica.

Portanto, obter área foliar passa a ser uma etapa decisiva, pois implica diretamente nos cálculos para a obtenção do IAF.

Segundo Marcon (2009), para determinar a área foliar de uma planta podem ser utilizados dois métodos, sendo direto e o indireto, podendo ter seus métodos de coleta classificados como métodos destrutivos e não destrutivos. O método direto implica na medição de todas as folhas da planta de forma individual. Já no método indireto o processo é feito através da relação entre as características da planta em questão e sua área foliar. Souza et al. (2012), citam que o método de coleta não destrutivo é aquele no qual não há a necessidade de remoção das folhas, tendo suas medidas retiradas diretamente da planta (MALAGI et al., 2010). Já no método de coleta destrutivo, as folhas são retiradas e outros fragmentos que se façam necessários para que sejam posteriormente analisados.

A forma de obtenção AF pode divergir de acordo com autor, apresentando fórmulas semelhantes, tantos nos cálculos quanto na forma de coleta do material de amostragem, como citam Reis, Reis, Barros (2000), dando como exemplo os seguintes métodos: Método de Planímetro, Método da Quadrícula, Método do Gravimétrico, Método do Integrador de Área Foliar em Foliolos in natura, Método do Integrador de Área Foliar em Cópia Heliográfica, Método das Coordenadas, Método das Elipses Circunscritas e Método do Retângulo Circunscrito.

Na cultura da abobrinha, por exemplo, o método empregado para a obtenção da área foliar é feito através da escolha de três plantas aleatórias, utilizando o método não destrutivo com base na Eq. (2) (ARAÚJO; BOTREL, 2010):

$$AF = 0,6181 * LF^2 \quad (2)$$

onde: AF é a área foliar; LF é a largura da folha em centímetros; 0,6181 é uma constante referente a cultura em estudo denominada fator de forma.

Nessa mesma linha Francis et al. (1969) determinam a fórmula para cálculo da área foliar da cana de açúcar como sendo, Eq. (3):

$$AF = C * L * 0,75 \quad (3)$$

onde: C é o comprimento da folha; L é a largura da folha; 0,75 é o fator de forma.

Segundo Monteiro et al. (2005), o fator de forma pode ser determinado através de análise de regressão simples entre as amostras de folhas e o produto de suas respectivas dimensões, baseando-se na Eq. (4):

$$f = \frac{AF}{(L * C)} \quad (4)$$

onde: AF é a área foliar; F é determinada pelo cálculo de regressão linear simples; L é a largura da folha; C é o comprimento da folha.

Muçouçah et al. (2006), também utilizam o modelo estatístico que relaciona o produto da largura da folha pelo seu comprimento para determinar a área foliar de cultivo de flores da espécie Callas (*Zantedeschia aethiopica*) por meio da Eq. (5):

$$AF = 0,58.C.L + 2,37 \quad (5)$$

onde: AF é a área foliar; C é o maior comprimento da folha; L é a maior largura da folha.

Sbrissia e Silva (2008, p. 2013) afirmam que para se obter a área foliar é necessário o uso de planímetros (ou integradores de área). O uso de planímetros para determinar a área foliar de uma planta pode se tornar uma tarefa dispendiosa, além de estar sujeito a um certo grau de imprecisão, conforme afirmam Wilcken et al. (1998, p. 2018).

Moraes et al. (1993) destacam que a medida mais precisa para se obter a é obtida pelo planímetro com fotocópias através da fórmula da Eq. (6):

$$AF = 0,6638 * (C * L) \quad (6)$$

onde: AF é a área foliar; C é o comprimento da nervura central; L é o a largura da folha;

Souza et al. (2012, p. 242) citam que o uso de planímetros em folhas com superfícies irregulares é tarefa difícil ficando a erros e conclusões inexatas, além de tornar a tarefa bastante trabalhosa e demandar muito tempo para sua realização.

Reis e Barros (2000) afirmam que não há diferença tanto no uso do retângulo quanto no uso círculo circunscrito para a obtenção da área foliar do feijão feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) com base na Eq. (7):

$$AF = 1,1286 * C^2 \quad (7)$$

onde: AF é a área foliar; C é o comprimento do folíolo central.

Reis e Barros (2000) fazem uma comparação entre os métodos de coleta a partir do uso de xerox como padrão, discos foliares, elipse e retângulos circunscritos e constatam que os métodos elipse e retângulo circunscrito apresentam resultados idênticos com o padrão.

Godoy et al. (2007, p. 421) faz uso de retângulos circunscritos aos limbos foliares e discos foliares para obter a área foliar da laranja Pêra (*Citrus × sinensis*).

Matos et al. (2005, p. 375) utilizam a multiplicação da largura da folha pelo seu comprimento e, em seguida, pelo fator de correção para obter a área foliar do rabanete (*Raphanus raphanistrum*), como é demonstrado na Eq. (8):

$$AF = C * L * f \quad (8)$$

onde: AF é a área foliar; C é o comprimento da folha; L é a largura da folha; f é o fator de correção.

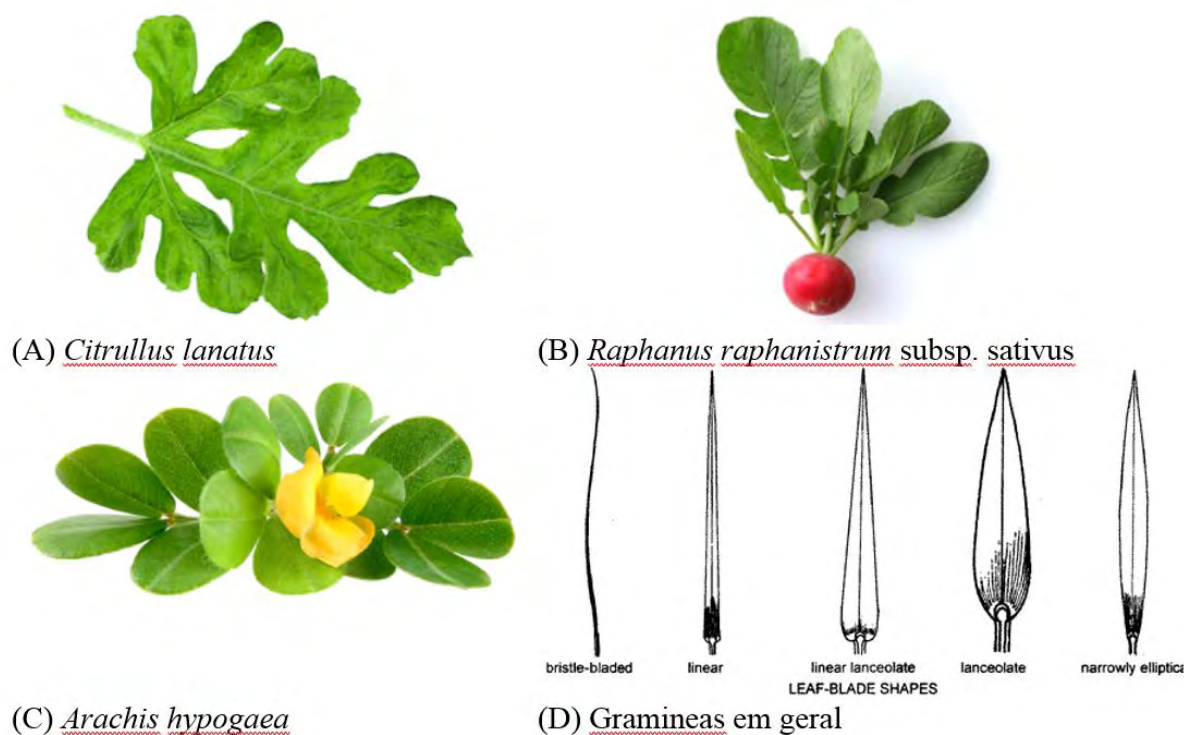
A utilização de integradoras digitais para a obtenção da área foliar é uma solução que proporciona resultados precisos dependendo do tipo cultura e do modo que é utilizado. Godoy et al. (2007, p. 421-422) afirmam que os integradores ópticos são equipamentos muito precisos, contudo demandam um alto custo tanto para sua aquisição quanto para sua manutenção. Outro fator que pesa negativamente para esse tipo de equipamento são suas dimensões. Determinadas culturas possuem folhas extremamente largas o que dificulta seu processo de análise. Além disso, o formato da folha pode contribuir negativamente para o processo de análise da amostra. Folhas com superfície irregular, como é o caso da melancia (*Citrullus lanatus*), podem dar

origem a resultados equivocados, conforme afirmam Souza et al. (2012, p. 242) ao comparar a análise realizada com o integrador de área foliar LI-COR 3100 com o integrador de área foliar AM 300, com método de discos foliares e com imagem digital obtida através de scanner fotográfico de mesa.

As imagens tratadas por integradores possuem excelente precisão. Contudo, é importante salientar que essa precisão depende muito da maneira como o equipamento é manuseado. Se o operador não se atentar ao colocar as amostras no integrador, as mesmas poderão sofrer alterações devida perda de líquidos e comprometer seu formato ao ser colocado na esteira de análise.

Em leguminosas com folhas compostas, particularmente as tetrafoliadas (quatro folíolos distribuídos em dois pares), como no gênero *Arachis*, as medidas de comprimento e largura podem ser demasiadamente demoradas, uma vez que é necessária a medida dos quatro folíolos que fazem parte da folha (FIGURA 1C) ou, pelo menos de um dos folíolos de cada par (superior e inferior). Para gramíneas (FIGURA 1D), Sousa et al. (2015) propuseram a utilização de medidas de comprimento total do limbo foliar, largura da base do limbo foliar e largura do meio do limbo foliar em todas as folhas de uma sub-amostra de aproximadamente 30 g de lâminas foliares. A principal limitação desse método é o tempo dispendido para realização das avaliações. As equações obtidas a partir dessas medidas são espécie-específicas, conforme demonstrado por Marchi et al. (2011) o que, portanto, não permite utilização mais ampla para outras espécies ou cultivares.

Figura 1 - Formato de folhas em distintas espécies vegetais: (A) Melancia; (B) Rabanete; (C) Amendoim e (D) Gramíneas em Geral



Fonte: (A) <http://gg.gg/erwwm>. (B) <http://gg.gg/erwwz>. (C) <http://gg.gg/erwxm>. (D) <http://gg.gg/erwxw>.

Em gramíneas, Sousa et al. (2015, p. 84) utilizam método prático e eficiente para estimar a área foliar de gramíneas forrageiras tropicais, baseando-se em três medidas da folha, sendo: o comprimento total da folha, a largura da base do limbo e a largura do meio do limbo. Marchi et al. (2011, p. 1719) utilizam método não destrutivo de estimativa da área foliar de plantas daninhas de ambiente aquáticos: *tanner-grass* e capim-fino, determinando em cada folha seu comprimento, a largura máxima e as respectivas áreas reais do limbo foliar através da utilização de um medidor portátil de área foliar Hayashi Denkoh Co. modelo AAM-7. Sbrissia e Silva (2008, p. 215) utilizaram um método direto destrutivo e um método indireto não destrutivo com a utilização do analisador de dossel LAI-2000.

Em suma, a aplicação de quaisquer que sejam os métodos para a obtenção da área foliar é uma tarefa trabalhosa e em muitos casos dispendiosos, pois utilizam-se de equipamentos e estruturas laboratoriais caras e complexas estando sujeitos a imprecisões provenientes dos métodos e possíveis erros de cálculos.

2.2. Imagens Digitais

A imagem digital está presente quase que diariamente na vida das pessoas. No entanto, seu surgimento se deu em meados do século passado. A primeira imagem digital que se tem

notícia data do ano de 1957, onde Russell Kirsch da NBS (National National Bureau of Standards), agência governamental dos Estado Unidos destinada a administração tecnológica vinculada ao departamento de comércio americano, juntamente com sua equipe, desenvolveram um scanner com tambor rotativo que foi capaz de escanear a primeira imagem digital com cerca 176 pixels, medindo aproximadamente, 5x5 cm em preto e branco (FIGURA 2).

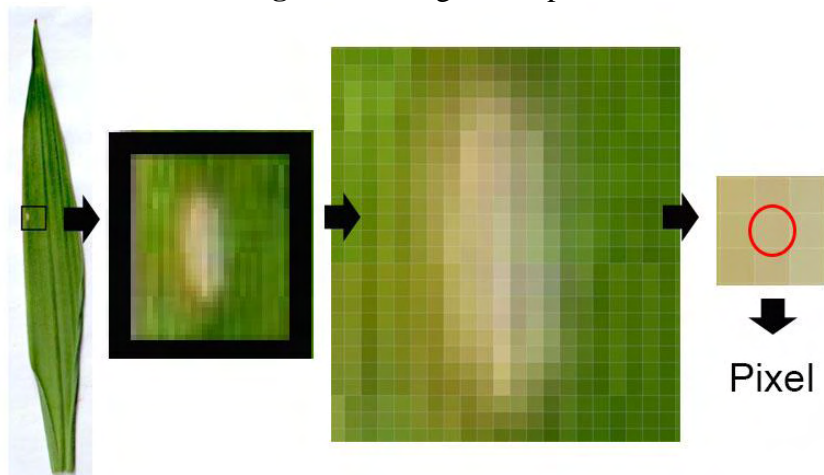
Figura 2 - Primeira imagem digital.



Fonte: Discovery News (1957)

Segundo Filho e Neto (1999, p. 304) e Mattos (2017, p.22), o pixel é uma unidade de medida, também denominada elemento da imagem (*picture element*). O pixel é a menor unidade que compõe a imagem, sendo dispostos através de linhas e colunas. Logo, quanto maior for a quantidade de pixels por polegada (*Dots Per Inch*), maior será a resolução da imagem (FIGURA 3).

Figura 3 - Imagem Ampliada



Fonte: Própria Autoria.

A necessidade de ter imagens de excelente qualidade fez com que softwares de edição e editoração de imagens fossem criados. Um dos primeiros softwares destinados a editar imagens foi o *Paint-Brush* da Microsoft, que criava imagens do tipo BMP, que é a abreviação de *Bitmap* e, cuja tradução é “Mapa de Bits”. Esse tipo de arquivo utiliza um mapa de pixels descrevendo a quantidade de pixels que a imagem possui e, qual é a cor de cada pixel. Para que isso ocorra o arquivo utiliza três valores para cada pixel, sendo: um para a cor vermelha, uma para a cor verde e outra para a cor azul, sem compressão de dados, tornando-os, conseqüentemente, mais pesados em função disso (FILHO; NETO, 1999, p. 304; MATTOS, 2017, p.22).

Atualmente, há diversos tipos de arquivos para imagem. O mais comum e talvez uns dos mais utilizados é o JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) ou comumente conhecido como JPG. Esse tipo de arquivo é um dos padrões mais comuns encontrados na Internet, devido aos bons níveis de qualidade de imagem que oferece, podendo alcançar 16,8 milhões de cores (24 bits). Outra vantagem desse tipo de arquivo é o tamanho. Arquivos JPG possuem algoritmos de compressão de dados, ou seja, quanto maior for o nível de compressão de dados menor será o tamanho do arquivo físico, o que os tornam relativamente pequenos se comparados aos demais tipos de arquivos de imagens disponíveis no mercado atualmente. Outra característica é a eficiência durante os processos de transmissão de arquivos (*download* e *upload*) da Internet, o que o torna ainda mais atraente.

2.3. Processamento Digital de Imagens

O Processamento Digital de Imagens (PDI) consiste na manipulação de imagens por computador, de tal forma que tanto a entrada quanto a saída sejam imagens. Os resultados obtidos através desse processamento fornecem subsídios para que o usuário possa interpretar de forma coerente os resultados, possibilitando a criação de novos processamentos, a partir das informações geradas, tornando as imagens mais adequadas.

Ribeiro et al. (2015) destacam que o processamento digital de imagens evoluiu consideravelmente, conforme cresce o interesse por áreas como a morfologia matemática, redes neurais, processamento de imagens coloridas, compressão de imagens, reconhecimento de imagens em sistemas de análise baseados em sistemas de mineração de dados, fazendo com que os computadores se tornem ferramentas indispensáveis.

No setor agrícola, além da necessidade de diminuição dos impactos ambientais aliados a diminuição de áreas produtivas, faz com que os produtores busquem por técnicas que

contribuam para o aumento significativo da produção, tendo em vista que, países com tecnologias produtivas avançadas e com uma área produtiva inferior consigam produzir muito mais do que países com baixa tecnologia e com área produtiva superior, devido ao seu modelo produtivo obsoleto.

Diante disso, o uso de tecnologias simples, acessíveis, de fácil manuseio e facilmente encontradas no mercado como celulares smartphones e câmeras fotográficas digitais que geram imagens em formato digital, a qual é a matéria-prima essencial para este projeto, tende a colaborar significativamente para o aumento da produção, apresentando-se como uma solução alternativa para redução de custos do segmento.

2.3.1. Etapas do Processamento de Imagens

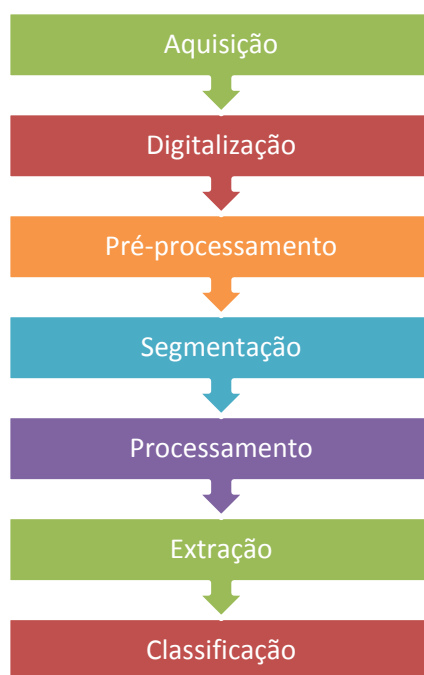
O processamento de imagens é composto por diversas etapas. Para que essas etapas possam ocorrer de forma eficiente é necessário que a Teoria Geral do Sistema (TGS) seja efetuada de forma minuciosa. O TGS foi desenvolvido por Ludwig Von Bertalanffy, um biólogo que necessitava de um sistema que pudesse preencher lacunas na pesquisa científica em 1937. Apesar de estar relacionada diretamente com a biologia, esse conceito é amplamente utilizado em campos como a Administração e, talvez, mais ainda na Computação. A TGS propõe que um sistema é um conjunto de elementos que se interagem a fim de cumprir determinadas etapas para gerar um resultado (FIGURA 4).

Figura 4 - Diagrama de fluxo de dados



Fonte: Própria Autoria.

O processamento de imagens, também utiliza amplamente esse conceito, contudo, o processo é dividido em diversas etapas. Esquef et al. (2003, p. 3) e Silva (2017, p. 16) propuseram que o processamento digital de imagens possua etapas como a aquisição de imagens, digitalização, pré-processamento, segmentação, pós-processamento, extração de atributos e classificação (FIGURA 5).

Figura 5 - Etapas de processamento de imagens.

Fonte: Própria Autoria.

A aquisição de imagens consiste, basicamente na forma com que a imagem em estudo será obtida. Conforme afirmam Queiroz e Gomes (1999, p. 2) e Barbosa et al. (2016, p. 16), a aquisição de imagens se inicia com a captura da imagem, que normalmente corresponde à iluminação que é refletida na superfície dos objetos. Na prática, a aquisição da imagem pode se dar através de um scanner de mesa com resolução significativa que pode variar de 75 a 600 DPIs (*Dots Per inch* ou pontos por polegada), dependendo da marca e modelo. Outra forma de aquisição é uso de câmeras digitais, facilmente encontradas em celulares e *smarthphones*. Filho e Neto (1999, p. 21) afirmam que o processo de aquisição via câmera fotográfica digital consiste no uso de prismas e filtros de cor para decompor a imagem colorida em seus componentes primários R, G e B (*Red, Green e Blue*), cada qual capturado pelo seu respectivo CCD (*Charge Coupled Device*) ou Dispositivo Acoplado de Carga. Segundo Odenwald (2011), os pixels de uma imagem digital utilizam o formato CCD. Nesse formato os pixels podem detectar fótons individuais de luz convertendo-os para elétrons individuais e, posteriormente, totalizados eletronicamente. Desta maneira, esses números são armazenados em uma matriz e, em seguida, a matriz é armazenada em um arquivo comprimido, em formato “JPEG” ou outro.

A digitalização consiste, basicamente na conversão da imagem real de um objeto em sua representação discreta. A representação discreta de uma imagem é denominada amostragem

da imagem que, por sua vez, determinará a quantidade de pixels que a imagem possui, já sua amplitude é denominada quantização, conforme afirma Silva (1996, p. 18).

O pré-processamento de imagens consiste na aplicação de filtros com intuito de melhorar os aspectos peculiares da imagem e, assim, ampliar seu nível de qualidade a fim de reduzir possíveis degradações que sejam encontradas na imagem, conforme afirmam Piekarz (2006, p. 18), Souza e Correia (2007) e Rocha (2018, p. 22).

Um dos possíveis tipos de degradação que ocorrer na imagem é a presença de ruídos. Segundo Piekarz (2006, p. 22) e Rocha (2018, p. 21), os ruídos ocorrem durante o processo de captação, transmissão ou processamento da imagem. São pixels estranhos e descontinuados que são distribuídos aleatoriamente na imagem alterando seu nível de qualidade. Soares (2017, p. 14) afirma que o pré-processamento auxilia no tratamento de imagens no que tange a qualidade e nitidez e, principalmente na redução de ruídos.

A luminosidade é um dos fatores que podem gerar a aparição de ruídos em imagens digitais. Arias e Felinto (2016) afirmam que as condições luminosidade durante o processo de aquisição de uma imagem podem gerar condições desfavoráveis durante processamento, influenciando no surgimento de ruídos nas imagens que podem prejudicar a qualidade das mesmas, dificultando assim seu processamento. Dessa forma, a luminosidade tem influência direta na qualidade da imagem e, conseqüentemente, na aparição de ruídos oriundos desse fator.

Assim, a luminosidade possui influência direta na qualidade da imagem. A maioria das cores visíveis pelo olho humano estão atreladas a combinação de cores monocromáticas relacionadas com o comprimento de onda das cores vermelho, verde e azul (ROCHA, 2010). O olho humano é capaz de distinguir até 130 níveis de saturação, sendo possível discriminar até 380.000 cores diferentes, conforme afirma Lopes (2013, p. 8). Já, para dispositivos eletrônicos esse valor pode ser chegar uma quantidade bem mais expressiva. No sistema de cores RGB (*Red, Green e Blue*) utilizado pelos computadores por exemplo, a quantidade de cores pode chegar até 16.777.216 cores. Esse sistema de cores utiliza a sobreposição de três cores básicas o vermelho, o verde e o azul, onde cada uma das cores possui uma variação de 0 a 255, totalizando 256 cores ao todo ou 2^8 .

Em qualquer que seja o sistema de cores empregado alguns temas sempre serão utilizados. A luminosidade, por exemplo, é intensidade com que a luz é refletida em uma determinada superfície (emissão de luz branca do objeto - WLO). Já o brilho é a quantidade de luz emitida pela superfície em questão e, se refere a emissão de luz de cor (CLO). A *World Wide Web Consortium* (W3C) afirma, que é possível definir o brilho com utilização da Eq. 9:

$$\text{Brilho} = ((R \times 299) + (G \times 587) + (B \times 114)) / 1000 \quad (9)$$

onde: R é porção de vermelho (*Red*) do pixel; G é porção de verde (*Green*) do pixel e; B é porção de azul (*Blue*) do pixel.

No entanto, é preciso ressaltar que, segundo Lopes (2013, p. 2), brilho é um termo inexato, tendo em vista que segundo sua definição, brilho é a quantidade de luz que um determinado objeto emite, como por exemplo o sol ou uma lâmpada e, na língua portuguesa é comum encontrar expressões do tipo “o brilho de um espelho”, sendo que um espelho não emite luz, ele apenas a reflete.

A segmentação de imagens consiste em dividir a imagem em pontos ou regiões, seguindo critérios previamente estabelecidos, de tal forma que uma região não se sobreponha a outra. Soares (2017, p. 16) afirma que o intuito desse tipo de processo é obter similaridades entre as partes para que se possa aplicar ações computacionais com as informações obtidas. Martins *et al.* (2016) destacam que esse tipo de processo pode ser a diferença entre obter resultados precisos ou não, durante o processamento digital de imagens. Essa técnica é utilizada em diversos segmentos, como por exemplo o Sensoriamento Remoto orbital, além de ser utilizadas em outros setores, como em aplicações localizadas para o uso de defensivos agrícolas. Ferreira (2017, p. 33) destaca uso da segmentação em detecções de plantas daninhas. Chipana e Iano (2010) relatam o uso de segmentação na identificação de placas de veículos.

Por ser um procedimento informatizado esse processo segue uma sequência de regras e procedimentos lógicos e, devidamente definidos, que conduzem a solução de um problema. Esse tipo de procedimento é chamado de Algoritmo, podendo ser definido, conforme a aplicação na qual será empregado. Lucas (2013, p. 9) cita a aplicação de algoritmos de segmentação de imagens na área médica, especificamente na análise de imagens feitas por scanners de ressonância magnética nuclear, conhecido no meio com MRI. Há diversos algoritmos disponíveis para o processamento digital de imagens

Valor de Umbral é um termo matemático utilizado para encontrar similaridades entre equações polinomiais. Nesse tipo de algoritmo, o procedimento é detectar os *pixels* que pertencem a um determinado objeto através de seu valor umbral, utilizando para isso um histograma da imagem em questão, considerando apenas a distribuição dos pixels na imagem, é o que afirma Chipana e Iano (2010). Nesse procedimento é utilizadas técnicas estatísticas para se obter os valores de dispersão através de níveis de cinza aplicados à imagem. Assim, ao estipular o valor de umbral T, pode-se diferenciar os *pixels* relativos a cada objeto da imagem,

sendo *pixels* $I(x,y)$ da imagem I . Para que as condições de identificação dos *pixels* sejam satisfeitas é necessário $I(x,y) > T$, sendo esse um objeto da imagem, caso contrário, o item em questão fará parte do fundo da imagem.

Algoritmos de segmentação baseados na detecção de bordas utilizam a aplicação de morfologia matemática para a detecção das bordas. Maturana (2010, p. 37) considera que uma borda nada mais é do que um limite de separação entre duas ou mais regiões. Soares (2017, p. 34) afirma que é necessário que a aplicação de filtros espaciais lineares, baseados nos gradientes de luminosidades e laplaciano. Dessa forma, para sua detecção é necessário a aplicação de filtros por derivada, fazendo uso de máscaras de convolução, também denominados operadores de 2x2 ou 3x3, podendo ser tanto verticais quanto horizontais. Soares (2017, p. 18) e Maturana (2010, p. 37), demonstram alguns exemplos de operadores como: Sobel, Roberts e Prewitt (FIGURA 6).

Figura 6 – Exemplos de operadores.

Operador	Vertical	Horizontal
<i>Roberts</i>	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$
<i>Prewitt</i>	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
<i>Sobel</i>	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$

Fonte: Soares (2017).

A segmentação baseada em região possui como característica básica o uso do conteúdo dos pixels que possuam determinadas características, ou seja, os pixels de uma determinada região necessitam possuir uma certa similaridade, comparando um pixel com seus respectivos vizinhos a fim de agrupá-los, conforme regras pré-estabelecidas (Medaglia,2006; Chipana e Iano, 2010).

A limiarização consiste em digitalizar a imagem transformando o arquivo em dados binários. A partir disso, é feito um agrupamento dos pixels de acordo com os tons em que se deseja realizar o estudo. Assim, com base em um valor limiar pré-estabelecido é feita uma separação dos pixels que possuem valor maior que o limiar e dos pixels que possuem valores abaixo do valor limiar. Segundo Soares (2017), também é possível agrupar em mais de um valor

limiar, onde três ou mais regiões podem receber agrupamentos distintos. Dessa forma, a imagem limiarizada pode ser definida através da Eq. (10) (FABRI, 2015):

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } f(x, y) > T \\ 0 & \text{se } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (10)$$

onde: g é a imagem binarizada; f é a imagem em escala de cinza; x e y correspondem as coordenadas do pixel na imagem f ; T representa o valor do limiar;

O método de Otsu é um algoritmo de limiarização, proposto por Nobuyuki Otsu, cujo o objetivo principal é a partir de uma imagem em tons de cinza determinar o valor ideal para um *threshold*, para que seja possível separar os elementos de fundo da imagem dos elementos de frente e, substituindo-as pelas cores branca ou preto respectivamente, conforme afirmam Oliveira e Galo (2011, p. 5488), idem Eq. (10).

O processamento, segundo Esquef *et al.* (2003, p. 6) e Santos (2017, p. 76) é definido como a etapa que ocorre logo após a segmentação da imagem. Nessa fase ocorre a correção de todas imperfeições detectadas através da aplicação de técnicas de Morfologia Matemática, que segundo Neto (2010, p. 2), consiste no estudo e análise de imagens por meio do uso de operadores não lineares, e da aplicação de filtros que tem como função básica realizar a análise quantitativa dos pixels da imagem em questão.

A extração dos dados é a etapa onde a análise de imagens é aplicada com maior contundência para a obtenção das medidas dos objetos em estudo. Essas medidas são usadas para agrupar os pixels por grupos obedecendo características singulares e, por sua vez, gerando dados e informações quantitativas para que possam ser utilizados em objetivos específicos. Ribeiro (2015, p. 30) ainda acrescenta, que a partir desses objetos é possível obter diversas características como por exemplo histogramas, tamanho, área, perímetro, textura, contornos, cores e etc.

De acordo, com relação à classificação de Augusto (2012, p. 69), os atributos podem ser classificados em dois tipos de medidas: Medidas de campo e Medidas de região.

Segundo Augusto (2012, p. 69) e Mendonça *et al.* (2016, p. 33) as medidas de campo fazem referência ao campo como um todo, totalizando seu número de objetos, e suas respectivas áreas, tendo como resultado final apenas um valor por medida. Já as mediadas por região fazem alusão aos objetos individualmente. Ribeiro (2015, p. 31) relata que os objetos possuem

padrões que podem ser mensurados. Dessa forma, os objetos que possuem o mesmo tipo de características podem ser agrupados na mesma classe.

Por fim, a classificação dentro do processo de aquisição de imagens tem como objetivo realizar o reconhecimento automático dos objetos segmentados da imagem em análise. Segundo Esquef *et al.* (2003) existem duas etapas propriamente ditas: o aprendizado e o reconhecimento. Em sua grande maioria os sistemas de reconhecimento utilizam atributos para construir um espaço de medida utilizando N dimensões. Já os sistemas de aprendizado utilizam funções que separam, de forma eficiente, todas as formas que por ventura existam no espaço de medida.

2.4. Determinação de área foliar a partir de imagens digitais

A utilização de planímetros eletrônicos para a obtenção da área foliar, tais como o LI-3100 (LICOR, Nebraska, USA) é uma solução que proporciona resultados precisos, contudo, demandam um alto custo tanto para sua aquisição quanto para sua manutenção (GODOY *et al.*, 2007). Outros fatores que pesam negativamente para esse tipo de equipamento são suas dimensões, a necessidade de alocação em bancada nivelada e a dependência de fonte de energia elétrica.

Como alternativa a esses equipamentos e métodos, o desenvolvimento de *softwares* baseados no processamento de imagens digitais (PDI) vem crescendo e ganhando cada vez mais aplicações nos variados setores da sociedade. O PDI consiste na utilização de técnicas computacionais para análise e aquisição de informações de imagens digitais. As informações obtidas através do processamento fornecem subsídios para que o usuário possa interpretar de forma coerente os resultados, possibilitando, também, a criação de novos processamentos, a partir das informações geradas.

Softwares de processamento digital de imagens permitem a obtenção de medidas de área foliar em pastagens, ou outras culturas de interesse, de forma fácil e rápida (GUERRERO *et al.*, 2012) e, têm amplamente substituído a utilização de equipamentos e métodos clássicos (EASLON; BLOOM, 2014). Entretanto, alguns dos *softwares* livres atualmente disponíveis possuem limitações durante as etapas de aquisição e processamento das imagens. Segundo Radzali *et al.* (2016), alguns *softwares* não têm sido capazes de estimar com precisão a AF, devido à interferência do ambiente luminoso de onde a imagem é capturada, ou seja, a imagem não pode ser muito clara nem muito escura, uma vez que isso pode levar a erros ou falhas nas medidas.

O *software* ImageJ (National Institutes of Health, public domain) é um dos mais utilizados para obtenção de medidas de AF, e tem demonstrado bons resultados para uma ampla gama de espécies vegetais com diferentes formatos e tamanhos de folha (GUERRERO et al., 2012; EASLON; BLOOM, 2014). Quando utilizado na medida de AF em folhas individuais, o *software* é capaz de prover resultados confiáveis, independentemente do dispositivo utilizado na captura da imagem, tais como smartphones, câmeras web, câmeras digitais semiprofissionais ou scanners (GUERRERO et al., 2012; SANTOS et al., 2014). Todavia, o *software* requer etapas prévias de processamento manual da imagem antes de fornecer os resultados, incluindo ajuste manual de *threshold*, ajuste de escala, conversão da imagem para escala de cinza ou imagem binária, além de remoção manual de ruídos, dependendo da qualidade da imagem capturada, o que requer treinamento e habilidade do usuário (GUIMARÃES, 2016).

Importante ressaltar, que a maior parte dos *softwares* de processamento digital de imagens atualmente disponíveis (Easy Leaf Area e WinFOLIA) não são capazes de processar e estimar com precisão a AF em imagens compostas por múltiplas folhas, condição requerida na avaliação de pastagens, uma vez que a mensuração da AF a partir de folhas individuais torna o processamento lento, dado o volume de amostras coletado durante a amostragem. Além disso, Sbrissia e Da Silva (2008) demonstraram que medidas de IAF obtidas a partir da área foliar de plantas individuais não é capaz de prover resultados acurados, dado os aspectos morfológicos naturalmente heterogêneos de população de plantas, particularmente em gramíneas tropicais. No caso do *software Black Spot*, embora possa processar imagens com múltiplas folhas, o *software* foi desenvolvido para imagens adquiridas exclusivamente por scanners (VARMA; OSURI, 2013).

Desta forma, foi idealizado para este trabalho um *software* de acesso online e gratuito, capaz de estimar com precisão a área foliar a partir de imagens obtidas com diferentes dispositivos (scanners, smartphones, tablets e câmeras digitais). Entre os diferenciais que o destacam, frente a outros *softwares* atualmente disponíveis, estão a capacidade de processamento de imagens contendo múltiplas folhas, a possibilidade de obtenção de medidas de AF a partir de múltiplas imagens de uma mesma amostra (para o caso de amostras grandes), a versatilidade para uso de variados dispositivos de captura de imagens, com mínimo impacto sobre a precisão das estimativas (TECH et al., 2018), a possibilidade de captura de imagens diretamente no campo (desde que seja adaptada uma superfície para a coleta de imagens, por meio de uma mesa de fundo branco opaco e distância padrão do dispositivo de captura), menor dependência de energia elétrica, equipamentos e/ou manutenção, além da facilidade e rapidez na obtenção das medidas. Outro diferencial do *software*, comparativamente ao ImageJ ou

AFSOFT (Jorge, 2010), por exemplo, é que o processamento da imagem (ou imagens) é completamente automatizado, ou seja, não requer intervenção do usuário para ajuste de *threshold* ou de escala, para conversão da imagem em escala de cinza ou imagem binária, ou para remoção de ruídos, requerendo apenas o *upload* da imagem. Além disso, o *software* não requer *download*, uma vez que o processamento é *online*, o que permite maior rapidez na obtenção de imagens em campo, e possibilidade de processamento posterior.

3. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um software de determinação de área foliar com base em processamento digital de imagens, para a obtenção da Área Foliar de forrageiras, aprimorando as formas de aquisição de imagens e, sendo capaz de corrigir ruídos nas imagens de forma automática.

4. Material e Métodos

4.1. Amostragem

O sistema desenvolvido neste experimento é parte integrante do e-Science Científico desenvolvido na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) da Universidade de São Paulo (USP), Campus Fernando Costa – Pirassununga – SP (21°36'N, 47°15' W, 620 m a.s.l.), através do Laboratório de Tecnologia e Sistemas de Informação (LTSI) em conjunto com o Grupo de Estudos em Forragicultura e Pastagens (GEFEP).

Os métodos empregados para a aquisição das imagens consistiram em três dispositivos distintos para a captura, sendo três deles a partir do processamento digital de imagens e o quarto através do emprego do medidor de área foliar padrão LI-COR 3100. Como protocolo de coleta foi estabelecido que cada amostra deveria conter duas folhas por espécie, sendo obtidas 15 amostras com 3 repetições de imagens por amostra, totalizando 45 amostras por espécie e processadas pelo software USPLearn e pelo integrador padrão LI-COR 3100.

A primeira espécie utilizada foi a *Brachiaria Mavuno* (FIGURA 7). Por se tratar de uma espécie híbrida, proveniente do cruzamento entre a *Brachiaria Ruziziensis* e a *Brachiaria Brizantha*, essa espécie possui um mecanismo de defesa que tende a “enrolar” a folha após sua coleta com objetivo de evitar a perda hídrica (BIANCHI et al. 2016). Portanto, é essencial que sua coleta ocorra nas primeiras horas do dia, a fim de evitar altas temperaturas e aumentar a eficiência do processo de coleta. Esta planta possui folhas longas e largas, arqueadas e pilosas nos dois lados da folha o que a torna bastante macia.

Figura 7 - Brachiaria Mavuno.



Fonte: Própria Autoria.

A segunda espécie empregada no experimento foi a *Macrotyloma axillare* E. Mey). Esta forrageira herbácea perene originária da Austrália possui boa adaptação

a climas tropicais e subtropicais, possui um sistema de folhagem composta (FIGURA 8), sendo que, cada folha é composta por três folhas menores denominadas folíolos. O que torna a obtenção da área foliar ainda mais trabalhosa.

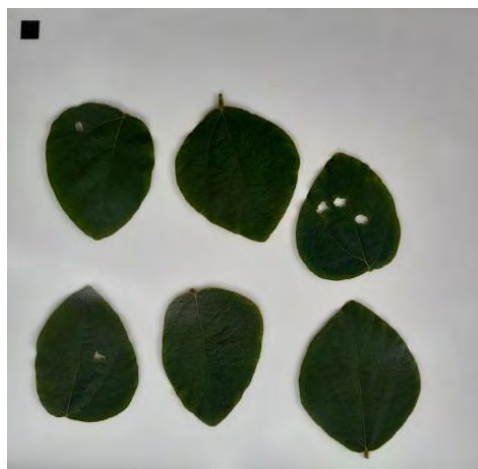
Figura 8 - Folha composta da Macrotiloma.



Fonte: Própria Autoria.

Para a correta obtenção da área foliar desta espécie foi necessário desmembrá-las. Com a separação das folhas foi possível obter resultados precisos na obtenção da área foliar (FIGURA 9).

Figura 9 - Folha de Macrotiloma desmembrada.



Fonte: Própria Autoria.

Outra espécie empregada no experimento foi Rami (*Boehmeria nivea* L. Gaudich) (FIGURA 10). Esta forrageira possui algumas particularidades que a defere das demais espécies analisadas pelo software até o momento. O formato serrilhado de suas folhas torna a obtenção da área foliar uma tarefa extremamente difícil, quando utilizado os métodos tradicionais de obtenção de área foliar.

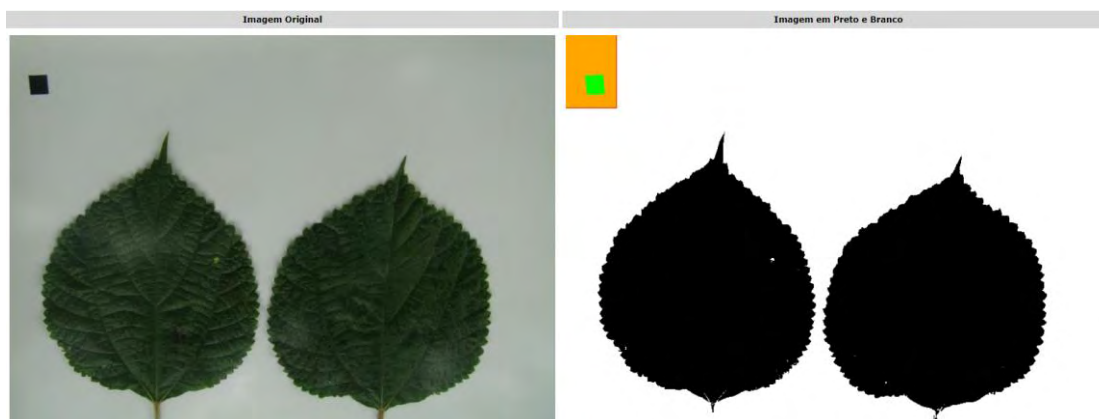
Figura 10 - Forrageira Rami.



Fonte: Própria Autoria.

A planta apresenta um formato de folhas bastante avantajado de suas dimensões. Outra característica da espécie é o formato serrilhado das bordas (FIGURA 11), o distingue ainda mais das demais espécie utilizadas nesse experimento.

Figura 11 - Resultado do processamento da Rami.



Fonte: Própria Autoria.

4.2. Aquisição da imagem

O experimento foi conduzido no dia 06 de dezembro de 2019, tendo como protocolo de coleta a captação de 15 amostras por espécie, sendo utilizado para análise duas folhas por amostra. Os dispositivos empregados no experimento foram: um smartphone marca Samsung

Galaxy, modelo A30 (FIGURA 12A), equipado com câmera dupla com capacidade de 16 megapixels para a câmera principal e uma câmera ultra-wide com ângulo de 123°; um smartphone LeNovo (FIGURA 12B), modelo K5 Vibe, equipado com câmera de 13 megapixels; e, por fim, uma câmera digital Sony Cyber Shot modelo DSC H300 (FIGURA 12C), com resolução de 13 megapixels.

Figura 12 - Dispositivos de captura de imagem: (A) Samsung A10, (B) LeNovo K5 Vibe e (C) Câmera Digital Sony Cyber Shot DSC H300.



(A) Samsung A10



(B) LeNovo K5 Vibe



(C) Câmera Sony Cyber Shot DSC H300

Fonte: (A) <http://www.samsung.com.br>, (B) <http://www.lenovo.com.br> e (C) <http://www.sony.com.br>

As imagens foram adquiridas através da utilização da mesa de captação, sendo utilizado no dispositivo fixo o celular Samsung Galaxy A30, posicionado a 23 cm de altura em relação às amostras, conforme Rico-Garcia et al. (2009). Os demais dispositivos foram operados de forma manual, mantendo, também, os 23 cm de altura padrão para a captação das imagens. Foram realizadas a aquisição de 3 imagens por amostras de cada dispositivo, totalizado 45 imagens por espécie.

Para a aquisição das imagens foi usado, inicialmente, apenas uma folha sulfite medindo 21cm de altura por 29,7 cm de comprimento, a qual se mostrou ineficiente devido a diversos fatores como tamanho, intemperes climáticas e etc. Em seguida, foi utilizado uma prancha de compensado branco medindo 50 cm de comprimento por 50 cm de largura, com uma área útil para a aquisição das imagens correspondente a uma folha de papel A4 (21,0 x 29,7 cm). Sobre a superfície branca da prancha foram colocadas as folhas da amostra e um ponto de referência na cor preta medindo um 1 cm² (um quadrado de 1x1 cm). Este ponto ficou alocado na parte superior esquerda da prancha e, assim, como no processo de captura serviu como referência para posterior processamento da imagem. Apesar de útil essa prancha, ela também se mostrou ineficiente frente a algumas intemperes climáticas. Foi necessário

aperfeiçoá-la, criando novos mecanismos para auxiliar na captação das imagens, dando origem assim, a uma nova mesa de captação de imagens, discutida com mais detalhes no item 4.4 deste trabalho.

O ponto de referência tem papel de suma importância para os cálculos de obtenção da área foliar, pois permite dimensionar a imagem independentemente da altura em que o dispositivo de captura de imagem está posicionado. É importante salientar que a altura ideal para o uso de um dispositivo de captura manual é de 23 cm, conforme Rico-Garcia et al. (2009). Para evitar oscilações ao capturar uma imagem o operador deve manter o dispositivo o mais próximo possível de 90 graus em relação a mesma, tanto manualmente quanto com a utilização da mesa de aquisição de imagens, onde a mesma possui um suporte de apoio para smartphones. Com o integrador LI-COR 3100 (FIGURA 13) o procedimento foi um pouco mais demorado, uma vez que as amostras foram transportadas até o laboratório onde o integrador é mantido.

Para o transporte e manuseio das amostras as mesmas foram devidamente acondicionadas em embalagens de papel, identificadas e armazenadas em um caixa térmica, resfriada com gelo, a fim de evitar a perda de líquidos das folhas.

Figura 13 - Funcionamento do LI-COR 3100.



Fonte: Própria Autoria.

4.3. Implementação do *Software*

No processamento de imagens via software existem diversas variáveis envolvidas tanto na fase de desenvolvimento quanto de implantação. Em alguns seguimentos é importante observar a infraestrutura em que o sistema será implantado dada a necessidade de mobilidade. Logo, a utilização de um datacenter terceirizado pode ser a solução ideal para manter um sistema 24 horas on-line. A fim de evitar possíveis problemas com a tecnologia e facilitar sua utilização, a implementação do software foi criada utilizando a tecnologia de *Cloud Computing* (Computação na Nuvem). Esta tecnologia permite que a informações sejam diretamente processadas e armazenadas na nuvem (Internet) sem que se tenha preocupação com a localização física do equipamento, conforme afirma Taurion (2009, p. 1) e Braga et al. (2012,

p. 1). Isso permite uma maior mobilidade tendo em vista que não é necessário nenhum recurso específico, tão pouco a necessidade de instalação do software em dispositivos físicos para sua utilização. Sua única especificidade é a utilização de um dispositivo conectado à Internet, juntamente com um navegador que atenda as especificidades básicas do órgão regulador da Internet, a *World Wide Web Consortium* (W3C).

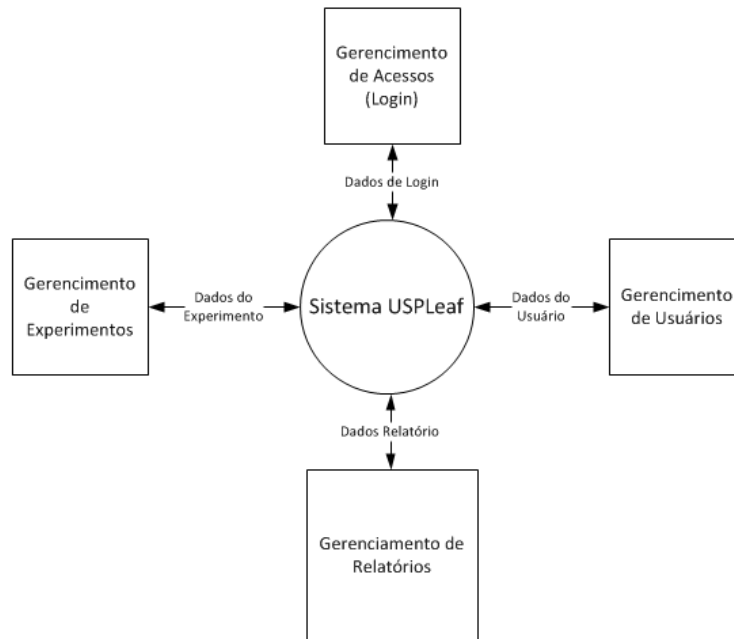
A linguagem de programação utilizada no desenvolvimento do software foi o PHP (*Hypertext Preprocessor*) versão 5.6, cuja a licença de uso e edição é *Open Source*, ou seja, pode ser utilizada livremente sem custos ou restrição, contando que seu código fonte permaneça aberto e disponível para todos, conforme afirma Koefender et al. (2006, p. 153) e Costa (2014, p. 37). A linguagem PHP foi implementada em conjunto com o HTML 5 (*HyperText Markup Language*), que por sua vez, trabalha em conjunto com JavaScript e CSS (*Cascading Style Sheets*), a fim desonerar o servidor nos processos de validação de dados e nas formatações de páginas HTML, respectivamente.

Para o armazenamento das informações foi utilizado o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) MySQL (*Structured Query Language*). Esse sistema, também utiliza licença de uso e edição *Open Source*, o que o torna ainda mais viável do ponto de vista financeiro. Com relação ao desempenho, o MySQL é bastante robusto e confiável, permitindo o acesso rápido às informações nele armazenadas, podendo armazenar tabelas com mais de 50 milhões de registros, conforme afirma Milani (2016).

4.3.1. Diagrama de Fluxo de Dados

O Diagrama de Fluxo de Dados (DFD) é uma ferramenta para a modelagem de sistemas que fornece uma visão clara por meio da representação gráfica do fluxo de dados através de um Sistema de Informação, apresentando uma visão das funções que o sistema deve desempenhar (FIGURA 14). Kintschner (2003, p. 54), descreve o DFD como uma técnica gráfica capaz de descrever o fluxo de uma dada informação e, suas respectivas transformações através do caminho percorrido por ela, desde sua entrada até sua saída final.

Figura 14 - Sistema USPLLeaf - DFD.

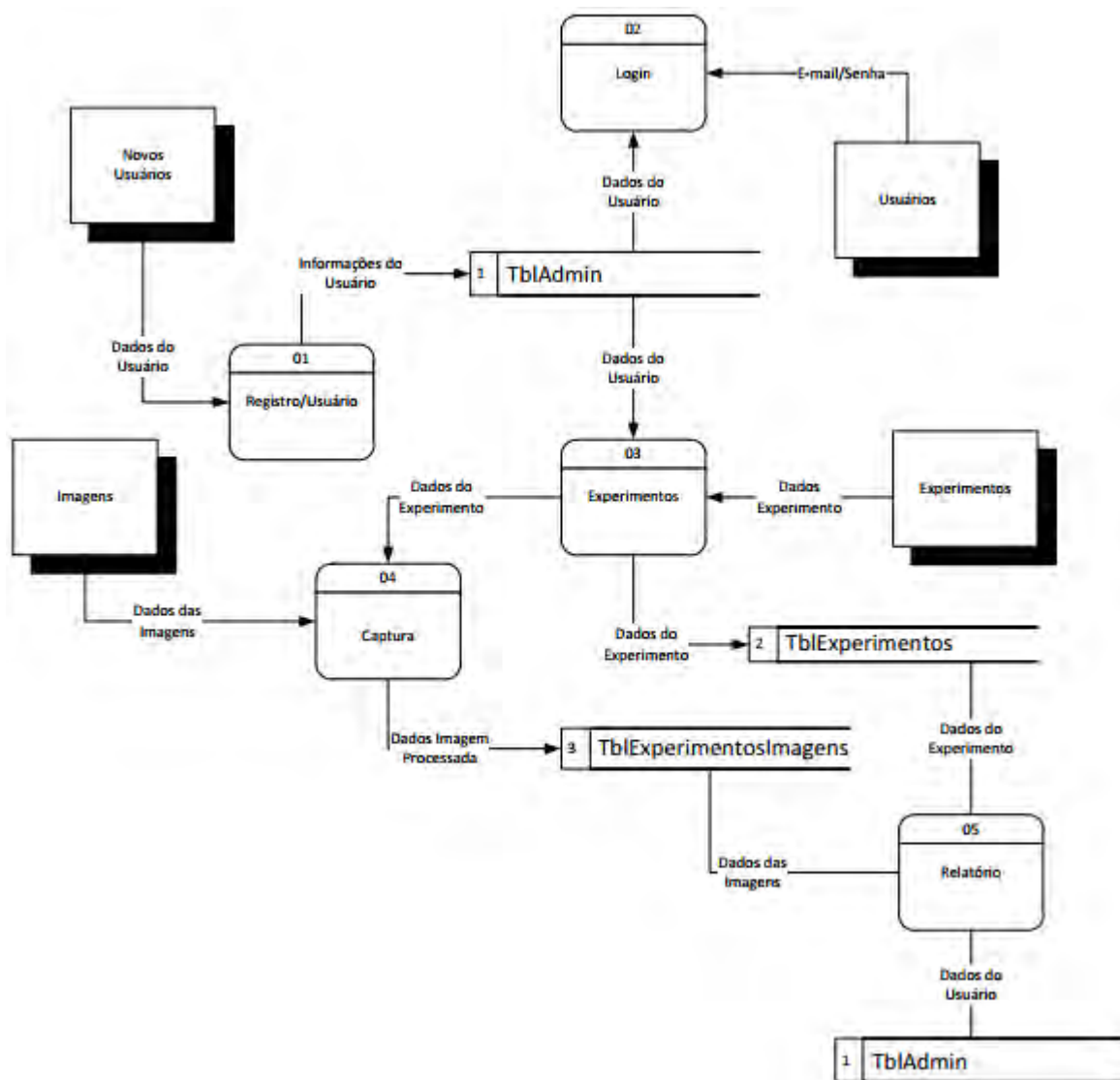


Fonte: Própria Autoria.

4.3.2. Sistema USPLLeaf – DFD nível 1

O sistema de processamento de imagens USPLLeaf tem como foco central fornecer autonomia aos usuários do sistema. Desta forma, todos os dados devem ser fornecidos diretamente pelo usuário ao sistema (FIGURA 15), desde seu cadastro até o processamento das imagens e a emissão dos relatórios finais de análise.

Figura 15 - Sistema USPLeaf - Nível 1



Fonte: Própria Autoria.

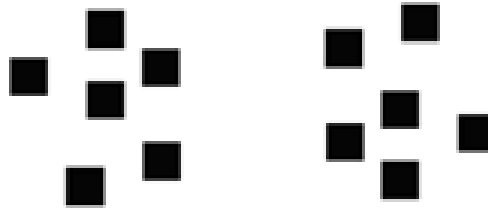
4.3.3. Calibração do Software

Basicamente, não há a necessidade de uma calibração propriamente dita, tendo em vista que seus algoritmos desenvolvidos utilizam um ponto de referência. Este ponto de referência trata-se de uma imagem de 1 cm quadrado, que permite determinar o número de pixels que o quadrado de referência possui, sendo conhecido sua área, permitirá a determinação final da área correspondente as folhas processadas. No entanto, durante processos de captação de imagens foram utilizadas 12 figuras com área conhecida, quadrados com dimensões de 2 x 2 cm, totalizando uma área total de 48 cm², com intuito de validar as informações obtidas

(FIGURA 16). Assim, para determinar a área total das folhas por lâmina de coleta, tem-se a Eq. (11) (Meira et al., 2020):

$$Area_{foliar}(cm^2) = \frac{\sum_{x=20\%+1}^M \sum_{y=20\%+1}^N Pf(x,y)_{folhas}}{\sum_{x=1}^{20\%} \sum_{y=1}^{20\%} Pq(x,y)_{ponto\ de\ refer\ência}} \quad (11)$$

Figura 16 - Imagem utilizada para calibrar o software.



Fonte: Própria Autoria.

4.3.4. Carregamento das imagens no software

O primeiro passo antes de iniciar o procedimento de captação das imagens é criar um experimento dentro do sistema do USPLearn. Neste momento, o usuário deve cadastrar as informações básicas referentes ao experimento informando a data do experimento, o nome, uma descrição sucinta e status como sendo “Ativo” do experimento. Uma vez criado o experimento o usuário precisa fazer o upload das imagens.

As imagens são a matéria prima do software. Através delas são geradas todas as informações pertinentes ao processamento de imagens. O upload das imagens para o sistema é feito através de um formulário simples de busca, onde o usuário indica de onde deseja extrair a imagem. Uma vez iniciado o processo de upload, o sistema carrega a imagem para uma pasta temporária e verifica qual tipo de imagem foi carregada. Se, a imagem carregada não for JPG, o sistema se encarrega de excluí-la e envia uma mensagem informando que a imagem não é do tipo compatível. Caso a validação quanto ao tipo da imagem for positiva, o sistema converte a imagem para um arquivo binário e armazena no banco de dados, juntamente com as demais informações data de aquisição, descrição da imagem e o dispositivo de captação que foi empregado para captura da imagem. Este processo pode se repetir quantas vezes o usuário julgar necessário, não havendo um limite para a quantidade de amostras para cada experimento.

4.3.5. Processamento da Imagem

Após, carregar todas as imagens referentes ao experimento, o usuário deve iniciar o processamento das imagens. Nesta etapa, o software inicia o processamento das imagens convertendo o arquivo binário que está armazenado banco de dados para um arquivo físico dentro do próprio servidor. Com o arquivo físico é possível aplicar os filtros de brilho e contraste com intuito de minimizar ao máximo possível os ruídos da imagem durante a fase de aquisição, que por ventura tenha ocorrido. O segundo filtro aplicado tem como objetivo converter a imagem em tons de cinza, gerando uma matriz com as intensidades de cinza, com variações de 0 (preto) à 255 (branco) na imagem, que posteriormente é convertida, através de programação, para preto e branco através da limiarização pelo método de Otsu (Otsu, 1979) (FIGURA 17).

Figura 17 - Imagem original, com filtros e convertida de branco e preto.



Fonte: Própria Autoria.

O próximo procedimento foi transformar a imagem em uma matriz bidimensional armazenando em cada endereço o valor correspondente a cor do pixel em questão. Com isso, é possível analisar a imagem em um plano matemático. Ao passar para o plano matemático busca-se detectar a posição do ponto de referência, determinando qual é sua última posição válida. Para isso, é analisado uma área de 20% da imagem no canto superior esquerdo, ou seja, se uma imagem possui 800 pixels de largura por 800 pixels de altura a área analisada serão os primeiros 160 pixels de largura por 160 pixels de altura (FIGURA 18), este procedimento objetiva detectar o ponto de referência, um quadrado com área igual a 1 cm^2 , que permitirá determinar a área total das figuras processadas.

Figura 18 - Ponto de referência.



Fonte: Própria Autoria.

Determinada a área a ser analisada, o sistema se encarrega de determinar a posição final onde o ponto de referência termina, determinando seu tamanho em pixels. Vale a pena lembrar que o ponto referência é constituído de um quadrado de um centímetro de largura por um centímetro de comprimento. Para determinar o tamanho e a localização do ponto de referência utiliza-se uma equação matemática que converte as cores do sistema hexadecimal para o formato RGB, que possibilita determinar o fator de luminosidade do pixel, através da Eq. (12), fornecida pela própria W3C (2000), onde:













$$L = (R * 299 + G * 587 + B * 114) / 1000 \quad (12)$$

onde: R representa os tons de vermelho (*red*); G representa os tons de verde (*green*); B representa os tons de azul (*blue*); L é o fator de luminosidade.

Desta forma, todo os pixels que obtiverem um fator de luminosidade superior ou igual a 128 serão considerados como uma cor escura, portanto, sua cor deverá ser modificada para a cor preta (#000000). Já os pixels que obtiverem um fator de luminosidade inferior a 128 serão considerados como uma cor clara, tendo sua cor alterada para a cor branca (#FFFFFF). Com isso, o sistema contabiliza todos os pixels brancos e pretos que a imagem possui, inclusive determinando a quantidade de pixels pretos que o ponto de referência possui e, por sua vez, o seu tamanho.

Ao término do processamento o software exibe um relatório simplificado (FIGURA 19) dos resultados obtidos, alterando o campo status de cada registro para “Processada”.

Figura 19 - Resumo de processamento.

AddImgControleData	Processamento	Identificação	Dispositivo	Área cm ²	Status					
	000603	17/09/2018	17/09/2018	Amostra #1	SmarthPhone	203.8	Processada			
	000604	17/09/2018	17/09/2018	Amostra #2	SmarthPhone	200.4	Processada			
	000605	17/09/2018	17/09/2018	Amostra #3	SmarthPhone	211.7	Processada			

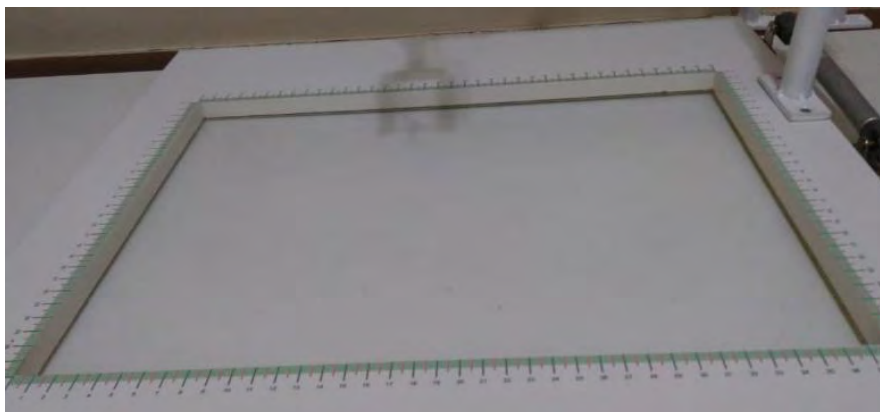
Fonte: Própria Autoria.

4.4. Mesa de captação

Após vários experimentos para a adequação da melhor forma de aquisição da imagem e observados os problemas da aquisição de imagens em campo, como o vento, a incidência de sombras no momento da aquisição, bem como a dificuldade de posicionamento das folhas e a sua distribuição uniforme na mesa de coleta, com o achatamento adequado da mesma para que a área foliar possa ser determinado com maior precisão, garantindo, também, a altura ideal de aquisição a 23 cm, conforme indicado por Rico-Garcia et al. (2009). Assim, para adequar o método de captação e torná-lo mais eficiente, foi necessário desenvolver uma mesa que atendesse as necessidades específicas que o procedimento de captação de imagens necessitava.

Para tanto, foi necessário empregar uma base de madeira compensada branca, com dimensões de 1 m de comprimento por 50 cm de largura. No centro desta base foi fixada uma tampa móvel (FIGURA 20), com 50 cm de comprimento por 50 cm de largura vasada, sendo fixado em seu centro um vidro que permitisse a sua transparência, similar à tampa de um scanner.

Figura 20 - Tampa da mesa de captação de imagens.



Fonte: Própria Autoria.

Esta tampa possui um vidro anti-reflexo, que possibilita uma maior eficiência durante os procedimentos de captação de imagens. Ao abaixar a tampa sobre as amostras, a mesma permanece achatada, impedindo que ocorra o enrolamento da folha devido aos mecanismos de defesa da planta. Além disso, a amostra permanece sempre imóvel, mesmo sob condições ambientais adversas.

A mesa possui ainda um sistema articulado, que permite que qualquer dispositivo de captação de imagens possa ser utilizado sem maiores problemas, sendo possível adequar à altura, o comprimento e a largura da maioria dos dispositivos disponíveis no mercado, bem como corrigir o ângulo de inclinação. O sistema permite que seja possível regular a altura em que o dispositivo de captação será posicionado, sempre obedecendo a uma altura mínima de 23cm (Rico-Garcia et al.,2009), tendo em vista que, o tamanho do dispositivo de captação de imagens pode variar de acordo com modelo, marca e fabricando. Portanto, é fundamental que o sistema articulado da mesa de captação possa se adequar verticalmente, sem que haja um comprometimento da qualidade das imagens captadas.

O posicionamento horizontal do dispositivo de captação de imagens, também influencia na qualidade final da análise de área foliar. Portanto, a flexibilidade do posicionamento do ponto de referência de 1 cm² é essencial. Logo, um sistema articulado flexível na horizontal, que permita o posicionamento horizontal de acordo com as necessidades do usuário traz uma maior autonomia e uma maximização a eficiência da mesa de captação.

Por fim, a mesa de captação deve ser capaz de se conectar aos mais variados dispositivos de captação de imagens. Desta forma, o sistema de conexão com os dispositivos de captação de imagens precisam de eficiência e simplicidade, para que as conexões sejam ágeis e não demandem uma quantidade excessiva de tempo para realizá-las.

4.5. Análise estatística e comparação entre os métodos de processamento

O conjunto de dados foi analisado em delineamento inteiramente casualizado, considerando o software USPLeaf e o método padrão LI-COR 3100 como tratamentos. Os dados de área foliar foram submetidos à análise de variância utilizando o procedimento MIXED para modelos mistos do SAS® (Statistical Analysis System) versão 9.2 para Windows®. As médias dos tratamentos foram estimadas utilizando o comando “LSMEANS” (Least Squares Means) ajustado ao teste de Tukey, e as médias foram declaradas significativamente diferentes em $p < 0,001$. A taxa de erro relativo (RER,%) dos valores estimados das folhas representam a diferença entre as estimativas por um determinado equipamento (USPLeaf ou LI-COR 3100).

Para amostras de grama Mavuno, Macrotyloma e RAMI, o RER foi calculado apenas para o software USPLeaf (KAUR et al., 2014), conforme descrito pela Eq. (13):

$$RER (\%) = 100 * \frac{(LA_{LI-COR\ 3100} - LA_{USPLeaf})}{(LA_{LI-COR\ 3100})} \quad (13)$$

onde: $LA_{USPLeaf}$ é a área foliar estimada pelo software; e $LA_{LI-COR\ 3100}$ é a área foliar determinada pelo método padrão.

As equações de regressão linear simples e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) foram obtidos com o procedimento REG do SAS®. A variável dependente (Y) considerou os valores de área foliar obtidos com o método padrão, e as variáveis independentes (X) foram a área foliar estimada com USPLeaf. Este teste estatístico foi realizado seguindo as hipóteses: $H_0: \beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$ e $H_1: \text{não } H_0$, onde β_0 é o intercepto e β_1 é a inclinação da equação linear. A hipótese nula não foi rejeitada quando os valores preditos e observados eram semelhantes, mostrados pela plotagem dos valores $LA_{USPLeaf}$ no eixo X e os valores $LA_{LI-COR\ 3100}$ no eixo Y.

5. Resultados e Discussão

5.1 Desenvolvimento de equipamento de aquisição de imagens

A aquisição de imagens digitais através do uso de scanners, embora mais baratos do que uso de planímetros eletrônicos ou scanners portáteis, traz certos inconvenientes com relação a aquisição de imagens em campo, dada a necessidade de energia elétrica e de agilidade entre a coleta das amostras e a tomada da imagem. O software aqui proposto, desta forma, foi idealizado para ser capaz de processar imagens adquiridas com outros dispositivos portáteis ou móveis, tais como tablets, smartphones ou câmeras digitais. O uso destes dispositivos minimiza a dependência de energia elétrica e torna mais prática e rápida a etapa de aquisição das imagens.

Assim, nas etapas iniciais de desenvolvimento do sistema de coleta e processamento das imagens, idealizou-se a possibilidade de captura de imagens ainda em campo, a fim de minimizar as perdas de água das folhas decorrentes do transporte das amostras até o laboratório.

Para tanto, uma mesa de captura de imagens foi implementada. A primeira versão da mesa foi construída com uma base de madeira, superfície na cor branco (a superfície possuía brilho), e duas hastes laterais de ferro. Em cada uma das hastes foi alocada uma pinça para bureta do tipo garra, dupla, que servia como suporte para uma prancha em compensado branca. Na prancha de suporte foi feito um orifício no centro, o qual servia para a alocação do smartphone ou da câmera digital (FIGURA 21).

Figura 21 - Mesa de captação de imagens – 1º protótipo.



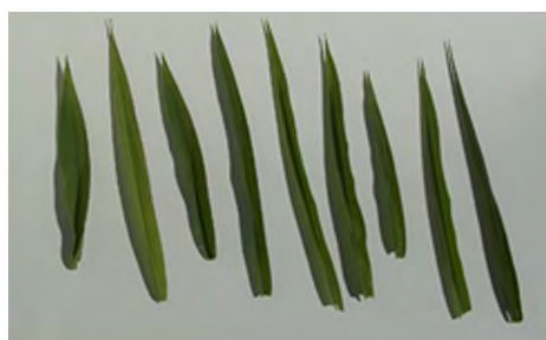
Fonte: Própria Autoria.

No primeiro teste de campo, diversos problemas foram verificados durante a coleta de imagens, o que interferia sobremaneira no tempo de aquisição e na qualidade final das imagens adquiridas. Os primeiros inconvenientes foram relativos ao horário de coleta das imagens e condições climáticas vigentes no momento. Dependendo do horário do dia, particularmente entre as 10 e 16 horas, a inclinação do sol gerava projeção de sombra do usuário, da prancha de suporte e da barra de fixação sobre a área útil da imagem (FIGURA 22A). Com relação às condições climáticas, a alocação das folhas sobre a mesa tornou-se tarefa árdua em dias com vento. As folhas eram movidas antes mesmo que a imagem pudesse ser adquirida, tornando a aquisição extremamente demorada. Adicionalmente, foi muito comum a aquisição de imagens com excesso de projeção de sombra da própria folha (FIGURA 22B), inviabilizando a correta determinação da área foliar.

Figura 22 - Imagens com excesso de ruídos.



(A)



(B)

Fonte: Própria Autoria.

No segundo teste de campo, alguns ajustes foram realizados na mesa de coleta de imagens, entre eles: a alocação de um “quebra vento” em madeira nas laterais e um vidro transparente, que era sobreposto às amostras de folhas (FIGURA 23). Todavia, o brilho resultante da reflexão da luz ambiente a partir do vidro, tanto em amostras coletadas em pleno sol ou em sombra, gerou interferência nas imagens adquiridas.

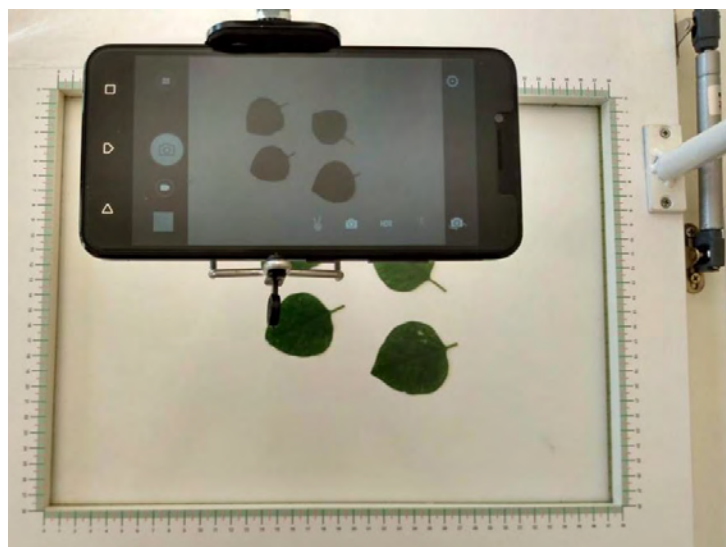
Figura 23 - Mesa de captação com quebra vento



Fonte: Própria Autoria.

Após, vários experimentos para a adequação da melhor forma de aquisição das imagens e observados os problemas em campo, como o vento, a incidência de sombras no momento da aquisição, bem como a dificuldade de posicionamento das folhas e a sua distribuição uniforme na mesa de coleta e, necessidade de achatamento das folhas para que a área foliar pudesse ser determinada com maior precisão, um protótipo final foi desenvolvido. Para tanto, foi necessário empregar uma base de madeira compensada branca opaca, com dimensões de 1 m de comprimento por 50 cm de largura. No centro desta base foi fixada uma tampa móvel (FIGURA 24), com 50 cm de comprimento por 50 cm de largura vasada, sendo fixado em seu centro um vidro anti-reflexo, similar à tampa de um scanner. O posicionamento do ponto de referência de 1 cm^2 foi implementado na lateral esquerda superior da área útil de coleta da imagem.

Figura 24 - Mesa de captação - vista superior.



Fonte: Própria Autoria.

Ao abaixar a tampa, as folhas permanecem achatadas, impedindo que ocorresse o enrolamento da superfície foliar, devido aos mecanismos de defesa da planta contra a perda de água, e minimizando projeções de sombra das próprias folhas. Além disso, a amostra permanece sempre imóvel, mesmo sob condições ambientais adversas. A mesa possui um sistema articulado de fácil montagem, que permite que qualquer dispositivo de captura de imagens possa ser utilizado sem maiores problemas. O sistema articulado possibilita adequar a altura de aquisição da imagem, além de facilitar ajustes em função do tamanho dos dispositivos a serem utilizados na captura da imagem, sendo possível, até mesmo, a correção de ângulos de inclinação do dispositivo. Portanto, é fundamental que o sistema articulado da mesa de captação possa se adequar verticalmente, sem que haja um comprometimento da qualidade das imagens. O protótipo desenvolvido demonstrou adequação às diversas necessidades do usuário, trazendo maior autonomia e eficiência na aquisição das imagens.

5.2 Descrição geral do software implementado

Após a realização do cadastro de usuário no sistema, é requerida a criação de um experimento, que consiste basicamente em uma pasta onde serão armazenadas as imagens. Ao criar essa pasta ‘Experimento’, o usuário deverá cadastrar as informações básicas para identificação daquele conjunto de imagens, tais como a data da coleta de imagens, identificação de tratamentos, sendo possível uma descrição sucinta de outras informações que o usuário julgar necessário, tornando o status como sendo “Ativo” do experimento (FIGURA 25). Uma vez criado o experimento, o usuário irá fazer o upload das imagens.

Figura 25 - Tela de cadastro de Experimento.

Data	12/05/2020	Protocolo: 202005121357330AV0UG
Usuário	Luiz Antônio Meira	
Nome	Mavuno - B1 - P1 1 - AM1	
Descrição	Espécie de Amostrada Coletada: Mavuno Data de plantio: 18/11/2019 Plôco: B1 Piquete: 1.1 Amostragem: 1	
Status	Ativo	

Enviar Dados

Fonte: Própria Autoria (www.uspleaf.mapag.com.br)

As imagens são a matéria prima do software. Através delas são geradas todas as informações pertinentes ao processamento de imagens. O upload das imagens para o sistema é feito através de um formulário simples de busca, onde o usuário indica de onde deseja extrair a imagem. Uma vez iniciado o processo de upload, o sistema carrega a imagem para uma pasta temporária e verifica qual tipo de imagem foi carregada. Se, a imagem carregada não for JPG, o sistema se encarrega de excluí-la e envia uma mensagem informando que a imagem não é do tipo compatível. Caso a validação quanto o tipo da imagem for positiva, o sistema converte a imagem para um arquivo binário e armazena no banco de dados, juntamente com as demais informações, data de aquisição, descrição da imagem e o dispositivo de captação que foi empregado para captura da imagem. Além da identificação do dispositivo usado na captura da imagem, o sistema ainda permite ao usuário informar em qual posição da imagem está localizado o ponto de referência (quadrado preto). Isso é necessário, pois sempre que o ponto de referência não estiver localizado na margem superior esquerda da imagem, o mesmo pode ser informado pelo usuário manualmente, clicando na posição do ponto de referência na imagem. Com isto, o sistema se encarrega de rotacionar a imagem automaticamente sem que seja necessário a interferência do usuário antes ou após o processamento (FIGURA 26). Este processo pode se repetir quantas vezes o usuário julgar necessário, não havendo um limite para a quantidade de amostras para cada experimento.

Figura 26 - Tela de cadastro de novo experimento no software.



Fonte: Própria Autoria (www.uspleaf.mapag.com.br).

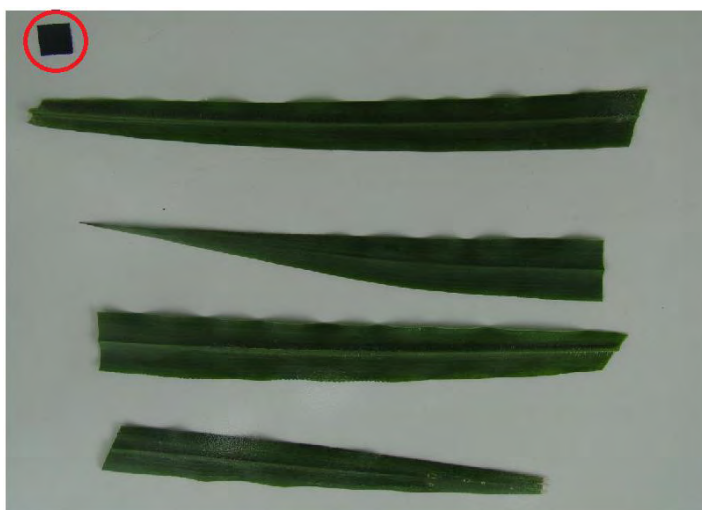
Para cada amostra criada é possível realizar o *upload* de múltiplas imagens. Desta forma, o software é capaz processar e calcular a área foliar de cada imagem processada, tendo

em vista que o processamento da imagem ocorre logo após seu *upload*. Com isso é possível carregar e processar “N” imagens para cada experimento.

Sempre que a imagem é carregada, o sistema inicia o processamento. Nesta etapa, o software inicia o processamento convertendo o arquivo binário que está armazenado no banco de dados para um arquivo físico dentro do próprio servidor. Com o arquivo físico é possível aplicar os filtros de brilho e contraste com intuito de minimizar ao máximo possível os ruídos da imagem durante a fase de aquisição, que por ventura tenha ocorrido. O segundo filtro aplicado tem como objetivo converter a imagem em tons de cinza, gerando uma matriz com as intensidades de cinza, com variações de 0 (preto) à 255 (branco) que, posteriormente, é convertida automaticamente para preto e branco, através da limiarização pelo método de Otsu (Otsu, 1979).

O próximo procedimento é transformar a imagem em uma matriz bidimensional, armazenando em cada endereço o valor correspondente a cor do pixel em questão. Com isso, é possível analisar a imagem em um plano matemático. Ao passar para o plano matemático busca-se detectar a posição do ponto de referência (FIGURA 27), determinando qual é sua última posição válida. Este procedimento objetiva detectar o ponto de referência, um quadrado com área igual a 1 cm^2 , que permitirá determinar a área total das figuras processadas. Determinada a área a ser analisada, o sistema se encarrega de determinar a posição final onde o ponto de referência termina, determinando seu tamanho em pixels.

Figura 27 - Área do ponto de referência a ser analisada.


















Fonte: Própria Autoria.

Para determinar o tamanho e a localização do ponto de referência utiliza-se uma equação matemática que converte as cores do sistema hexadecimal para o formato RGB, que possibilita determinar o fator de luminosidade do pixel, através da Eq. (12), fornecida pela própria W3C (2000).

Desta forma, todo os pixels que obtiverem um fator de luminosidade superior ou igual a 128 serão considerados como uma cor escura, portanto, sua cor deverá ser modificada para a cor preta (#000000). Já os pixels que obtiverem um fator de luminosidade inferior a 128 serão considerados como uma cor clara, tendo sua cor alterada para a cor branca (#FFFFFF). Com isso, o sistema contabiliza todos os pixels brancos e pretos que a imagem possui, inclusive determinando a quantidade de pixels pretos que o ponto de referência possui e, por sua vez, o seu tamanho. Uma vez obtida a quantidade de pixels pretos que a imagem possui, basta dividi-los pela quantidade de pixels que o quadrado de referência possui para obter área utilizada pela imagem (Eq. 11), tendo em vista que o quadrado de referência representa um centímetro quadrado, conforme é demonstrado na Tabela 1.

Ao término do processamento o software exibe um relatório simplificado (FIGURA 28) dos resultados obtidos, alterando o campo status de cada registro para “Processada”.

Figura 28 - Resumo do Processamento das Imagens.

AddImg	ControleData	Processamento	Identificação	Dispositivo	Area cm ²	Status					
	000603	17/09/2018	17/09/2018	Amostra #1	SmarthPhone	203.8	Processada				
	000604	17/09/2018	17/09/2018	Amostra #2	SmarthPhone	200.4	Processada				
	000605	17/09/2018	17/09/2018	Amostra #3	SmarthPhone	211.7	Processada				

Fonte: Própria Autoria.

Por fim, o sistema permite que o usuário gere um relatório com todas imagens detalhadas, sendo possível observar a imagem original que foi carregada, a imagem após a aplicação dos filtros para correção de ruídos e, finalmente, a imagem em preto e branco após o processamento total (FIGURA 29).

Além das imagens utilizadas no processamento, o relatório ainda emite um resumo das informações, como a data de aquisição da imagem, a data de processamento visto que a imagem pode ser captada e processada, posteriormente, sem que haja prejuízos na coleta das informações. O dispositivo de captura de imagem empregado também é informado no relatório. A área foliar em cm² calculada durante o processamento e, seus respectivos status de processamento são fornecidos a cada imagem inserida na amostra.

Figura 29 - Relatório Final de Processamento.

Não seguro | mapag.com.br/softwares/uspleaf/admin/sisexperimentosrel.php?exp_ctr=803

Análise de Imagem(ns)

Experimento:	Rami - Câmera - AM15	Data:	16/01/2020
Usuário(s) Responsável(is):	Luiz Antônio Meira(SU)		
Descrição:			

Resultado da Análise

Controle	Imagem	Data	Processamento	Identificação da Imagem	Dipositivo	Resolução	Área cm ²	Status
03057	#1	16/01/2020	16/01/2020	Amostra #1	Câmera Digital		146.16	Processada

Imagem Original




Imagem em Tons de Cinza





Imagem em Preto e Branco



Controle	Imagem	Data	Processamento	Identificação da Imagem	Dipositivo	Resolução	Área cm ²	Status
03058	#2	16/01/2020	16/01/2020	Amostra #2	Câmera Digital		137.77	Processada

Imagem Original




Imagem em Tons de Cinza





Imagem em Preto e Branco



Resumo:

Controle	Imagem	Data	Processamento	Identificação da Imagem	Dipositivo	Resolução	Área cm ²	Status
03059	#3	16/01/2020	16/01/2020	Amostra #3	Câmera Digital		137.94	Processada

Imagem Original

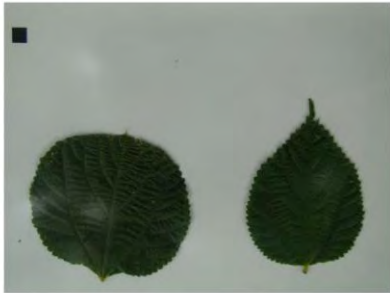


Imagem em Tons de Cinza


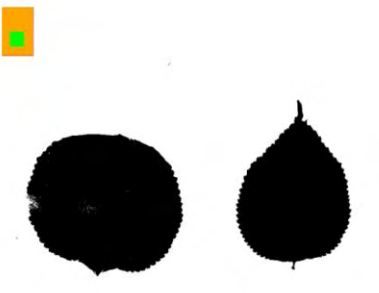


Imagem em Preto e Branco



Resumo:

Resumo Final

Área Total das (3) Imagens: 421.87 cm²

Fonte: Própria Autoria (www.uspleaf.mapag.com.br).

É importante salientar que o sistema rejeita automaticamente imagens que não atendam os parâmetros necessários ao seu processamento, acrescentando na imagem a mensagem “Imagem Descartada” (FIGURA 30).

Figura 30 - Imagem descartada pelo sistema.



Fonte: Própria Autoria (www.uspleaf.mapag.com.br).

Como estratégia de validação do software, dois testes de calibração foram implementados. No primeiro teste, doze quadrados com dimensões conhecidas de 2 cm x 2 cm (4 cm² cada quadrado) foram construídos em cartolina preta. Uma imagem foi adquirida utilizando scanner de mesa, e o resultado expresso pelo software foi 48 cm² (FIGURA 31).

Figura 31 - Imagem utilizada para calibrar o software.

Controle	Imagem	Data	Processamento	Identificação da Imagem	Dipositivo	Resolução	Área cm2	Status
00692	#12	18/10/2018	18/10/2018	Amostra #12	Scanner Multifuncional	300 DPI	48.00	Processada

Imagem Original

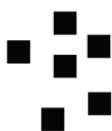


Imagem em Tons de Cinza

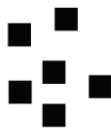
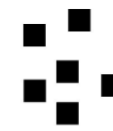
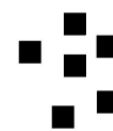
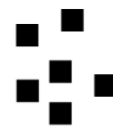


Imagem em Preto e Branco




Fonte: Própria Autoria.

Uma vez obtida a quantidade de pixels pretos que a imagem possui, basta dividi-los pela quantidade de pixels que o quadrado de referência possui para obter área utilizada pela

imagem (Eq. 11), tendo em vista que o quadrado de referência representa um centímetro quadrado.

Tabela 1. Relatório de processamento da imagem.

	Tipo de processamento:	Processamento em Lote
	Data de Processamento:	18/10/2018 11:21
	Pixels Brancos:	416.012
	Pixels Pretos:	35.423
	Pixels Área de Referência:	738
	Área Foliar:	47,9986 cm ²

No segundo teste de calibração, um total de 10 figuras (padrão) foram confeccionadas em papel preto em formato quadrado medindo 9 cm², e de cada figura foram adquiridas três imagens, sendo a altura de 23 cm utilizada para a aquisição das mesmas, utilizando uma câmera traseira de um smartphone Samsung Galaxy A10, com resolução de 13 megapixels. Observou-se que o software USPLleaf forneceu resultados acurados e precisos para a figura padrão (TABELA 2), com área média estimada de 9,00 cm² e desvio padrão de 0,00%.

TABELA 2 - Área estimada da figura padrão (quadrados de papel preto medindo 9 cm²) usando o software USPLleaf ($LA_{USPLleaf}$) a partir de imagens adquiridas com um smartphone.

Standard figures (n=3)	$LA_{USPLleaf}$
1	9.00
2	9.00
3	9.00
4	9.00
5	9.00
6	9.00
7	9.00
8	9.00
9	9.00
10	9.00

Fonte: Meira et al. (2020).

O software USPLleaf traz em seu bojo algumas facilidades que o distinguem do demais softwares disponíveis no mercado atualmente. A facilidade operacional que o software proporciona a seus usuários é uma característica que o torna mais acessível, permitindo que seus usuários não necessitem de capacitações dispendiosas e demoradas. Softwares como o

ImageJ necessitam de conhecimentos técnicos para seu manuseio, incluindo o conhecimento ao uso de filtros para a eliminação de ruídos, comuns na maioria das imagens (MARTIN et al, 2013). Comparado ao ImageJ, o USPLLeaf realiza a aplicação de filtros para correção de ruídos de forma automática, sem que haja a necessidade de intervenção do usuário, tornando assim, o processamento mais ágil e seguro. A grande maioria dos softwares disponíveis no mercado atuam com processamento de baixo a médio nível operacional (GONZALEZ; WOODS, 2008).

A facilidade operacional é característica que depõe favoravelmente para o software USPLLeaf. Como aumento significativo do uso da Internet nos últimos anos, ações como upload de imagens tem se tornado comum na atualidade e ações como publicações de imagens em comunidade virtuais vem se tornando uma atividade usual para a maioria das pessoas. Desta forma, o upload de imagens e seu respectivo processamento tem se tornado uma ação corriqueira, visto que a única ação que usuário necessita saber é como realizar o upload da imagem no sistema.

A ausência da necessidade de instalações complexas ou mesmo o acesso a lojas virtuais (*Play Stores*) para instalações de aplicativos, também favorece a utilização do software. A única exigência do software para sua utilização é a criação de conta virtual atrelada a um e-mail válido (login). Mesmo durante o cadastro da conta, as informações solicitadas pelo software para cadastro de usuário são simples e descomplicadas. Uma vez realizado o cadastro, o usuário necessita apenas de uma confirmação de existência da conta. Essa confirmação é realizada através do envio de uma mensagem eletrônica com link e é enviada automaticamente pelo sistema para o e-mail cadastrado pelo usuário. Desta forma, basta que o usuário clique no link informado pelo sistema no e-mail para que sua conta seja ativada. Uma vez ativada a conta o usuário já pode iniciar o processamento das imagens.

Outra vantagem que o software USPLLeaf proporciona é a não necessidade de processar as imagens imediatamente após sua aquisição. O usuário pode captar as imagens em horário e local que lhe sejam mais convenientes e processá-las horas ou mesmo dias após sua aquisição. Isto é extremamente favorável ao usuário, que pode obter as imagens no campo, mesmo que não possuindo Internet no dispositivo de captura, realizando o upload e, seus respectivos processamentos, quando estiver conectado a uma rede com Internet.

5.3 USPLeaf: Desempenho do software na determinação da área foliar utilizando diferentes dispositivos de captura de imagens

A área foliar média das amostras do capim Mavuno, estimada pelo método padrão LI-COR 3100 (Lai), correspondeu a 99,3 cm², com valores mínimos e máximos de 78,6 e 129 cm², respectivamente. Os valores mínimos e máximos registrados pelo software USPLeaf utilizando como dispositivo de captura o smartphone Samsung A10 (DSam) e a mesa de captação foram de 85,5 e 139,2 cm², respectivamente, com média estimada de 109,9 cm². Quando utilizado o smartphone LeNovo K5 Vibe (DLen), sem fixação do dispositivo na mesa de captura (a altura de captura de 23 cm foi ajustada manualmente), a área média obtida foi de 91,4 cm², com uma área mínima de 73,3 cm² e uma área máxima de 114,3 cm². Utilizando o procedimento de captura de imagens para o dispositivo Sony CyberShot (DCam) foi obtido uma área média das amostras de 88,6 cm², tendo 66,4 cm² como área mínima e 106,2 cm² como área máxima (TABELA 3B).

Tabela 3: Média de área foliar das amostras de folhas de Mavuno, folíolos de Macrotiloma e Rami, provenientes do Software USPLeaf utilizando como dispositivos de captura um smartphone Samsung A30 (DSam), um smartphone LeNovo K5 Vibe (Dlen), uma câmera digital Sony Cyber Shot DSC (C) e do planímetro eletrônico LI COR 3000 (Lai).

Dispositivo de captura (n=45)	Média	Mínimo	Máximo	C.V.	E.P.M.	D.P.	R.E.R.(%)
MAVUNO							
LaiCor	99.3	78.6	129,0	13.2	1.95	13.1	0
DSam	109.9	85.5	139.2	13.1	2.28	14.5	-10.7%
DLen	91.4	73.3	114.3	12.7	1.79	11.6	8.0%
DCam	88.6	66.4	106.2	11.0	1.54	9.8	10,8%
MACROTILOMA							
LaiCor	128.6	88.0	174.9	18.1	3.48	23.3	0
DSam	141.8	98.5	194.9	18.5	4.10	26.2	-10.3%
DLen	114.0	76.7	156.0	16.7	2.91	19.1	11.4%
DCam	109.4	77.5	150.4	16.7	2.86	18.3	14.9%
RAMI							
LaiCor	201.7	128.4	281.0	24.2	7.36	48.8	0
DSam	226.6	142.7	327.9	22.7	7.86	51,5	-12.3%
DLen	190.2	114.7	253.2	23.1	6.5	43.85	5.7%
DCam	171.6	105.8	229.2	21.3	5.64	36.5	14.9%

C.V. é o Coeficiente de Variação; E.P.M. Erro Padrão Médio; D.P. Desvio Padrão; R.E.R.(%) Taxa de Erro Relativo.

Para a espécie Macrotiloma, uma leguminosa cujo a folha é formada por um conjunto de três folíolos, a média estimada a partir do planímetro eletrônico LAI-COR 3100 foi de 128,6 cm², com uma área foliar mínima estimada em 88,0 cm² e uma área foliar máxima de 174,9

cm² (TABELA 3B). Utilizando o método USPLleaf, tendo como dispositivo de captura o smartphone Samsung A30 fixado junto a mesa de captura o mesmo obteve uma área foliar média de 141,8 cm², com uma área foliar mínima de 98,5 cm² e uma área foliar máxima de 194,9 cm² (TABELA 3B). Com a utilização do smartphone LeNovo K5 Vibe manualmente obtivesse uma área foliar média de 114,0 cm², sendo a área foliar mínima de 76,7 cm² e a área máxima de 156,0 cm² (TABELA 3B). Com o dispositivo Sony Cyber Shot a área foliar média foi de 109,4 cm². com uma área mínima estimada em 77,5 cm² e uma área foliar máxima de 150,4 cm², sendo empregado o modo manual na obtenção das imagens (TABELA 3B).

Para a espécie Rami, uma herbácea perene com folhas largas, a média foliar utilizando o método padrão LAI-COR 3100 estimada foi de 201,7 cm², como uma área foliar mínima de 128, cm² e uma área foliar máxima de 281,0 cm² (TABELA 3C). Empregando o smartphone Samsung A30 fixado a mesa de captação, o mesmo obteve uma área foliar média de 226,6 cm², como uma área foliar mínima de 142,7 cm² e a área foliar máxima de 327,9 cm² (TABELA 3C). Ao utilizar o dispositivo de captura smartphone LeNovo K5 Vibe sem o auxílio da mesa de captação foi possível obter uma área foliar média de 190,2 cm², com uma área foliar mínima de 114,7 cm² e a máxima de 253,2 cm² (TABELA 3C). Por fim, ao empregar a câmera digital Sony Cyber Shot, também sem o auxílio da mesa de captação, a área foliar média foi de 171,6 cm², com uma área foliar mínima de 105,8 cm² e uma área foliar máxima de 229,2 cm² (TABELA 3C).

A Tabela 4 apresenta os valores da área foliar estimada (cm²) das amostras de grama Mavuno, de Macrotiloma e de Rami usando o método padrão LaiCor (Li-COR 3100) e o software USPLleaf, com as imagens adquiridas com smartphone DSam (Samsung A30) acoplado a mesa de captação e com os demais dispositivos sem o uso da mesa, assegurando a altura de 23 cm.

Tabela 4 - Área foliar estimada (cm²) em amostras de grama Mavuno, amostras de folíolos de Macrotiloma e amostras da espécie Rami usando o software USPLearn de processamento de imagens, com imagens adquiridas com smartphone DSam (Samsung A30), smartphone DLen (Lenovo K5 Vibe), câmera DCam (Sony Cybershot) e o método padrão LaiCor (LICOR 3100), usando um planímetro eletrônico.

Mavuno											
Repetição	LaiCor	DSam	R.E.R. ¹	DLen	R.E.R. ²	DCam	R.E.R. ³				
(n=3)											
1	87.96	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	105.79	B	120.25	A	-13.7%	92.51	C	12.6%	88.48	D	16.4%
3	122.87	B	138.85	A	-13.0%	113.80	C	7.4%	106.14	D	13.6%
4	101.15	B	111.98	A	-10.7%	95.32	C	5.8%	91.49	D	9.6%
5	87.13	B	99.01	A	-13.6%	78.97	C	9.4%	77.87	C	10.6%
6	95.65	B	107.88	A	-12.8%	89.24	C	6.7%	86.15	D	9.9%
7	126.61	B	137.26	A	-8.4%	112.34	C	11.3%	103.07	D	18.6%
8	84.43	B	91.21	A	-8.0%	73.71	C	12.7%	70.27	D	16.8%
9	95.70	B	105.62	A	-10.4%	90.32	C	5.6%	83.34	D	12.9%
10	95.09	B	104.75	A	-10.2%	93.31	B	1.9%	88.93	C	6.5%
11	93.13	B	102.04	A	-9.6%	84.72	D	9.0%	87.83	C	5.7%
12	79.05	B	85.75	A	-8.5%	73.72	C	6.7%	73.48	C	7.0%
13	99.98	B	109.28	A	-9.3%	89.61	D	10.4%	94.32	C	5.7%
14	102.99	B	115.98	A	-12.6%	97.44	C	5.4%	90.70	D	11.9%
15	111.55	B	127.65	A	-14.4%	94.45	C	15.3%	96.94	C	13.1%
E.P.M.	0.89		0.89			0.89			0.89		
Macrotiloma											
1	116.80	B	131.95	A	-13.0%	102.28	C	12.4%	103.39	C	11.5%
2	99.14	B	108.43	A	-9.4%	94.00	C	5.2%	89.05	D	10.2%
3	113.90	B	127.87	A	-12.3%	101.64	D	10.8%	105.09	C	7.7%
4	140.48	B	158.51	A	-12.8%	128.01	C	8.9%	127.40	C	9.3%
5	88.32	B	98.92	A	-12.0%	77.01	C	12.8%	79.43	C	10.1%
6	154.02	B	172.71	A	-12.1%	131.32	C	14.7%	123.18	D	20.0%
7	134.32	B	149.45	A	-11.3%	115.06	C	14.3%	111.30	D	17.1%
8	119.26	B	133.69	A	-12.1%	101.89	C	14.6%	101.12	C	15.2%
9	108.06	B	120.85	A	-11.8%	107.50	B	0.5%	94.49	C	12.6%
10	174.38	B	194.22	A	-11.4%	155.62	C	10.8%	148.72	D	14.7%
11	160.32	B	179.09	A	-11.7%	137.06	C	14.5%	131.06	D	18.3%
12	121.76	B	134.79	A	-10.7%	117.76	C	3.3%	101.70	D	16.5%
13	152.27	A	-	-	-	124.47	B	18.3%	-	-	-
14	118.90	B	136.85	A	-15.1%	109.68	C	7.8%	98.81	D	16.9%
15	127.13	B	143.14	A	-12.6%	114.08	C	10.3%	114.08	C	10.3%
E.P.M.	1.06		1.06			1.06			1.06	C	

RAMI											
1	145.47	B	163.39	A	-12.3%	125.99	C	13.4%	114.35	D	21.4%
2	242.87	B	265.50	A	-9.3%	218.91	C	9.9%	193.20	D	20.5%
3	258.22	B	286.31	A	-10.9%	227.79	C	11.8%	216.26	D	16.2%
4	224.54	B	251.56	A	-12.0%	189.22	C	15.7%	177.04	D	21.2%
5	129.00	B	143.19	A	-11.0%	115.34	C	10.6%	107.67	D	16.5%
6	280.62	B	325.05	A	-15.8%	249.32	C	11.2%	213.12	D	24.1%
7	237.23	B	265.42	A	-11.9%	230.25	C	2.9%	203.23	D	14.3%
8	255.46	B	284.14	A	-11.2%	250.20	C	2.1%	225.70	D	11.6%
9	182.49	B	207.93	A	-13.9%	181.10	B	0.8%	161.61	C	11.4%
10	227.87	B	253.58	A	-11.3%	226.48	B	0.6%	-	-	-
11	156.45	B	181.95	A	-16.3%	160.48	B	-2.6%	148.20	C	5.3%
12	149.45	B	176.66	A	-18.2%	149.51	B	0.0%	147.82	B	1.1%
13	186.93	B	216.12	A	-15.6%	183.37	B	1.9%	164.24	C	12.1%
14	223.65	B	246.20	A	-10.1%	210.79	C	5.8%	189.63	D	15.2%
15	139.02	B	164.96	A	-18.7%	134.66	B	3.1%	140.62	B	-1.2%
E.P.M.	1.87		1.87			1.87			1.87		

¹R.E.R.=(LaiCor-DSam)/LaiCor*100; ²R.E.R.=(LaiCor-DLen)/LaiCor*100; ³R.E.R.=(LaiCor-DCam)/LaiCor*100; E.P.M representa o Erro Padrão Médio; As letras maiúsculas nas linhas estão comparando as médias de LaiCor e USPLleaf em p <0,01 (Teste de Tukey).

Ao analisar as imagens de amostras de folhas da espécie Mavuno, o valor obtido utilizando o método padrão LAI-COR 3100 variaram de $79,05 \pm 0,89 \text{ cm}^2$ até $126,61 \pm 0,89 \text{ cm}^2$. Para o dispositivo DSam, os valores estimados pelo Software USPLleaf variam de $85,75 \pm 0,89 \text{ cm}^2$ a $138,85 \pm 0,89 \text{ cm}^2$. Os valores de R.E.R. negativos foram registrados em 100% das amostras analisadas utilizando o dispositivo DSam em relação ao método padrão. Isto indica que os valores fornecidos pelo o software USPLleaf foram maiores que os valores fornecidos pelo método padrão LaiCor. No dispositivo LeNovo K5 Vibe os valores estimados através do software USPLleaf variam de $73,71 \pm 0,89 \text{ cm}^2$ a $113,80 \pm 0,89 \text{ cm}^2$. Para este dispositivo os valores de R.E.R. se mostraram 100% positivos, o que indica que os valores fornecidos pelo software USPLleaf são menores que os valores obtidos com o método padrão LaiCor. Por fim, no dispositivo DCam os valores estimados através do software USPLleaf foram de $70,27 \pm 1,09 \text{ cm}^2$ a $106,14 \pm 0,89 \text{ cm}^2$. Também, para este dispositivo, todos valores de R.E.R. se mostraram positivos, indicando que os valores fornecidos pelo software USPLleaf são menores que os valores obtidos através do método padrão (TABELA 4A).

Para a espécie Macrotiloma, os valores obtidos utilizando o método padrão LaiCor variam entre $88,32 \pm 1,06 \text{ cm}^2$ até $174,38 \pm 1,06 \text{ cm}^2$. Para o dispositivo DSam os valores

obtidos foram de $98,92 \pm 1,06 \text{ cm}^2$ até $194,22 \pm 1,06 \text{ cm}^2$. Os valores de R.E.R. negativos foram registrados em 100% das amostras analisadas utilizando o dispositivo DSam em relação ao método padrão. Isto indica que os valores fornecidos pelo o software USPLleaf foram maiores que os valores fornecidos pelo método padrão LaiCor. Para o dispositivo DLen os valores estimados através do software USPLleaf variam de $77,01 \pm 1,06 \text{ cm}^2$ a $155,62 \pm 1,06 \text{ cm}^2$. Para este dispositivo os valores de R.E.R. se mostraram 100% positivos, o que indica que os valores fornecidos pelo software USPLleaf são menores que os valores obtidos com o método padrão. Já no dispositivo DCam os valores estimados através do software USPLleaf foram de $79,43 \pm 1,06 \text{ cm}^2$ a $148,72 \pm 1,06 \text{ cm}^2$. Também, para este dispositivo, todos valores de R.E.R. se mostraram positivos indicando que os valores fornecidos pelo software USPLleaf são menores que os valores obtidos através do método padrão (TABELA 4B).

Na espécie RAMI os valores obtidos por meio do dispositivo padrão LaiCor variam entre $129,00 \pm 1,87 \text{ cm}^2$ até $280,62 \pm 1,87 \text{ cm}^2$. Para o dispositivo DSam os valores obtidos foram de $143,19 \pm 1,87 \text{ cm}^2$ até $325,05 \pm 2,29 \text{ cm}^2$. Os valores de R.E.R. negativos foram registrados em 100% das amostras analisadas utilizando o dispositivo DSam em relação ao método padrão. Isto indica que os valores fornecidos pelo o software USPLleaf foram maiores que os valores fornecidos pelo método padrão LAI. Para o dispositivo DLen os valores estimados através do software USPLleaf variam de $115,34 \pm 1,87 \text{ cm}^2$ a $250,20 \pm 1,87 \text{ cm}^2$. Para este dispositivo os valores de R.E.R. se mostraram 93,3% positivos e 6,7% negativos, o que indica que os valores fornecidos pelo software USPLleaf são menores que os valores obtidos com o método o padrão LaiCor. Por fim, para o dispositivo DCam os valores estimados através do software USPLleaf foram de $107,67 \pm 1,87 \text{ cm}^2$ a $225,7 \pm 1,87 \text{ cm}^2$. Também, para este dispositivo todos valores de R.E.R. se mostraram em 93,3% das amostras positivos e 6,7% negativos, indicando que os valores fornecidos pelo software USPLleaf são menores que os valores obtidos através do método padrão (TABELA 4C).

Uma das formas de mensurar a precisão do software USPLleaf pode ser o R.E.R. Parmar et al. (2015) utilizam os valores de RER para mensurar um aplicativo Java para determinar área de plantas, onde os valores oscilaram entre -4,9 até 2,18. Radzali et al. (2016) utilizaram o RER para obter a área da folha utilizando a segmentação de Otsu pelo método de LAMOS, obtendo dados entre -0,003 até 0,269.

Para este experimento foram observados valores de R.E.R. de -14,4% até -8,0% para a espécie Mavuno, utilizando o dispositivo de DSam. No dispositivo DLen foram observados valores de 1,9% a 15,3% e no dispositivo DCam os valores obtidos foram de 5,7% a 18,3% (TABELA 4A). Na espécie Macrotiloma os valores obtidos utilizando do dispositivo DSam

foram de 9,4% até 15,1%. Com o dispositivo DLen os valores estiveram entre 0,5% até 18,3% e para o dispositivo DCam os valores obtidos foram de 7,7% até 20,0% (TABELA 4B). Por fim, para a espécie RAMI ao utilizar o dispositivo de DSam os valores obtidos se mantiveram entre -18,7% e -9,3%. Para o dispositivo DLen, os valores obtidos foram de -2,6% até 15,7% e para o dispositivo DCam os valores foram de -1,2% até 24,1% (TABELA 4C).

Em todas as mensurações apresentadas pelo dispositivo LaiCor não foram observados nenhum efeito ($P > 0,05$) do tamanho da amostra no R.E.R., uma vez que as variações na taxa relativa de erro para todos as espécies em questão podem ser consideradas baixas.

As variações de R.E.R. podem ser explicadas através da variação entre o tipo de equipamento utilizado na captura de imagens. Os dispositivos podem variar em até 86% de acordo com o modelo, fabricante e tipo, conforme afirma Aoki et al. (2016). Os tipos de lentes utilizados em smartphones mais antigos, também influenciam na qualidade das imagens se comparados aos dispositivos mais modernos, de acordo com a resolução suportada pelo dispositivo, ou seja, quanto maior a resolução do aparelho, melhor será a qualidade da imagem. Neste caso, os dispositivos equipados com câmeras de alta resolução podem levar vantagem frente aos planímetros eletrônicos, pois podem captar áreas úteis das imagens, descartando superfícies com incidências de doenças ou mesmo áreas danificadas das amostras superestimando os resultados da área foliar obtidos através do software USPLearn, conforme afirma Adami et Al. (2006).

As imperfeições das folhas oriundas de picadas de insetos, deficiências nutricionais, hídricas e falhas no processo de aquisição das imagens podem colaborar para as variações do R.E.R. (ABOUKARIMA et al. 2017). Algoritmos de processamento, métodos incluídos em softwares de captura de imagens, formas de aplicação de filtros para tratamento ou remoção de ruídos em imagens, métodos aplicados nos processos de limiarização e segmentação, além de manchas causadas por doenças podem contribuir para a não inclusão das medidas de área da imagem digital, afetando diretamente as taxas do R.E.R. (MEIRA et al. 2020).

É importante salientar que, para todas as espécies onde foi empregado o dispositivo DSam em conjunto com a mesa de captação, os valores observados foram superestimados em relação ao dispositivo padrão. Já para os demais dispositivos (DLen e DCam) os valores observados foram subestimados quando comparados planímetro eletrônico.

Isso ocorre, devido aos dispositivos de captura de imagens como aparelhos celulares possuírem sensores e lentes com qualidade inferior se comparados à câmeras semiprofissionais e profissionais, sendo incapazes de capturar imagens com o mesmo nível de qualidade, mesmo para o smartphones mais modernos com sensores e lentes melhorados e adição de sistemas de

estabilização óptica ainda possui hardware integrado, que quando utilizados para o processamento de imagens com alto padrão de resolução podem gerar calor e, conseqüentemente, causar o aparecimento de ruídos na imagem. A maioria dos celulares ainda dispõem de vários recursos automáticos que podem gerar perda de qualidade resultando em perda de desempenho durante o processamento e análise de imagens, mesmo que estes aparelhos possuam resolução igual ou superior às câmeras digitais. Além disso, câmeras digitais possuem outras variáveis que influenciam no processo de aquisição de imagens, como a irradiância ou densidade de energia do pixel, conforme afirmam Tech et al. (2018).

Outras características como rugosidade, formato, perda de líquidos, áreas afetadas por pragas e insetos, também podem influenciar no comparativo entre o planímetro eletrônico e software USPLeaf. Neste caso, Martim et al. (2013) relatam que, ao realizar a análise da área foliar do feijão utilizando o software ImageJ em comparação ao método padrão LI-COR3100, observaram uma variação nos resultados obtidos durante a análise em função desses aspectos.

Souza et al. (2012), relatam perdas gradativas de 3,98%, 7,96%, 11,94% e 15,93%, aos 30, 60, 90 e 120 minutos de área foliar, mesmo utilizando gelo e água fria para o acondicionamento das amostras na tentativa de manter um ambiente controlado para a obtenção da área foliar das folhas de melancia utilizando discos foliares em comparação ao método padrão LI-COR 3100. Os autores afirmam que, o tempo zero seria o ideal para se obter uma área foliar livre de perdas e não recomendam o planímetro eletrônico LAI-COR para obtenção da área foliar da melancia, dada as dificuldades de manejo, armazenamento e o elevado tempo entre a coleta e o processamento das amostras em um laboratório que contenha o equipamento padrão.

O planímetro eletrônico LAI-COR 3100 processa suas amostras por meio de uma esteira plástica transparente movida por correias, que ao se movimentarem permitem que as amostras sejam submetidas a um feixe de luz fluorescente sobre uma área de captação onde as amostras são digitalizadas. As amostras passam sobre o feixe de luz de 15 W, e a imagem é projetada e refletida por um sistema de três espelhos para uma câmera de varredura (LI-COR®, 1995). Desta forma, as amostras submetidas a incidência de calor, que afeta diretamente seu comportamento. Plantas como a *Macrotiloma* acionam mecanismos de defesa quando submetidas ao calor e a perda de líquido, o que causa um enrolamento natural das folhas, sendo uma das causas de diferenças significativas nos mecanismos de leitura e, conseqüentemente, diferenças nas medidas obtidas.

Os valores obtidos com a análise de regressão linear indicam que o software USPLearn é ferramenta de estimativa de área foliar bastante precisa para amostras com múltiplas folhas, demonstrando um alto coeficiente de correlação.

Para a espécie como a *Macrotiloma* utilizando o dispositivo DSam, o valor para o coeficiente de Pearson se manteve acima de 98%, com um coeficiente de determinação (R^2) acima de 96% utilizando a mesa de captura de imagens (Figura 31A). A Eq. (14) apresenta o modelo de regressão para a variável independente (X) representando os valores de amostras do método padrão e a variável dependente (Y) considera o valor obtido a partir do dispositivo DSam.

$$y = 1,0714x + 5,3176 \quad (14)$$

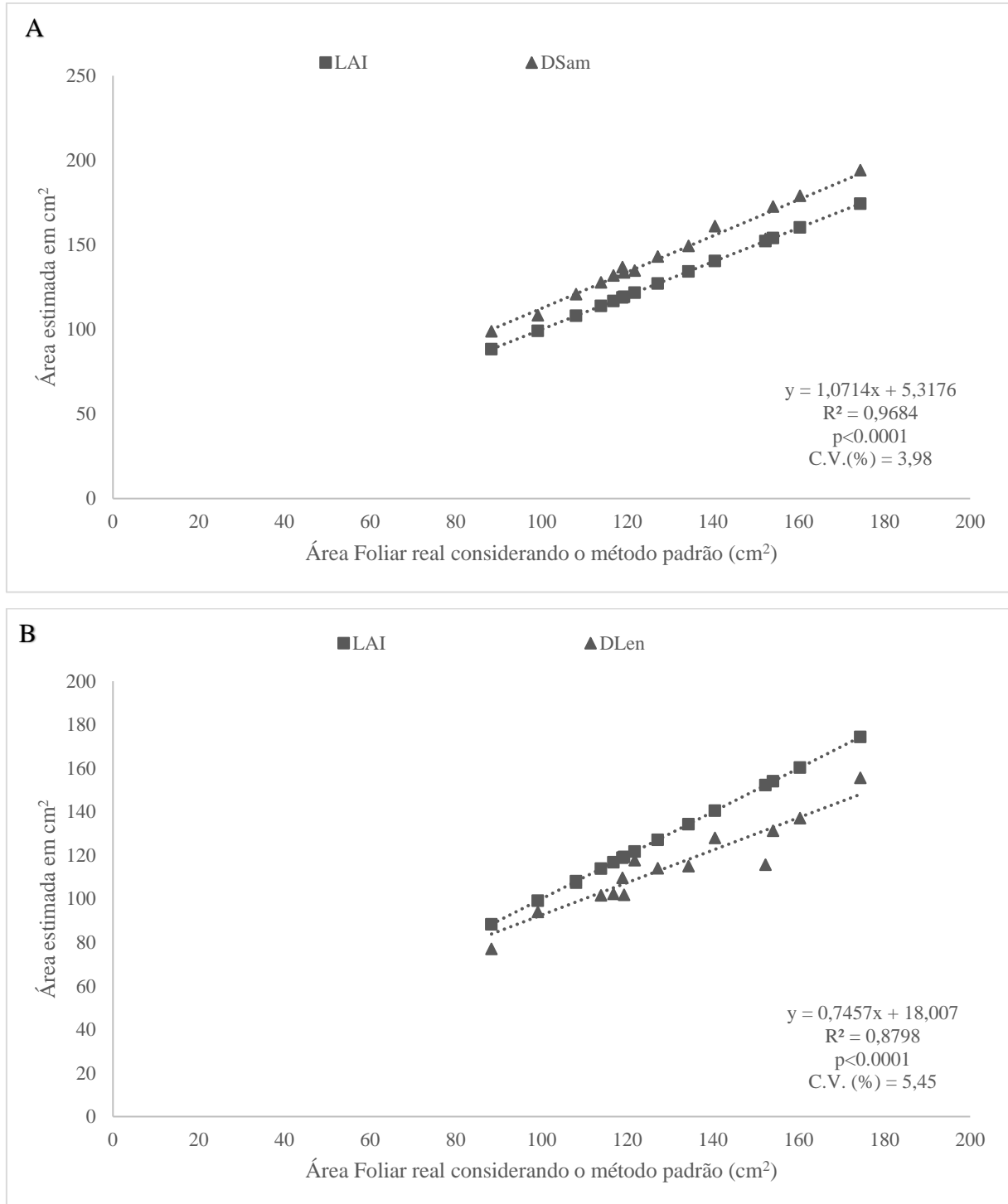
Para o dispositivo DLen o coeficiente de Pearson se manteve acima dos 93,4% apresentando um coeficiente de determinação (R^2) acima de 87%, sendo que, para este dispositivo não foi empregado o uso da mesa de captação (Figura 31B). O modelo de regressão apresenta a variável independente (X) representando o valor obtido a partir do dispositivo padrão e a variável dependente (Y) considera o valor obtido a partir do dispositivo DLen, conforme demonstrado na Eq. (15).

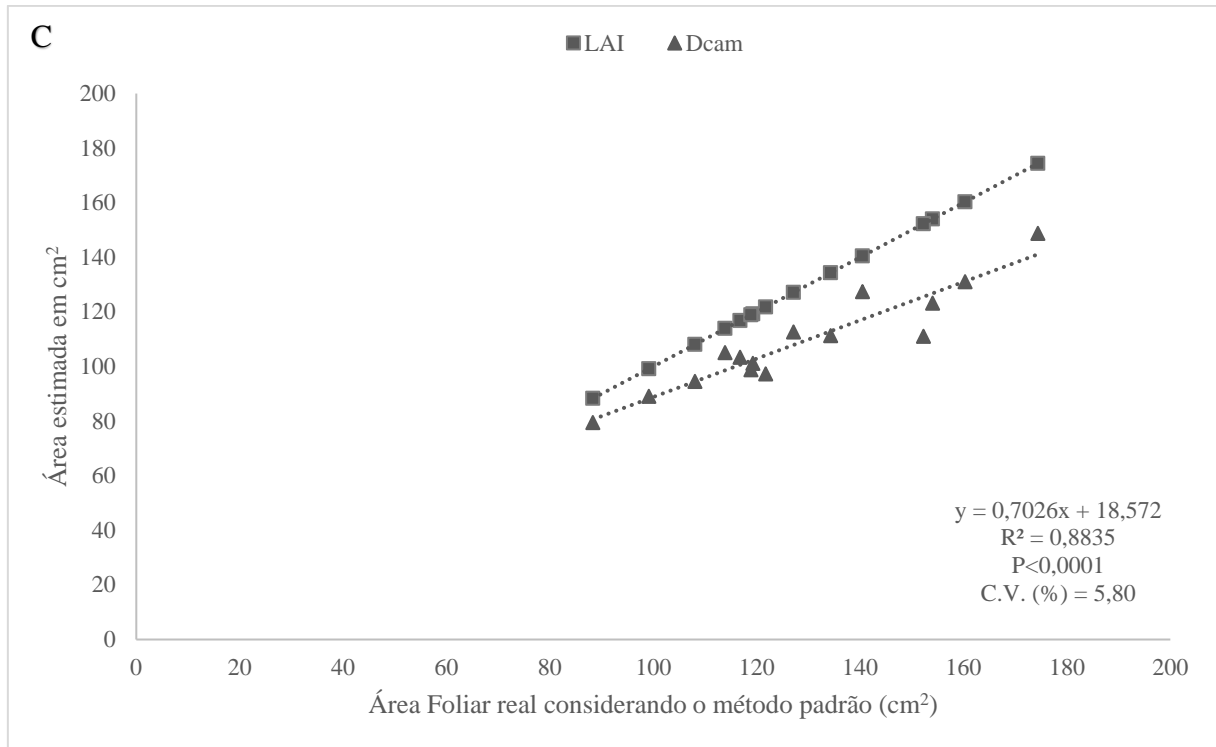
$$y = 0,7457x + 18,007 \quad (15)$$

O dispositivo DCam apresentou um coeficiente de Pearson acima dos 93,7%, com um coeficiente de determinação (R^2) acima de 88%, sendo que, para este dispositivo não foi empregado o uso da mesa de captação (FIGURA 31C). O modelo de regressão apresenta a variável independente (X) representando o a valor obtido a partir do dispositivo padrão e a variável dependente (Y) considera o valor obtido a partir do dispositivo DCam, conforme demonstrado na Eq. (16).

$$y = 0,7026x + 18,572 \quad (16)$$

Figura 32 - Relação entre a área foliar da espécie *Macrotiloma* estimada (em cm²) com imagens capturadas com smartphone Samsung A30 – DSam (A), um smartphone LeNovo K5 Vibe - DLen (B) e uma câmera digital- DCam (C), com a área foliar atual da amostra determinada pelo método padrão (medidor de área foliar LI-COR 3100 - LAI).





Fonte: Própria Autoria.

Para espécie Mavuno utilizando o dispositivo DSAm, o valor para o coeficiente de Pearson se manteve acima de 98%, com um coeficiente de determinação (R^2) acima dos 97%, sendo utilizada a mesa de captura de imagens (FIGURA 32A). A Eq. (17) apresenta o modelo de regressão para a variável independente (X) representando os valores de amostras do método padrão e a variável independente (Y) considera o valor obtido a partir do dispositivo DSAm.

Para o dispositivo DLen o coeficiente de Pearson se manteve acima dos 95% com um coeficiente de determinação (R^2) igual a 90,8%, sendo empregado o método de captura de imagens manual (FIGURA 32B). O modelo de regressão apresenta a variável independente (X) representando o valor obtido a partir do dispositivo padrão e a variável independente (Y) considera o valor obtido a partir do dispositivo DLen, conforme demonstrado na Eq. (18).

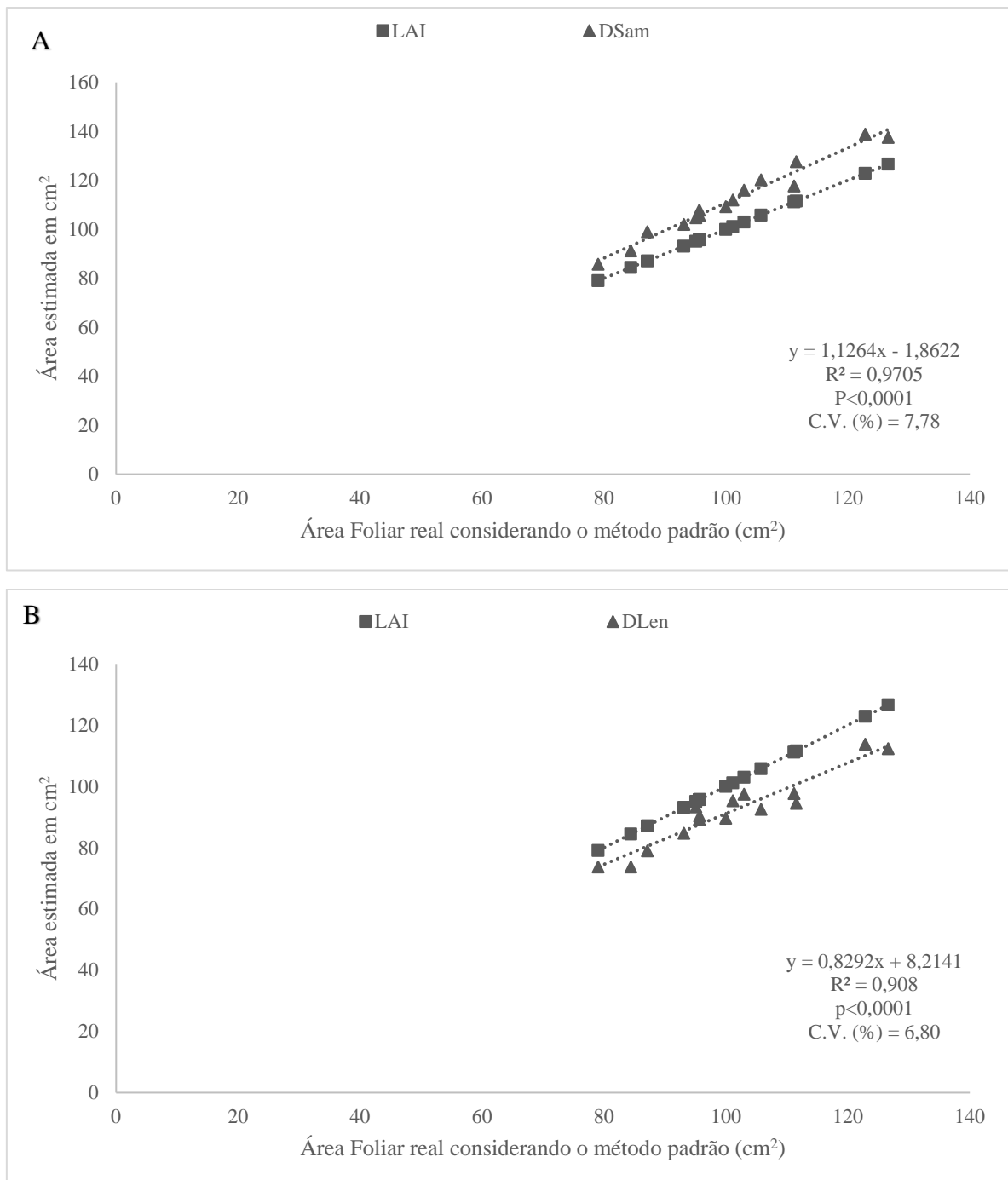
Para a mesma espécie utilizando como dispositivo de captura o DCam e o método manual o coeficiente de Pearson se manteve em 92,9%, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 86% (FIGURA 32C). A Eq. (19) apresenta em sua variável independente (X) os valores obtidos a partir do dispositivo padrão, quanto que a variável independente (Y) apresenta os valores obtidos a partir do dispositivo DCam.

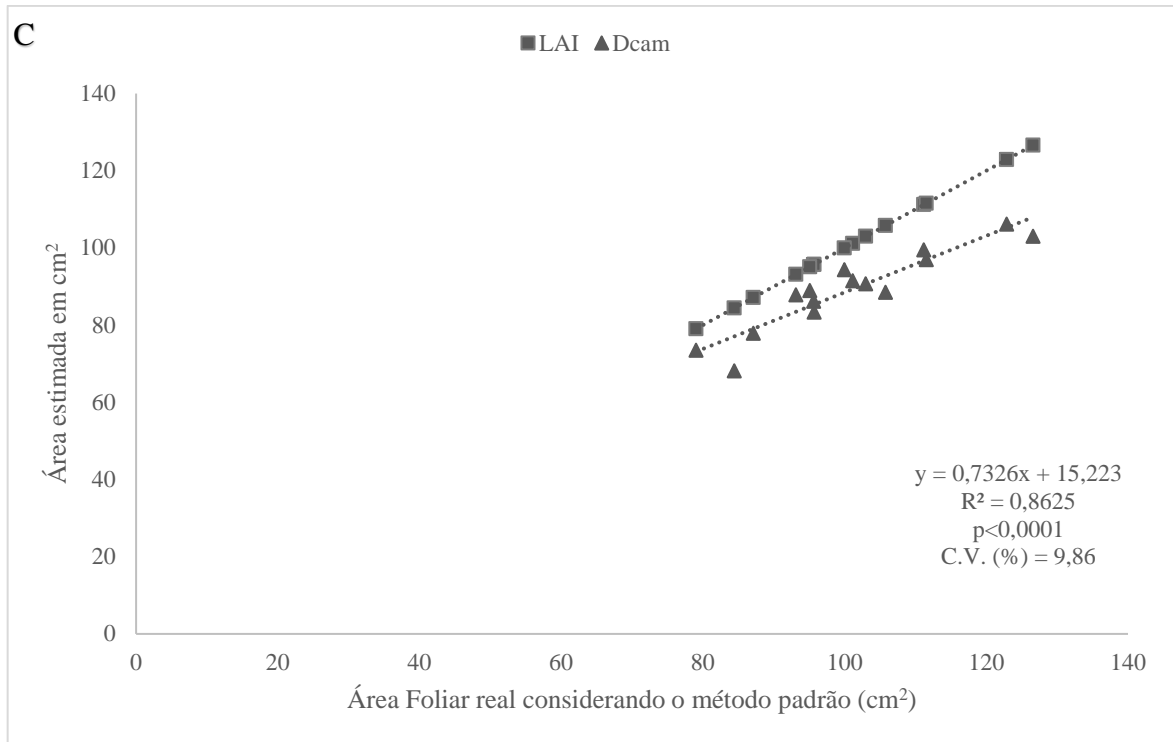
$$y = 1,1264x - 1,8622 \quad (17)$$

$$y = 0,8292x + 8,2141 \quad (18)$$

$$y = 0,7326x + 15,223 \quad (19)$$

Figura 33 - Relação entre a área foliar da espécie Mavuno estimada (em cm²) com imagens capturadas com smartphone Samsung A30 – DSam (A), um smartphone LeNovo K5 Vibe - DLen (B) e uma câmera digital- DCam (C), com a área foliar atual da amostra determinada pelo m





Fonte: Própria Autoria.

Por fim, a espécie Rami utilizando o dispositivo DSam em conjunto com a mesa de captura obteve um coeficiente de Pearson acima dos 98%, com um coeficiente de determinação (R^2) superior a 96% (FIGURA 33A). A Eq. (20) apresenta em sua variável independente (X) os valores obtidos a partir do dispositivo padrão, quanto que a variável independente (Y) apresenta os valores obtidos a partir do dispositivo DSam.

Utilizando o dispositivo DLen, sem o auxílio da mesa de captação o coeficiente de Pearson obtido foi de 95,9% e o coeficiente de determinação (R^2) foi de 92,1% (FIGURA 33B). A Eq. (21) apresenta em sua variável independente (X) os valores obtidos a partir do dispositivo padrão, quanto que a variável independente (Y) apresenta os valores obtidos a partir do dispositivo DLen.

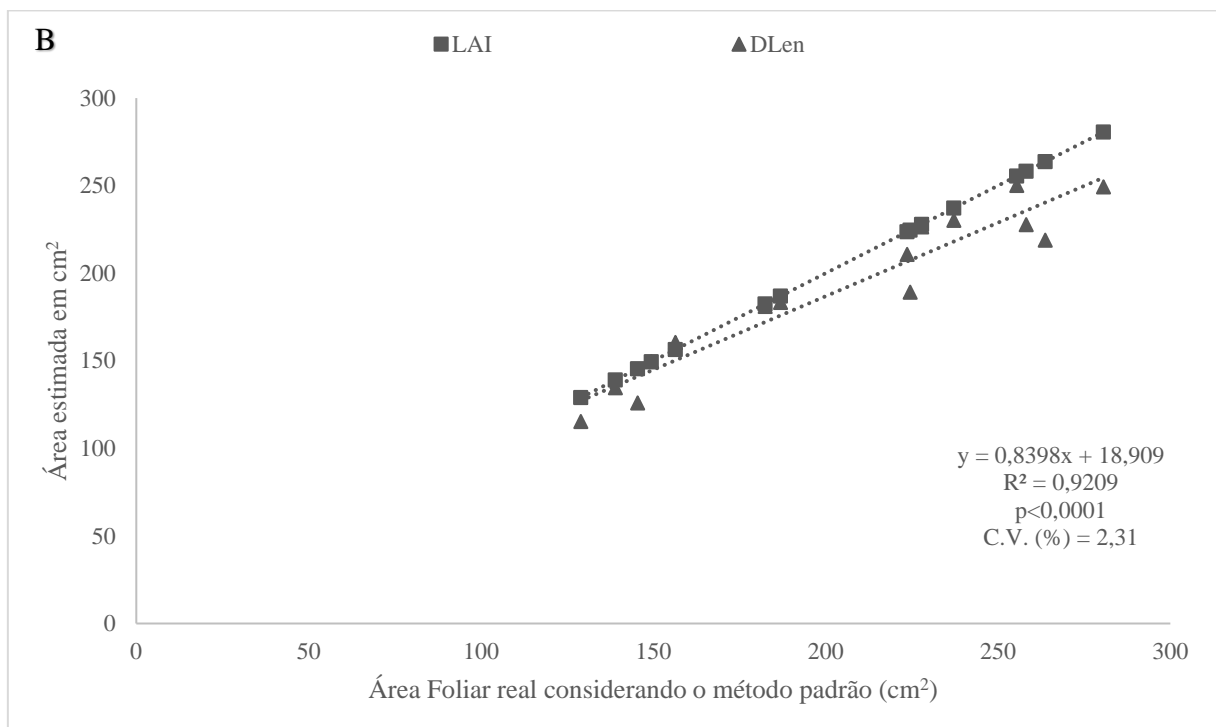
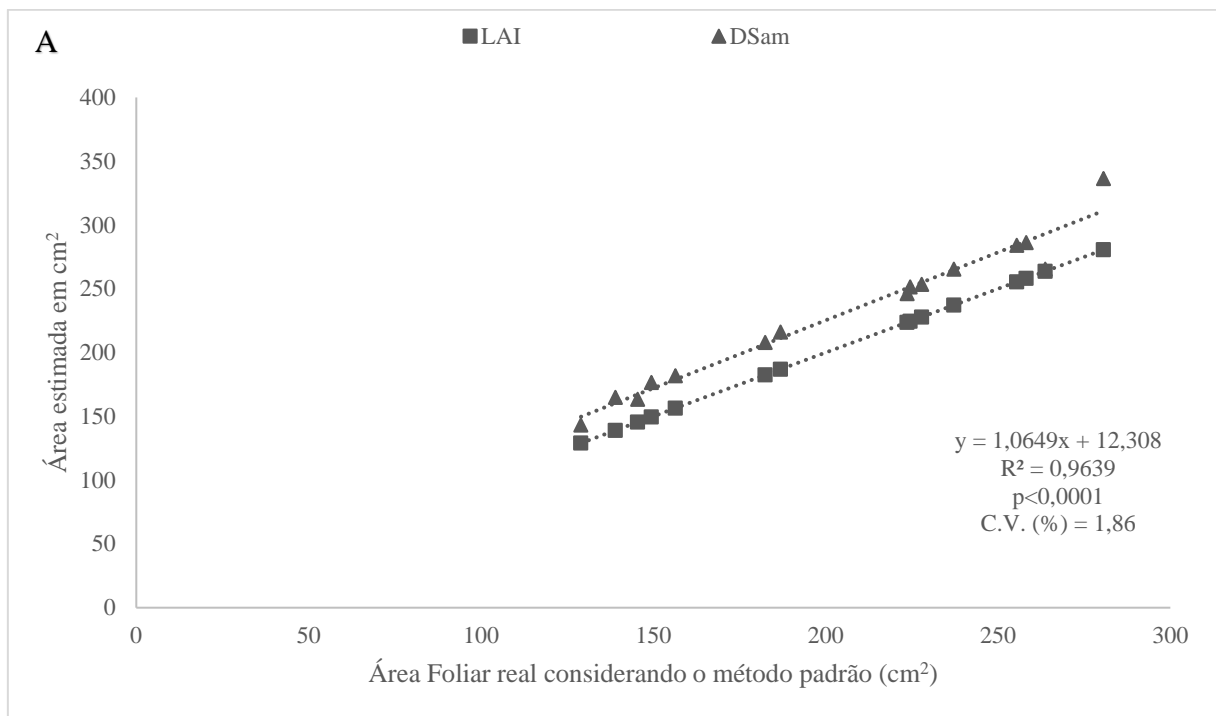
Já com o dispositivo de DCam o coeficiente de Pearson se manteve acima dos 88,3% com um coeficiente de determinação (R^2) acima de 78% (FIGURA 33C). A Eq. (22) apresenta o modelo de regressão com a variável independente (X) representando os valores de amostras do método padrão e a variável independente (Y) considera o valor obtido a partir do dispositivo DCam.

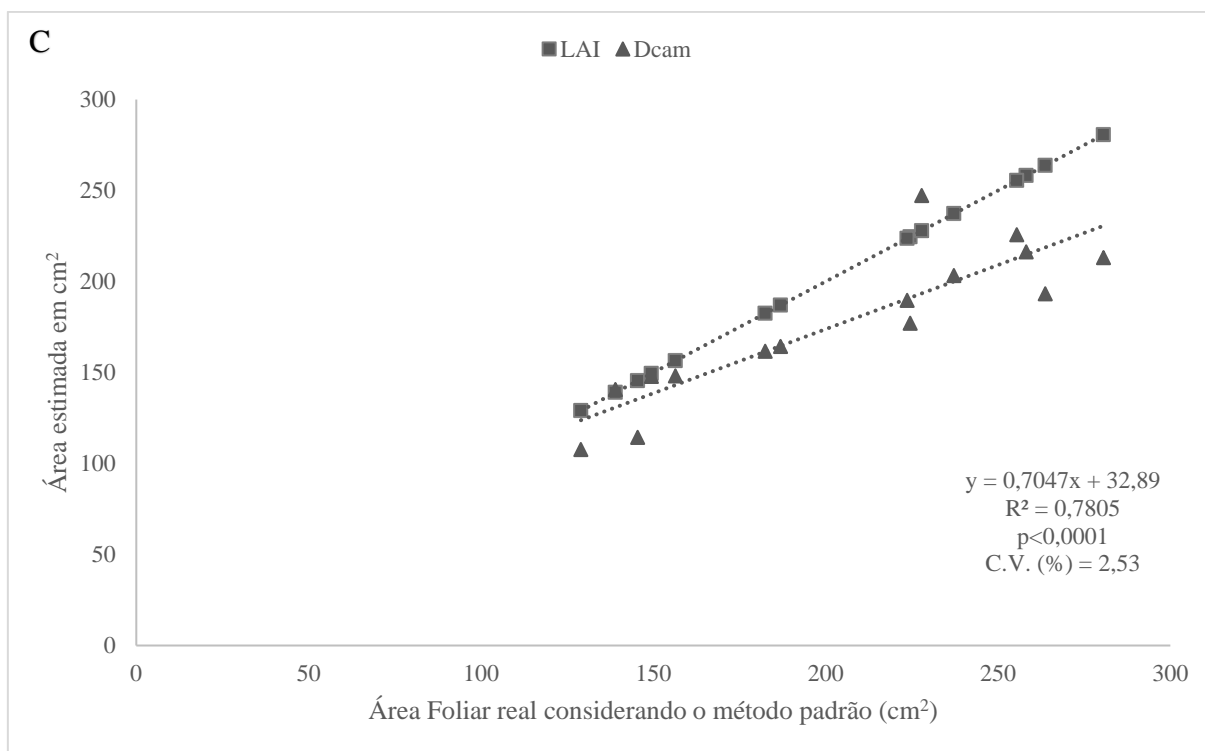
$$y = 1,0649x + 12,308 \quad (20)$$

$$y = 0,8398x + 18,909 \quad (21)$$

$$y = 0,7047x + 32,89 \quad (22)$$

Figura 34 - Relação entre a área foliar da espécie Rami estimada (em cm²) com imagens capturadas com smartphone Samsung A30 – DSam (A), um smartphone LeNovo K5 Vibe - DLen (B) e uma câmera digital- DCam (C), com a área foliar atual da amostra determinada pelo método padrão (medidor de área foliar LI-COR 3100 – LAI).





Fonte: Própria Autoria.

Os valores apresentados pelas equações de regressão linear sugerem a não utilização de amostras com área inferior a 25 cm² para folhas de gramas e 15 cm² para espécies leguminosas. O Software pode ser empregado para diversas espécies, sendo exigido apenas adequações nos métodos de captação de imagens.

6. Conclusão

O software USPLleaf apresentou ótimas respostas para todos os métodos empregados na aquisição das imagens, tendo um melhor aproveitamento, quando utilizado em conjunto com a mesa de captura de imagens e dentro do horário que viabilizem o armazenamento das amostras.

Seus resultados obtiveram uma proximidade linear com a estimativa de valores apresentadas pelo método padrão, se mostrando apto para uso em processos de aquisição de imagens e obtenção da área foliar. Sua efetividade foi comprovada através das análises estatísticas e demonstra um alto grau de eficiência na obtenção da área foliar, principalmente quando utilizado em conjunto com a mesa de captação desenvolvida com o intuito de maximizar a eficiência do software e facilitar o manejo durante o processo de captação de imagens.

Outro ponto que favorece a utilização do software é a facilidade operacional na aquisição das imagens. A logística empregada na obtenção das amostras viabiliza a mão de obra

para o produtor, tendo em vista que não há necessidade de uma acomodação especial para as amostras. A ausência da necessidade de transportar as amostras até um laboratório especializado, também contribui para a utilização software USPLLeaf.

As imagens obtidas não precisam, necessariamente, serem processadas no ato em que são obtidas. Seu processamento pode ser feito a qualquer momento, sendo que, o ideal seria quando o usuário estiver conectado a uma rede com banda larga.

As imagens ainda podem ser obtidas de qualquer tipo de dispositivo de captura de imagens (scanner, smartphone, câmera fotográfica digital e etc), não havendo necessidade de um ou outro equipamento específico. Isso contribui significativamente para sua eficiência, pois atualmente a câmera digital é facilmente encontrada na maioria dos telefones celulares disponíveis no mercado. É importante salientar que não é necessário a utilização de celulares de última geração. Qualquer dispositivo mais antigo, que contenha uma câmera, pode ser empregado em conjunto com o software.

Por fim, a utilização do software USPLLeaf não demanda uma mão obra especializada. Sua utilização requer apenas algumas noções básicas durante a obtenção de imagens (fotografia) com o uso de dispositivos de captura variados. Tais noções são facilmente explicados com a leitura do manual de uso do software, que se encontra na página www.mapag.com.br.

Referências Bibliográficas

- ABOUKARIMA, A. M. et al. Image analysis-based system for estimating cotton leaf area. **Asian Research Journal of Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 1-8, 2017.
- ADAMI, Marcos; HASTENREITER, Fábio Alcovér; FLUMIGNAN, Danilton Luiz; FARIA, Rogério Teixeira De. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, v. 67 n. 4, p.1053-1058, 2006.
- ARIAS, Rafael Lucien Bahr; FELINTO, Alan Salvany. **Processamento digital de vídeos para atenuação de ruído e ajuste de brilho e contraste**. 2016. Departamento de Computação – Universidade Estadual de Londrina (UEL). Londrina/PR.
- AOKI, Lisia; PEREIRA, Ivana Cardoso; MATAYOSHI, Suzana. Estudo comparativo entre imagens de câmera fotográfica convencional e smartphone para o telediagnóstico de tumores palpebrais. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**. vol.46, n.1, p. 1-7, 2016.
- ARAÚJO, Wellington Farias; BOTREL, Tarlei Ariel. Influência do CO₂ via água de irrigação e da cobertura plástica no solo na Abobrinha. Fortaleza/CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 216-221, 2010.
- AUGUSTO, Karen Soares. **Identificação Automática do Grau de Maturação de Pelotas de Minério de Ferro**, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ.
- BARBOSA, Julierme Z.; CONSALTER, Rangel; PAULETTI, Volnei e MOTTA, Antonio C. V.. Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas. **Rev. de Ciências Agrárias [online]**. vol.39, n.1, p.15-24, 2016
- BARCELLOS, Alexandre de Oliveira; RAMOS, Allan Kardec Braga; VILELA, Lourival; JUNIOR, Geraldo Bueno Martha. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 37, Suplemento Especial. p. 51-67, 2008.
- BIANCHI, Leandro; GERMINO, Gabriel Henrique; SILVA, Marcelo De Almeida. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico. **Revista Acta Iguazu**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel-PR. v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.
- BIANCO, S.; PITELLI, R.A.; PITELLI, A.M.C.M.. **Estimativa da área foliar de Typha latifolia usando dimensões lineares do limbo foliar**. Planta daninha [online]. vol.21, n.2, p. 257-261, 2003.
- BRADSHAW, J.D., Rice, M.E., Hill, J.H., 2007. Digital analysis of leaf surface area: effects of shape, resolution, and size. **J. Kansas Entomol. Soc.**, v. 80, n. 4, p. 339-347, 2007.
- BRAGA, Andrei S.; SILVA, Geraldo M.; BARROS, Marcos C. **Cloud Computing**. Instituto de Computação - Universidade Estadual de Campinas. 2012, Campinas/SP.
- CHIPANA, F. E. A.; IANO, Y. Segmentação de Imagens: abordagens para reconhecimento de placas de veículos. **In: VII Simpósio de Instrumentação e Imagens Médicas**, 2010, Campinas. Proceedings... Campinas: Unicamp, p. 5-10, 2010.

COSTA, Kátia Aparecida de Pinho; OLIVEIRA, Itamar Pereira de; FAQUIN, Valdemar. Adubação nitrogenada para pastagens do gênero *Brachiaria* em solos do cerrado. 1 ed. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa**, 2006.

COSTA, Vitor de Barros. **ANÁLISE DE REDES SOCIAIS APLICADA A PROJETOS DE SOFTWARE OPEN SOURCE - UM MAPEAMENTO SISTEMÁTICO**. Dissertação (Mestrado) Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco. Recife/PE. 2014.

Easlon, H. M., Bloom, A. J. Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. **Applications in Plant Sciences**. v.2, n. 7, p. 1-4, 2014.

ESQUEF, Israel Andrade; ALBUQUERQUE, Márcio Portes de; ALBUQUERQUE, Marcelo Portes de. **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro/RJ, 2003. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.

FABRI, Thays Aparecida. **Monografia: Segmentação, análise e classificação de imagens de lesões de pele usando dimensão fractal**. 76f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa/PR. 2015.

FAVARIN, J.L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA, A.G.Y.; NOVA, N. A. V.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para a Estimativa do Índice de Área Foliar do Cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p.769-773, 2002.

FERREIRA, Alessandro Dos Santos. Redes Neurais Convolucionais Profundas na Detecção de Plantas Daninhas em Lavoura de Soja. 2017. 80f. Dissertação (Mestrado) - **UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL FACULDADE DE COMPUTAÇÃO - FACOM**. Campo Grande/MS. 2017.

FILHO, Ogê Marques; NETO, Hugo Vieira. **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

FRANCIS, C. A.; RUTGER, J. N.; PALMER, A. F. E. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L). **Crop Science**. v. 9, p. 537-539, 1969.

GODOY, Leandro José Grava De; YANAGIWARA, Rodrigo Seigi; BÔAS, Roberto Lyra Villas; BACKES, Clarice; LIMA, Claudinei Paulo De. Análise da Imagem Digital Para Estimativa da área foliar em Plantas de Laranja Pêra. **Rev. Bras. Fruticultura**, v. 29, n. 3. p. 420-424, 2007.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing**. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008.

GUERRERO, N. R., QUINTERO, M. A. O., NARANJO, J.C.P., 2012. Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**. v. 65, n. 1, p. 6399-6405, 2012.

GUIMARÃES, Eglon Rhuan Salazar. **Quanto, um Software para Auxiliar a Caracterização de Imagens**. 2016. Tese (Doutorado) Universidade Estadual do Norte Fluminense - Uenf. Campos os Goytacazes - RJ. Novembro - 2016

HEIFFIG, Lília Sichmann; CÂMARA, Gil Miguel De Sousa; MARQUES, Luciana Aparecida; PEDROSO, Daniel Botelho; PIEDADE, Sônia Maria De Stéfano. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.

JORGE, L. A. de C.; SILVA, D.J.C.B. . **AFSOFT: Manual de utilização**, o. S., o Carlos: **Embrapa Instrumentação**, v. 1, 20p., 2009.

KAUR, G., Din, S., Brar, A.S., Singh, D., 2014. Scanner image analysis to estimate leaf area. **International Journal of Computer Applications**. v. 107, n. 3, p. 5-10, 2014.

KINTSCHNER, Fernando Ernesto. **Método de Modelagem de Processos para Apoio ao Desenvolvimento de Software**. 2003. 178p. Tese (Doutorado) UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA. Campinas/SP. 2003.

KOEFENDER, Júlia; NAKAHARA, Kimie Cadorini; SAVI, Rafael; DANTAS, Wagner Saback. A Experiência do Projeto Classificação de Software Livre Educativo. **BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTERS IN EDUCATION (SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO - SBIE)**. 2006.

LACA, E.A., LEMAIRE, G. Measuring sward structure. In: T'Mannetje, L., Jones, R.M. (eds) **Field and laboratory methods for grassland and animal production research**. Wallingford: CAB International. p.103-122, 2000.

LI-COR®. LI-3100 area meter: service manual. Lincoln: Licor, inc., 1995.

LOPES, J. M. B. **Cor e Luz**. Texto elaborado para a disciplina de Computação Gráfica. Licenciatura em Engenharia Informática de Computadores. Instituto Superior Técnico – IST, Lisboa, Portugal, 47 p. 2013.

LUCAS, Carlos Fuleto. Técnicas de Segmentação e Classificação de Imagens em Exames de Ressonância Magnética Nuclear. **Revista da Graduação**. v. 7, n. 2, p. 1-59, 2013.

MALAGI, Gustavo; CITADIN, Idemir; SCARIOT, Sílvia; REIS, Letícia. MÉTODO NÃO DESTRUTIVO PARA DETERMINAÇÃO DA ÁREA FOLIAR DA VIDEIRA, CULTIVAR BRS-VIOLETA. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 32, n. 4, p. 1250-1254, 2010.

MARCHI, Sidnei Roberto De; MARTINS, Dagoberto; COSTA, Neumárcio Vilanova Da. Método não destrutivo de estimativa da área foliar de plantas daninhas de ambiente aquático: tanner-grass e capim-fino. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1717-1724, 2011.

MARCON, Marlon. **Modelo Matemático para Estimativa da Área Foliar de um Cafeeiro por de Análise de Imagens**. Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG, 93p., 2009.

MARTIN, Thomas Newton; MARCHESE, José Abramo; Fernandes de Sousa, Ana Karenina; Curti, Gilberto Luiz; FOGOLARI, Hoilson; SANTOS, Vinicius da Cunha dos. Uso do software ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. **Asociación Interciencia**. Caracas, Venezuela, v. 38, n. 12, p. 843-848, 2013.

MARTINS, Rodrigo Nogueira; NETO, Abdon Francisco Aureliano; ZANELLA, Marco Antonio; CAPELINI, Vinicius Agnolette; SOUZA, Marco Aurélio Rodrigues de. **Segmentação Automática de Imagens Naturais Utilizando Diferentes índices de Vegetação**. XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VII Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba. 2016.

MATOS, Rigoberto Moreira de; SILVA, Patrícia Ferreira da; LIMA, Sabrina Cordeiro de; SANTOS, Célia Silva dos. Características Foliare e Índice de Colheita do Rabanete Irrigado com Água Residuária em Ambiente. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 11, n. 21. p. 372-386, 2015.

MATTOS, Amanda Do Prado. **Determinação da Severidade de Doenças de Plantas por Meio de Imagens Digitais**. Curitiba/PR. 2017.

MATURANA, Patrícia Salles. **Algoritmos de Detecção de Bordas implementados em FPGA**. Ilha Solteira/SP. 2010.

MEDAGLIA, Diego R. **Segmentação de Imagens Médicas Baseada no Uso das Bibliotecas ITK e VTK**. Porto Alegre/RS. 2006.

MEIRA, Luiz Antônio; PEREIRA, Lilian Elgalise Techio; SANTOS, Manoel Eduardo Rozalino; TECH, Adriano Rogério Bruno. USPLaf: Automatic leaf area determination using a computer vision system. **Revista Ciência Agronômica**. Revista Ciência Agronômica. v. 51, n. 4. p. 1-10. 2020.

MENDONÇA, Márcio; FIONOCCHIO, Marco Antônio Ferreira; GUSMÃO, Rogério Vieira; CHRUN, Ivan Rossato. REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS APLICADAS EM EXTRAÇÃO DE IMAGENS PARA CLASSIFICAÇÃO AUTÔMOMA DE CORDÕES DE SOLDA. **Revista Científica On-line Tecnologia, gestão e Humanismo**. v. 6, n. 2. p 31-46. 2016. Guaratinguetá/SP.

MILANI, André. **Construindo aplicações com PHP e MySQL**. Ed. São Paulo: Novatec Editora, 2016. 336 p.

MONTEIRO, José Eduardo B. A.; SENTELHAS, Paulo C.; CHIAVEGATO, Ederaldo J.; GUISELINI, Cristiane; SANTIAGO, Alailson V.; PRELA, Angélica. Estimacão da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia** [online]. vol.64, n.1. p.15-24, 2005.

MORAES, E. C.; BIANCO, S.; ARAÚJO, J. A. C., SILVA, R. C. Estimativa da área das folhas do urucunzeiro (*Bixa orellana* L.). Belém: FCAP. **Portal de Periódicos Científicos da UEL**, 1993. Iop. (FCAP Informe Técnico, 17).

MUÇOUÇAH, Mariana Fraga Soares; KLAR, Antonio Evaldo; MUÇOUÇAH, Fernando Juabre. **Área Foliar e Evapotranspiracão de Callas Cultivadas em Substrato em Função do Nível Freático**. Botucatu/SP, v. 11, n. 1, p. 119-129, 2006.

NABINGER, C. Aspectos ecofisiológicos do manejo de pastagens e utilizacão de modelos como ferramenta de diagnóstico e indicacão de necessidades de pesquisa. In: REUNIÃO DO GRUPO TÉCNICO REGIONAL DO CONE SUL (ZONA CAMPOS) EM MELHORAMENTOS E UTILIZACÃO DE RECURSOS FORRAGEIROS DAS ÁREAS TROPICAL E SUBTROPICAL, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. p.17-62, 1996.

NETO, Raul Ambrósio Valente. **Introdução à Morfologia Matemática Binária e em Tons de Cinza**. Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Matemática. 2010.

ODENWALD, S. Remote Sensing Math: A Brief Mathematical Guide. **National Aeronautics and Space Administration**. 2011.

OLIVEIRA, Henrique Cândido De; GALO, Mauricio. **Aplicação do método de Otsu na separação de planos de telhados a partir de dados LIDAR. Anais: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p. 5486.

OTSU, Nobuyuki. A threshold selection method from gray-level histograms. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, IEEE, v. 9, n. 1, p. 62–66, 1979.

PARMAR D. K., GHODASARA Y. R., Patel K. P., PATEL K. V., KATHIRIYA D.R. Estimation of Plant Leaf Area using Java Image Processing Techniques. **International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication**. v.3, n. 2, p. 848-851, 2015.

PIEKARZ, Andreas Houer. **Determinação do Volume de Vázios em Isoladofres Poliméricos por Tomografia Digital de Raios x**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba/PR. 2006.

QUEIROZ, José Eustáquio Rangel de; GOMES, Herman Martins. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

RADZALI, Muhammad Haqqiman; KAMAL, Nor Ashikin Mohamad; DIAH, Norizan Mat. Measuring Leaf Area using Otsu Segmentation Method (LAMOS). **Indian Journal of Science and Technology**. Vol. 9, n. 48. Department of Computer Science, University Teknology MARA, Shah Alam, Selangor, Malaysia. 2016.

REIS, Teresinha E. S.; REIS, Luiz Carlos; BARROS, Omar Neto Fernandes. Comparação de Métodos de Determinação de Área: Superfície Foliar do Fejoeiro. Londrina/PR. **Geografia**, v. 9, n. 2, p. 151-157, 2000.

RIBEIRO, S. S. **Métodos computacionais aplicados a agricultura: Phytom & Weka**. Rio de Janeiro: NovaTerra, 122p. 2016.

RIBEIRO, Sergio Silva. **Extração de Características de Imagens Aplicada à Detecção de Grãos Ardidos de Milho**. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA - SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA. 2015.

RIBEIRO, Sergio Silva; PEREIRA, Rayne De Souza; FALATE, Rosane. **Uso de Processamento Digital de Imagens e Mineração de Dados Para Extração de Características de Grãos de Milho**. X Congresso Brasileiro de Agronômica. Ponta Grossa/PR. 2015.

RICO-GARCIA, E. Two new methods for the estimation of leaf area using digital photography. **Int. J. Agric. Biol.** v. 11, n. 4. p. 397-400, 2009.

ROCHA, Carlos Diego Franco da. **Monografia: Aplicação do Algoritmo Haar Cascade em um Sistema Embarcado para Detecção de Ovos do Mosquito Aedes Aegypti em Palhetas de Ovitampas**. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE – IFRN. Pau dos Ferros – RN. 2018.

ROCHA, J. C. Cor Luz, Cor Pigmento e os Sistemas RGB e CMY. **Revista Belas Artes**, São Paulo, 2010.

SANTOS, M. E. R. Adubação de pastagens: possibilidades e utilização. Enciclopédia Biosfera, **Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.6, n. 11, p. 1-15, 2010.

SANTOS, Micael Moreira; MACHADO, Igor Elói Silva; CARVALHO, Edmar Vinicius, VIOLA, Marcelo Ribeiro, GIONGO, Marcos. ESTIMATIVA DE PARÂMETROS FLORESTAIS EM ÁREA DE CERRADO A PARTIR DE IMAGENS DO SENSOR OLI LANDSAT. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 75-83. Curitiba/PR. 2017.

SANTOS, S.N., DIGAN, R.C., AGUIAR, M.A.G., SOUZA, C.A.S., PINTO, D.G., MARINATO, C.S., ARPINI, T.S., 2014. Comparative analysis of methods of determining leaf area in cocoa genotypes. **Bioscience Journal**, V. 30, n. 32, p. 411-419, 2014.

SBRISSIA, André Fischer; SILVA, Sila Carneiro da. Comparação de Três Métodos para Estimativa do Índice de Área Foliar em Pastos de Capim-Marandu sob Lotação Contínua. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, p.212-220, 2008.

SILVA, Cibelle Celestino. **Teoria de Cores de Newton: um estudo crítico do livro I do opticks**. 1996.

SILVA, Kleysson Arthur Medeiros Da. **Monografia: APLICAÇÃO DE SISTEMA COMPUTACIONAL PARA A CLASSIFICAÇÃO DE SEMENTES DE SOJA POR TAMANHO UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Unidade Especializada em Ciências Agrárias - Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. 2017

SOARES, Guilherme Afonso. **Monografia: Identificação de linhas de plantio por meio da Transformada de Hough**. Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia/MG. 2017.

SOUSA, L.F., Santos, J.G.D., Alexandrino, E., Maurício, R.M., Martins, A.D., Sousa, J.T.L. Practical and efficient method to estimate leaf area index in tropical forage grasses. **Archivos de Zootecnia** 64, p. 83-85, 2015

SOUZA, Marcelo Sobreira de Souza; ALVES, Samara Sibelle Vieira; DOMBROSKI, Jeferson Luiz Dollabona, FREITAS, José Dijalma Batista de; AROUCHA, Edna Maria Mendes. Comparação de métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia. **Pesqui. Agropecu. Trop. [online]**, v.42, n.2, p.241-245, 2012.

SOUZA, Taciana; CORREIA, Suzete. **Estudo de Técnicas de Realce de Imagens Digitais e Suas Aplicações**. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica João Pessoa/PB. 2007.

TAURION, Cezar. Cloud Computing - computação em nuvem: **Transformando o mundo da Tecnologia da Informação**. Rio de Janeiro/RJ. Brasport. 2009.

TECH, Adriano Rogério Bruno; SILVA, André Luis Céspedes da; MEIRA, Luiz Antônio; OLIVEIRA, Marcelo Eduardo de; PEREIRA, Lilian Elgalise Techio. Methods of image acquisition and software development for leaf area measurements in pastures. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 153, p. 278-284, 2018.

VARMA, Varun; OSURI, Anand M.. Black Spot: A platform for automated and rapid estimation of leaf area from scanned images. **Plant Ecology**. v. 214, n. 2, p. 1529–1534 2013.

W3C. Techniques For Accessibility Evaluation And Repair Tools, 2000.

WILCKEN, Carlos Frederico; MORAES, Regina Celia Botequio; HADDAD, Marineia L.; PARRA, José Roberto Postali. Técnica de Medição de área Foliar Consumida por Insetos Através de Digitalizador de Imagens. **Sci. agric.**, Piracicaba/SP, v. 55, n. 2, p.218-221, 1998.