

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 15/04/2023.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA
DISCRIMINAÇÃO DE ESPÉCIES DE CORDAS-DE-VIOLA**

**Andreísa Flores Braga
Engenheira Agrônoma**

2021

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA
DISCRIMINAÇÃO DE ESPÉCIES DE CORDAS-DE-VIOLA**

Andreísa Flores Braga

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves

Coorientador: Prof. Dr. Luis Carlos da Cunha Júnior

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Agronomia (Produção Vegetal).

B813e Braga, Andreísa Flores
Espectroscopia no infravermelho próximo para discriminação de espécies de cordas-de-viola / Andreísa Flores Braga. -- Jaboticabal, 2021
70 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Pedro Luis da Costa Aguiar Alves
Coorientador: Luis Carlos da Cunha Júnior

1. Agronomia. 2. Ervas daninhas. 3. Convolvulaceae. 4. Quimiometria. 5. Agricultura de precisão. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA DISCRIMINAÇÃO DE
ESPÉCIES DE CORDAS-DE-VIOLA

AUTORA: ANDREÍSA FLORES BRAGA

ORIENTADOR: PEDRO LUÍS DA COSTA AGUIAR ALVES

COORIENTADOR: LUIS CARLOS CUNHA JÚNIOR

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. PEDRO LUÍS DA COSTA AGUIAR ALVES (Participação Virtual)
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. JOÃO MARTIM DE PORTUGAL E VASCONCELOS FERNANDES (Participação Virtual)
Instituto Politécnico de Beja(ESA-IPBeja) / Beja/Portugal

Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE DE ALMEIDA TEIXEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Produção Vegetal) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. GILMARCOS DE CARVALHO CORRÊA (Participação Virtual)
Universidade Federal de Goiás/UFG / Goiânia/GO

Prof. Dr. ARTHUR ARROBAS MARTINS BARROSO (Participação Virtual)
Universidade Federal do Paraná-UFPR / Curitiba/PR

Jaboticabal, 15 de abril de 2021

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

ANDREÍSA FLORES BRAGA – nascida em 20 de dezembro de 1991, no município de Bom Sucesso, estado de Minas Gerais, filha de Vera Alice Aparecida Flores Braga e Manoel Geraldo Resende Braga. Fez sua graduação em Engenharia Agrônoma na Universidade Federal de Lavras (UFLA), com conclusão em julho de 2014. Durante a graduação, foi bolsista de iniciação científica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), desenvolveu pesquisas relacionadas à produção de metabólitos secundários em plantas medicinais, no período de 2011 a 2014. Em agosto de 2014, iniciou o curso de mestrado em Agronomia (Produção Vegetal), na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Campus de Jaboticabal. Durante o curso de mestrado, foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Conduziu sua pesquisa junto ao grupo de pesquisa LAPDA, e também contribuiu na elaboração e condução de projetos de pesquisa em parcerias com empresas e na organização de eventos para popularização e divulgação científica. No período de setembro a dezembro de 2015, desenvolveu parte de suas pesquisas na Universidad de la República (UDELAR) – Campus de Paysandú, Uruguai. Obteve o título de mestre em agosto de 2016, com a dissertação intitulada: “Desenvolvimento inicial do eucalipto em convivência com densidades de azevém resistente e suscetível ao glyphosate”. Após o mestrado, iniciou juntamente com a direção do campus e outros dois pós-graduandos, o projeto de implantação da incubadora de empresas de base tecnológica – Inovajab, realizando atividades de ensino e apoio à transferência de tecnologias e fortalecimento do ecossistema de inovação de Jaboticabal – SP, que culminou no reconhecimento da cidade como arranjo produtivo local do agronegócio, em maio de 2020. Iniciou o curso de doutorado em Agronomia (Produção Vegetal), na UNESP – Campus de Jaboticabal em agosto de 2017, desenvolvendo sua pesquisa junto ao grupo de pesquisa LAPDA – Laboratório de Plantas Daninhas e ao grupo de pesquisa LTFC – Laboratório de Tecnologia em Pós-colheita de Frutas e Hortaliças, da Universidade Federal de Goiás (UFG). Durante o curso de doutorado, foi bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

“E disse Deus: Haja luz; e houve luz.”

Gênesis 1:3

“O conhecido é finito, o desconhecido, infinito, intelectualmente estamos numa ilha no meio de um oceano ilimitado de inexplicabilidade. Nossa função em cada geração é reivindicar um pouco mais de terra firme.”

Thomas Henry Huxley

Aos meus pais, Manoel Geraldo e Vera Alice, e
aos meus irmãos, Gabriel, Manoel Victor e André.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, força, inspiração e criatividade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves, pela amizade, orientação, confiança e liberdade concedida durante minha trajetória na academia.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Luis Carlos da Cunha Júnior, pela orientação e sobretudo pela paciência ao ensinar e pelas palavras de estímulo ao longo de todo desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Gustavo Henrique de Almeida Teixeira, pelo empréstimo do equipamento e pelas considerações nas bancas de qualificação e defesa.

Aos Dr. Marcos Antônio Kuva, Dr. João Martim de Portugal e Vasconcelos Fernandes, Dr. Gilmarcos de Carvalho Corrêa e Dr. Arthur Arrobas Martins Barroso, pelas considerações e participação nas bancas de qualificação e defesa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro para desenvolvimento desta pesquisa, número do processo: 142375/2017-9.

A todos meus professores, que fizeram parte da minha trajetória no curso de doutorado; compartilhar o conhecimento representa para mim a missão mais ilustre.

A todos os colaboradores da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP/FCAV - Campus de Jaboticabal, pela contribuição à minha formação profissional.

Aos coordenadores e membros do conselho do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal).

Aos funcionários da Seção Técnica de Pós-graduação, em especial ao Diego Mafra, pela atenção e solicitude.

Aos funcionários da biblioteca por todo suporte concedido, em especial a Luciane Meire Ribeiro e a Marli Saes.

A todos os membros e ex-membros do grupo de pesquisa LAPDA, por todo auxílio e convívio durante minha permanência no grupo; em especial ao Leandro Chiconi, pelo apoio durante a execução dos experimentos.

À Dr^a Mariluce Pascoina Nepomuceno, pelas orientações, amizade e longas conversas sobre a ciência e a vida, que me inspiraram e me fizeram sentir acolhida.

Aos servidores do Departamento de Biologia Aplicada à Agricultura, pela atenção e apoio durante todo o curso.

Ao servidor técnico e amigo José Valcir Fidelis Martins, pela valiosa ajuda nos experimentos e pelas longas conversas e momentos de descontração.

Aos colegas da Inovajab, Diego Siqueira, Rafael Parras e Ingrid Martins, pelo convívio e estímulo ao meu desenvolvimento profissional e pessoal.

A todos meus amigos, em especial aos meus companheiros de jornada acadêmica Allan Bacha, Ana Stella Gonçalves, Andreísa Lima, Bruna Pires, Cristiane Pereira, Isa Marcela Braga, Izabela Orzari, Juciléia Wagatsuma, Juliana Rodrigues, Neriane Hijano, Pedro Martins, Renata Thaysa Santos, Thiago Oliveira e Willians Carrega.

Ao Marcelo Campos, pelo companheirismo, apoio e disposição em sempre me ajudar.

Aos meus pais e irmãos por sempre acreditarem nas minhas escolhas e me apoiarem.

Por fim, a todos aqueles que passaram pela minha vida nesses últimos anos e fizeram parte da minha trajetória, contribuindo de alguma forma para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Família das Convolvulaceae.....	4
2.2. Manejo de plantas daninhas.....	6
2.3. Identificação de plantas daninhas.....	8
2.4. Uso da espectroscopia no infravermelho próximo na agricultura.....	10
2.5. Estudos quimiométricos.....	15
2.5.1 Análise de Componentes Principais (PCA).....	17
2.5.2 Análises discriminantes.....	18
2.5.3 Figuras de mérito em análises discriminantes.....	19
3. REFERÊNCIAS.....	21
CAPÍTULO 2 - Discriminação de espécies de corda-de-violão através do uso de espectroscopia NIR e métodos multivariados.....	29
1. INTRODUÇÃO.....	30
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.1. Material vegetal.....	31
2.2. Obtenção dos espectros de refletância.....	32
2.3. Desenvolvimento de modelos de classificação.....	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.1. Caracterização e espectro NIR.....	34
3.2. Análise de componente principal (PCA).....	37
3.3. Análises discriminantes.....	38

3.4. Seleção de faixas espectrais	41
4. CONCLUSÃO.....	44
5. REFERÊNCIAS.....	45
CAPÍTULO 3 – Espectroscopia NIR e métodos multivariados para discriminação de espécies de cordas-de-viola em diferentes estádios de crescimento	47
1. INTRODUÇÃO	48
2. MATERIAL E MÉTODOS	49
2.1. Material Vegetal.....	49
2.2. Obtenção dos espectros.....	51
2.3. Quimiometria	52
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
3.1. Caracterização do material vegetal e espectros NIR.....	52
3.2. Análise de componente principal (PCA)	55
3.3. Análise linear discriminante (PC-LDA)	60
4. CONCLUSÃO.....	64
5. REFERÊNCIAS.....	66
CAPÍTULO 4 - Considerações finais	69

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA DISCRIMINAÇÃO DE ESPÉCIES DE CORDAS-DE-VIOLA

RESUMO - A ocorrência de plantas daninhas em áreas agrícolas é um dos principais fatores que limitam a produtividade e aumentam os custos de produção. O manejo específico destas espécies tem ganhado destaque nos últimos anos, principalmente pelo avanço das tecnologias e por apresentar uma alternativa à redução do uso de herbicidas e exposição ambiental. O grande desafio para o manejo específico de plantas daninhas é identificar as espécies alvo em meio às plantas cultivadas. Neste contexto, diversas tecnologias têm sido estudadas para identificação e reconhecimento destas espécies em campo. A espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) é bastante empregada em análises de qualidade e caracterização de alimentos e solos, mas apesar de ser uma técnica bastante difundida, ainda são poucos os estudos relacionados ao seu uso para identificação/discriminação de plantas daninhas. O objetivo deste trabalho foi verificar o potencial discriminatório da espectroscopia NIR associado a análises multivariadas em espécies de cordas-de-viola e estádios de crescimento. Para isso, realizou-se experimentos com os seguintes objetivos: (I) discriminar as espécies de *Ipomoea hederifolia*, *Ipomoea nil* e *Merremia aegyptia*, (II) discriminar as espécies de *I. hederifolia* e *M. aegyptia*, considerando três estádios de crescimento. A sementeira das espécies foi realizada em vasos plásticos com capacidade para 0.5 litros, preenchidos com areia de rio lavada e peneirada. As espécies foram cultivadas em ambiente aberto e irrigadas diariamente com água e solução nutritiva. No dia da coleta dos espectros, as plantas foram caracterizadas quanto ao teor de água e ao estágio de crescimento. Os espectros NIRS foram adquiridos em absorvância na faixa espectral de 10.000 a 4.000 cm^{-1} (1.000 a 2.500 nm). No momento da coleta dos espectros NIR, a temperatura do ambiente foi mantida a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ e a leitura dos espectros foi realizada na parte adaxial das folhas frescas, posicionadas sobre um fundo preto. Os dados espectrais foram analisados usando o programa Unscrambler[®]. Pré-processamentos e faixas espectrais foram testados e os dados espectrais foram submetidos as análises de componente principal (PCA); discriminante linear de componentes principais (PC-LDA) e apenas no primeiro experimento, a análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA). O estudo das faixas espectrais bem como os pré-processamentos foram relevantes e promoveram melhorias na capacidade de acerto dos modelos. Os valores de acurácia no primeiro experimento foram de até 99,26, 98,52 e 98,73%, para *I. hederifolia*, *I. nil* e *M. aegyptia*, respectivamente. No segundo experimento as melhores faixas para discriminar as espécies e seus respectivos estádios foram de 4.500 a 6.000 cm^{-1} e de 4.500 a 6.000 + 6.500 a 7.750 cm^{-1} , com assertividade de até 100% para maioria das classes, sem a necessidade de pré-processamento. Os resultados destes estudos demonstraram que a espectroscopia NIR pode ser utilizada para discriminar espécies de corda-de-viola em diferentes estádios de crescimento, representando um avanço na pesquisa e implantação desta técnica para o desenvolvimento de equipamentos que auxiliem a adoção e/ou realização de um manejo específico de plantas daninhas.

Palavras-chave: agricultura de precisão, assinatura espectral, identificação de plantas daninhas, manejo específico, quimiometria

NEAR INFRARED FOR DISCRIMINATION OF MORNING GLORY SPECIES

ABSTRACT – The occurrence of weeds in cultivated areas is one of the main factors that limit agricultural productivity and increase production costs. The specific management of these species has gained prominence in recent years, mainly due to the advancement of technologies and for presenting an alternative to reduce the use of herbicides and environmental exposure. The great challenge for specific weed management is to identify the target species among the cultivated plants. In this context, several technologies have been studied for species identification and field recognition. Near-infrared spectroscopy (NIRS) is widely used in the analysis of quality and characterization of food and soils, but despite being a widespread technique, there are still few studies related to its use for weed identification/discrimination. The objective of this work was to verify the discriminatory potential of NIRS associated with multivariate analyzes in species of morning glory and growth stages. Thus, experiments were carried out with the following objectives: (I) discriminating the species of *Ipomoea hederifolia*, *Ipomoea nil*, and *Merremia aegyptia*, using multivariate techniques and pre-processing and spectral range selection; (II) discriminate the species of *I. hederifolia* and *M. aegyptia*, considering three growth stages. The sowing of the species was carried out in plastic pots with a capacity of 0.5 L, filled with sieved river sand, previously washed. The species were grown in an open environment and irrigated daily with water and nutrient solution. On the day of spectra collection, the plants were characterized for water content and stage (in the second experiment). The NIR spectra were acquired in absorbance in the spectral range of 10,000 to 4,000 cm^{-1} (1,000 to 2,500 nm). At the time of collection of the NIR spectra, the ambient temperature was maintained at $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ and the reading of the spectra was performed on the adaxial part of the fresh leaves, positioned on a black background. The spectral data were analyzed using the Unscrambler® program. The pre-processing and spectral bands were tested and the spectral data submitted to the principal component analysis (PCA); linear discriminant of principal components (PC-LDA) and only in the first experiment, the discriminant analysis of partial least squares (PLS-DA). The study of the spectral ranges as well as the pre-processing were relevant and promoted improvements in the accuracy of the models. The accuracy values in the first experiment were up to 99.26, 98.52, and 98.73%, for *I. hederifolia*, *I. nil* and *M. aegyptia*, respectively. In the second experiment, the best intervals to discriminate species and their respective stages were 4,500 to 6,000 cm^{-1} and 4,500 to 6,000 + 6,500 to 7,750 cm^{-1} , with assertiveness of up to 100% for most classes, without the need for pre-processing. The results of these studies demonstrated that NIRS spectroscopy can discriminate species of morning glory at different stages of growth, representing an advance in the research and implementation of this technique for the development of equipment that assists in the adoption of specific management.

Keywords: chemometrics, precision agriculture, specific management, spectral signature, weed identification

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA – análise de variância

BBCH – sigla em alemão de “Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und CHemische Industrie”, escala usada para identificar os estágios de desenvolvimento fenológico das plantas

DT – Detrend (tratamento matemático)

EVA - Espuma de vinil

FN – falso negativo

FP – falso positivo

IH – *Ipomoea hederifolia*

IH1 - *Ipomoea hederifolia* no microestádio 10, conforme o BBCH

IH2 - *Ipomoea hederifolia* no microestádio 11, conforme o BBCH

IH3 – *Ipomoea hederifolia* no microestádio 12, conforme o BBCH

IN – *Ipomoea nil*

LDA - análise linear discriminante

MA – *Merremia aegyptia*

MA1 - *Merremia aegyptia* no microestádio 11, conforme o BBCH

MA2 - *Merremia aegyptia* no microestádio 12, conforme o BBCH

MA3 - *Merremia aegyptia* no microestádio 14, conforme o BBCH

NIR - infravermelho próximo

NIRS - espectroscopia no infravermelho próximo

PC – componente principal

PCA - análise de componente principal

PC-LDA - análise linear discriminante do componente principal

PLS-DA - análise discriminante por quadrados mínimos parciais

SEN – sensibilidade

SG - Savitzky-Golay (tratamento matemático)

SNV - variação normal padrão

SPEC – especificidade

TA – teor de água

TEF - taxa de eficiência

TFN - taxa de falsos negativos

TFP - taxa de falsos positivos

VN –verdadeiro negativo

VP –verdadeiro positivo

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Tabela de contingência ou matriz de confusão dos resultados de uma classificação. Fonte: Adaptado, Ferreira (2015).

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Resultados das análises discriminantes de PC-LDA e PLS-DA para as três espécies de corda-de-viola sem e com diferentes pré-processamentos na faixa espectral de 4.000-10.000 cm^{-1} .

Tabela 2. Resultados da análise de PLS-DA para três espécies de corda-de-viola sem e com diferentes pré-processamento em diferentes faixas espectrais.

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Código decimal para a classificação dos estádios de desenvolvimento de plantas

Tabela 2. Valores médios do teor de água para *I. hederifolia* e *M. aegyptia* nos três estádios de crescimento.

Tabela 3. Matriz da PC-LDA e porcentagem de acerto para espécies e estádios nas faixas do espectro de 4.000 a 10.000 (espectro todo), 4.500 a 6.000 + 6.500 a 7.750, 4.500 a 6.000 e 6.500 a 7.750 cm^{-1} sem pré-processamento.

Tabela 4. Matriz da PC-LDA e porcentagem de acerto para espécies e estádios nas faixas do espectro de 4.000 a 10.000 (espectro todo), 4.500 a 6.000 + 6.500 a 7.750, 4.500 a 6.000 e 6.500 a 7.750 cm^{-1} com pré-processamento SNV+1SG.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Formas de interação da radiação eletromagnética com a superfície amostrada: (a) refletância; (b) transmitância; (c) interactância e (d) transfectância. Fonte: Elaborado pela autora, baseado em Pasquini, (2003).

Figura 2. Grupos funcionais atribuídos aos comprimentos de onda no infravermelho próximo. Fonte: (Adaptado, Xiabo et al., 2010).

Figura 3. Curva de refletância espectral típica de vegetação saudável representando diferentes picos de absorção. Fonte: Adaptado, Prabhakar et al., (2012).

Figura 4. Representação gráfica de dois grupos de amostras no espaço bidimensional definido pelas Variáveis 1 e 2 e as respectivas componentes principais (a); Representação gráfica das amostras projetadas em PC1 e PC2 (b). Fonte: Adaptado, Ferreira (2015).

CAPÍTULO 2

Figura 1. Dados de absorbância do espectro todo, sem pré-processamento (a) e com pré-processamento SNV (b) de *I.hederifolia* (IH), *I.nil* (IN) e *M.aegyptia* (MA).

Figura 2. Valores de PC 1 e 2 para a análise de componente principal (PCA) para todo o espectro sem pré-processamento (a) e para a faixa de 4240-5540 cm^{-1} com o pré-processamento SNV (b), para as espécies de *I.hederifolia* (quadrado), *I.nil* (triângulo) e *M.aegyptia* (círculo).

CAPÍTULO 3

Figura 1. *Ipomoea hederifolia* (a) e *Merremia aegyptia* (b) nos estádios de crescimento 1, 2 e 3.

Figura 2. Absorbância média dos espectros (a) e PC-loadings (b) de 4.000 a 10.000 cm^{-1} com o pré-processamento SNV+1SG das espécies de *I. hederifolia* nos estádios 10 (IH1); 11 (IH2) e 12 (IH3); e *M. aegyptia* nos estádios 11 (MA1); 12 (MA2) e 14 (MA3). (1ª faixa: 4.500 a 6.000 cm^{-1} ; 2ª faixa: 6.500 a 7.750 cm^{-1}).

Figura 3. Valores de PC 1 e 2 resultantes da análise de componente principal (PCA) com o espectro todo (a) e com as duas faixas (b) para as espécies *I. hederifolia* (cinza) e *M. aegyptia* (preto) em três estádios de desenvolvimento. (triângulo: estágio 1; círculo: estágio 2; quadrado: estágio 3).

Figura 4. Valores de PC 1 e 2 resultantes da análise de componente principal (PCA) com a 1ª faixa (a) e com a 2ª faixa (b) para as espécies de *I. hederifolia* (cinza) e *M. aegyptia* (preto) em três estádios de desenvolvimento. (triângulo: estágio 1; círculo: estágio 2; quadrado: estágio 3).

Figura 5. Valores de PC 1 e 2 resultantes da análise de componente principal (PCA) na 1ª faixa do espectro (4500 a 6000 cm^{-1}) para as espécies de *I. hederifolia* (a) e *M. aegyptia* (b) nos três estádios de crescimento. (triângulo: estágio 1; círculo: estágio 2; quadrado: estágio 3).

Figura 6. Valores dos componentes principais resultantes da análise de componente principal (PCA) para a 1ª faixa do espectro (4500 a 6000 cm^{-1}) com as espécies de *I. hederifolia* (cinza) e *M. aegyptia* (preto) nos estádios 1(a), 2(b) e 3(c)

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. INTRODUÇÃO

O Brasil desempenha papel fundamental no contexto de produção de alimentos no mundo. Por outro lado, também é desafiado a produzir cada vez mais de maneira sustentável, gerando menos impacto ao meio ambiente (Martinelli et al., 2010). Os desafios para o desenvolvimento de uma agricultura mais produtiva e sustentável são os agentes propulsores do desenvolvimento de tecnologia e inovação no setor.

O manejo de plantas daninhas nas lavouras é indispensável para o alcance de altas produtividades e a não realização de um manejo adequado acarreta perdas ainda maiores (Kuva et al., 2007; Santos et al., 2017). Nas últimas décadas, o principal manejo adotado para o controle de plantas daninhas tem sido o controle químico, realizado pela aplicação de herbicidas, geralmente aplicados em área total (Correia, 2016). Contudo, com a introdução de conceitos de agricultura de precisão e o desenvolvimento de novas tecnologias, o manejo destas espécies tem passado por algumas mudanças de paradigmas, envolvendo o uso mais racional e eficiente dos herbicidas (Pannacci et al., 2017).

O desenvolvimento de tecnologias nas áreas de computação e automação tem estimulado o surgimento de serviços e produtos baseados no uso de sensores, visão de máquina e uso de informações georreferenciadas capazes de distinguir plantas daninhas (Fernández-Quintanilla et al., 2018). Na etapa de desenvolvimento de novos protocolos de manejo é fundamental a integração de tecnologias antigas às novas, e que considerem principalmente as características biológicas e ecológicas dessas espécies (Klerkx et al., 2019; Van Evert et al., 2017).

A discriminação de plantas daninhas por meio de dados espectrais ou imagens é uma abordagem que pode auxiliar no manejo específico destas espécies, gerando economia no uso de herbicidas e menor exposição de moléculas ao ambiente (Souza et al., 2020). Alguns sensores de plantas daninhas já estão sendo usados comercialmente e são capazes de detectar a presença ou ausência de plantas sobre o solo. Porém, o desenvolvimento das tecnologias futuras está buscando a

diferenciação e o reconhecimento de espécies de plantas daninhas em meio as culturas (Fernández-Quintanilla et al., 2018).

As plantas daninhas dos gêneros *Ipomoea* e *Merremia* são espécies anuais, herbáceas e trepadeiras, que ganharam expressividade nos últimos anos, devido à implementação do sistema de colheita mecanizada em cana-de-açúcar e adoção de plantio direto em culturas anuais (Monquero et al., 2011; Correia, 2016). Essas espécies, além de competirem com as culturas por água, luz e nutrientes, interferem significativamente nas práticas culturais, especialmente na colheita, reduzindo a eficiência e impactando nos custos (Piza et al., 2016; Pagnoncelli et al., 2017). Apesar de serem espécies pertencentes à mesma família, por possuírem semelhanças morfológicas, elas respondem de modo diferenciado ao controle químico, ressaltando, assim, a importância de diferenciá-las no momento do controle.

A espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) associada a técnicas de quimiometria é aplicada na agricultura já há muito tempo (Pasquini, 2003; Cao e Cao, 2020). As principais aplicações envolvem análises de qualidade e caracterização de alimentos e solos (Marques et al., 2014; Cunha Júnior et al., 2015; Roza-Delgado et al., 2017; dos Santos Neto et al., 2017). Recentemente, estudos têm explorado seu potencial de discriminação em espécies de plantas, para fins de identificação de cultivares, rastreamento geográfico e discriminação de plantas daninhas (Soares et al., 2017; Steidle Neto et al., 2018; Snel et al., 2018; Souza et al., 2020).

Contudo, o presente trabalho apresenta métodos para análises espectrais e discriminação de espécies e estádios de corda-de-viola utilizando a espectroscopia NIR. O primeiro capítulo contextualiza a importância das espécies estudadas, a evolução de técnicas de controle e a aplicação de NIRS na agricultura. No segundo capítulo é abordado a discriminação de três espécies de corda-de-viola, sendo elas: *Ipomoea hederifolia*, *Ipomoea nil* e *Merremia aegyptia*. No terceiro capítulo é abordado a discriminação de *I. hederifolia* e *M. aegyptia*, considerando diferentes estádios de crescimento. Por fim, nas considerações finais, são colocados os avanços e perspectivas que este estudo traz dentro desta área do conhecimento.

3. REFERÊNCIAS

- Adegas FS, Vargas L, Gazziero DLP, Karam D (2017) **Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Londrina: Embrapa, 11p. (Circular Técnica, 132)
- An X, Li M, Zheng L, Liu Y, Sun H (2014) A portable soil nitrogen detector based on NIRS. **Precision Agriculture** 15(1):3–16.
- Austin DF, Cavalcante PB (1982) Convolvuláceas da Amazônia. **Publicações Avulsas do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Vol. 36, 5–134.
- Austin DF, Huáman Z (1996) A Synopsis of Ipomoea (Convolvulaceae) in the Americas. Reviewed work(s): **International Association for Plant Taxonomy (IAPT)**:45.
- Azania AAP, Azania CA, Gravena R, Pavani MCM, Pitelli R (2002) Interferência da palha de cana de açúcar na emergência de espécies de plantas daninhas da família convolvulaceae. **Planta Daninha** 20(2):207–212.
- Bagavathiannan MV, Graham S, Ma Z, Barney JN, Coutts SR, Caicedo AL, De Clerck-Floate R, West NM, Blank L, Metcalf AL, Lacoste M, Moreno CR, Evans JA, Burke I, Beckie H (2019) Considering weed management as a social dilemma bridges individual and collective interests. **Nature Plants** 5(4):343–351.
- Barros Neto B, Scarminio IS, Bruns RE (2006) 25 anos de quimiometria no Brasil. **Química Nova** 29(6):1401–1406.
- Barroso AAM, Ferreira PSH, Martins D (2019) Growth and Development of Ipomoea Weeds. **Planta Daninha** 37:1–9.
- Berauer BJ, Wilfahrt PA, Reu B, Schuchardt MA, Garcia-Franco N, Zistl-Schlingmann M, Dannenmann M, Kiese R, Kühnel A, Jentsch A (2020) Predicting forage quality of species-rich pasture grasslands using vis-NIRS to reveal effects of management intensity and climate change. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 296(3):106929.
- Borraz-Martínez S, Simó J, Gras A, Mestre M, Boqué R (2019) Multivariate Classification of Prunus Dulcis Varieties using Leaves of Nursery Plants and Near Infrared Spectroscopy. **Scientific Reports** 9(1):1–9.
- Botelho BG (2014) **Desenvolvimento e validação de métodos para análise direta de alimentos usando ferramentas quimiométricas, espectroscopia no infravermelho e imagens digitais**. 136 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Braga AF, Barroso AAM, Amaral CL, Nepomuceno MP, Alves PLCA (2018) Population interference of glyphosate resistant and susceptible ryegrass on eucalyptus initial development. **Planta Daninha** 36:e018170148.

Brereton RG (2015) Pattern recognition in chemometrics. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems** 149:90–96.

Brereton RG, Jansen J, Lopes J, Marini F, Pomerantsev A, Rodionova O, Roger JM, Walczak B, Tauler R (2017) Chemometrics in analytical chemistry—part I: history, experimental design and data analysis tools. **Analytical and Bioanalytical Chemistry** 409(25):5891–5899.

Brown RB, Noble SD (2005) Site-specific weed management: sensing requirements—what do we need to see? **Weed Science** 53(2):252–258.

Campos LHF, Francisco MO, Carvalho SJP, Nicolai M, Christoffoleti PJ (2009) Susceptibility of Ipomoea quamoclit, I. triloba and Merremia cissoides to the herbicides sulfentrazone and amicarbazone. **Planta Daninha** 27(4):831–840.

Cao N, Cao B (2020) NIRS in the contemporary world for food and agriculture. **NIR news** 31(7–8):23–24.

Carvalho AP FDE (2005) Estudo de características foliares de espécies de lenhosas de cerrado e sua relação com os espectros de reflectância. 142 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, Brasília.

Christoffoleti PJ, Borges A, Nicolai M, Carvalho SJP, López-Ovejero RF, Monquero PA (2006) Carfentrazone-ethyl aplicado em pós-emergência para o controle de Ipomea spp. e Commelina benghalensis na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha** 24(1):83–90.

Correia NM (2016) Controle químico de espécies de corda-de-viola em áreas de cana soca crua colhida nas épocas seca e semiúmida. **Planta Daninha** 34(2):333–343.

Correia NM, Kronka B (2010) Chemical control of plants of the genera Ipomoea and Merremia in sugarcane. **Planta Daninha** 28(nesp):1143–1152.

Da Costa Filho PA, Poppi RJ (2002) Application of genetic algorithms in the variable selection in mid infrared spectroscopy. Simultaneous determination of glucose, maltose and fructose. **Quimica Nova** 25(1):46–52.

Cunha Júnior LC, Nardini V, Khatiwada BP, Teixeira GHA, Walsh KB (2015) Classification of intact açaí (Euterpe oleracea Mart.) and juçara (Euterpe edulis Mart) fruits based on dry matter content by means of near infrared spectroscopy. **Food Control** 50:630–636.

Cunha Júnior LC, Teixeira GHA, Nardini V, Walsh KB (2016) Quality evaluation of intact açaí and juçara fruit by means of near infrared spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology** 112:64–74.

Davies AMC, Grant A (1987) Review: Near infra-red analysis of food. **International Journal of Food Science and Technology** 22:191–207.

Davies T (1998) The history of near infrared spectroscopic analysis: Past, present and future - From sleeping technique to the morning star of spectroscopy. **Analysis** 26(4):17–19.

Demattê JAM, Dotto AC, Paiva AFS, Sato MV, Dalmolin RSD, de Araújo MSB, da Silva EB, Nanni MR, ten Caten A, Noronha NC, Lacerda MPC, de Araújo Filho JC, Rizzo R, Bellinaso H, Francelino MR, Schaefer, C. E. G. R., Vicente, L. E., dos Santos, U. J., de Sá Barretto Sampaio, et al., (2019) The Brazilian Soil Spectral Library (BSSL): A general view, application and challenges. **Geoderma** 354:113793.

Dutra de Moraes V, Agostinetto D, Galon L, Piesanti R, Agostinetto Dirceu, Dutra de Moraes PV, Galon L, Piesanti R (2008) Agricultura de precisão no controle de plantas daninhas precision farming in weed control. **Uruguiana da FZVA** 15(1):1–14.

Everitt JH, Alaniz MA, Escobar DE, Davis MR (1992) Using Remote Sensing to Distinguish Common (Isocoma coronopifolia) and Drummond Goldenweed (Isocoma drummondii). **Weed Science** 40(4):621–628.

Evert FK van, Fountas S, Jakovetic D, Crnojevic V, Travlos I, Kempenaar C (2017) Big Data for weed control and crop protection. **Weed Research** 57(4):218–233.

Felger RS, Austin DF, Devender TRV, Sánchez-Escalante JJ, Costea M (2012) Convolvulaceae of sonora, mexico. I. Convolvulus, cressa, dichondra, evolvulus, ipomoea, jacquemontia, merremia, and operculina. **Journal of the Botanical Research Institute of Texas** 6(11):459–527.

Fennimore SA, Cutulle M (2019) Robotic weeders can improve weed control options for specialty crops. **Pest Management Science** 75(7):1767–1774.

Fernández-quintanilla C, Peña J, Andújar D, Dorado J, Ribeiro A, López-Granados F (2018) Is the current state of the art of weed monitoring suitable for site-specific weed management in arable crops? **Weed Research** 58:259–272.

Ferreira, MMC (2015) Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações. Campinas: Editora da UNICAMP, 493p.

Ferreira MMC, Antunes AM, Melgo MS, Volpe PLO (1999) Chemometrics i: Multivariate calibration, a tutorial. **Química Nova** 22(5):724-731.

Fontaneli RS, Scheffer-Basso SM, Dürr JW, Appelt JV, Bortolini F, Haubert FA (2004) Predição da composição química de bermudas (Cynodon spp.) pela espectroscopia de reflectância no infravermelho proximal. **Revista Brasileira de Zootecnia** 33(4):838–842.

González A, Amarillo G, Amarillo M, Sarmiento F (2016) Drones aplicados a la agricultura de precisión. **Publicaciones e Investigación** 10:23-37.

Hanrahan G, Montes R, Gomez FA (2008) Chemometric experimental design based optimization techniques in capillary electrophoresis: A critical review of modern applications. **Analytical and Bioanalytical Chemistry** 390(1):169–179.

Hansen KD, Garcia-Ruiz F, Kazmi W, Bisgaard M, La Cour-Harbo A, Rasmussen J, Andersen H J (2013) An autonomous robotic system for mapping weeds in fields. **IFAC Proceedings Volumes** 8:217–224. (IFAC-PapersOnline)

Honorato FA, Neto BDB, Martins MN, Galvão RKH, Pimentel MF (2007) Calibration transfer in multivariate methods. **Quimica Nova** 30(5):1301–1312.

Kissmann KG, Groth D (1999) Convolvulaceae Juss. In: **Plantas infestantes e nocivas**. 3.ed. São Paulo: BASF, p.673-693.

KISSMAN, KG, GROTH D. Convolvulaceae Juss. In: **Plantas infestantes e nocivas** 3.ed. São Paulo: BASF, p. 617-754.

Klerkx L, Jakku E, Labarthe P (2019) A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences** 90–91(11):100315.

Kowalski BR (1975) Chemometrics: Views and Propositions. **Journal of Chemical Information and Computer Sciences** 15(4):201–203.

Kuva MA, Pitelli RA, Salgado TP, Alves PLCA (2007) Fitossociologia de comunidades de plantas daninhas em agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha** 25(3):501–511.

Lammertyn J, Ooms K, Smedt V, Baerdemaeker J (1998) Non-destructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of jonagold apples using nir-spectroscopy. **American Society of Agricultural Engineers** 41(4):1089–1094.

Lima GF, Andrade SAC, da Silva VH, Honorato FA (2018) Multivariate Classification of UHT Milk as to the Presence of Lactose Using Benchtop and Portable NIR Spectrometers. **Food Analytical Methods** 11(10):2699–2706.

López-Granados F (2011) Weed detection for site-specific weed management: Mapping and real-time approaches. **Weed Research** 51(1):1–11.

Lorenzi H (1991) **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. Nova Odessa: Instituto Plantarum. v.2,

Lorenzi H, Matos, FJA (2002) **Plantas medicinais no Brasil/ Nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 512 p.

Marochi A, Ferreira A, Takano HK, Oliveira Junior RS, Ovejero RFL (2018) Managing glyphosate-resistant weeds with cover crop associated with herbicide rotation and mixture. **Ciencia e Agrotecnologia** 42(4):381–394.

Martinelli LA, Naylor R, Vitousek PM, Moutinho P (2010) Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability** 2(5-6):431-438.

Marques Jr. J, Siqueira DS, Camargo LA, Teixeira DDB, Barrón V, Torrent J (2014) Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a brazilian haplustalf. **Geoderma** 219–220, 63–71.

Monquero PA, Silva PV, Hirata ACS, Martins FRA (2011) Monitoramento do banco de sementes de plantas daninhas em áreas com cana-de-açúcar colhida mecanicamente. **Planta Daninha** 29(1):107–119.

Naes T, Isaksson T, Fearn T, Davies T, A (2002) **A user-friendly guide to multivariate calibration and classification**. Chichester: NIR. v.6.

Nicolai BM, Beullens K, Bobelyn E, Peirs A, Saeys W, Theron KI, Lammertyn J (2007) Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. **Postharvest Biology and Technology** 46(2):99–118.

Norris KH (1996) History of Near Infrared Spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy** 37(4):31–37.

Oerke EC, Dehne HW (2004) Safeguarding production - Losses in major crops and the role of crop protection. **Crop Protection** 23(4):275–285.

Olsen A, Konovalov DA, Philippa B, Ridd P, Wood JC, Johns J, Banks W, Girgenti B, Kenny O, Whinney J, Calvert B, Azghadi MR, White RD (2019) DeepWeeds: A Multiclass Weed Species Image Dataset for Deep Learning. **Scientific Reports** 9(1):1–12.

Orzari I, Monquero PA, Reis FC, Sabbag RS, Hirata ACS (2013) Germinação de espécies da família convolvulaceae sob diferentes condições de luz, temperatura e profundidade de semeadura. **Planta Daninha** 31(1):53–61.

Owen MDK, Beckie HJ, Leeson JY, Norsworthy JK, Steckel LE (2015) Integrated pest management and weed management in the United States and Canada. **Pest Management Science** 71(3):357–376.

Pagnoncelli FB, Trezzi MM, Brum B, Vidal RA, Portes ÁF, Scalcon EL, Machado A (2017) Morning glory species interference on the development and yield of soybeans. **Bragantia** 76(4):470–479.

Pannacci E, Lattanzi B, Tei F (2017) Non-chemical weed management strategies in minor crops: A review. **Crop Protection** 96:44–58.

Pasquini C (2003) Near infrared spectroscopy: Fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society** 14(2):198–219.

Pearson K (1901) On lines and planes of closest fit to systems of points in space. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science** 2(11):559-572.

Pitelli RA (1985) Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário** 11:16-27.

Pitelli RA (1987) Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série técnica IPEF** 4(12):1-24.

Piza CST, Nepomuceno MP, Alves PLDCA (2016) Period prior to interference of morning glory in sugarcane. **Científica** 44(4):543.

Prabhakar M, Prasad YG, Rao MN (2012) Remote sensing of biotic stress in crop plants and its applications for pest management. In: Venkateswarlu B, Shanker AK, Shanker C, Maheswari M. **Crop stress and its management: perspectives and strategies**. Berlin: Springer, p.517-545.

Reichardt M, Jürgens C (2009) Adoption and future perspective of precision farming in Germany: Results of several surveys among different agricultural target groups. **Precision Agriculture** 10(1):73–94.

Ribeiro FADL, Ferreira MMC, Morano SC, Silva LRD, Schneider RP (2008) Planilha de validação: uma nova ferramenta para estimar figuras de mérito na validação de métodos analíticos univariados. **Química Nova** 31(1):164-171.

Ribeiro NM, Torres BA, Ramos SK, dos Santos PHV, Simões CT, Monquero PA (2018) Differential susceptibility of morning glory (*Ipomoea* and *Merremia*) species to residual herbicides and the effect of drought periods on efficacy. **Australian Journal of Crop Science** 12(7):1090–1098.

Rinnan Å, Berg F van den, Engelsen SB (2009) Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry** 28(10):1201–1222.

Rohman A, Man YBC (2010) Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy for analysis of extra virgin olive oil adulterated with palm oil. **Food Research International** 43(3):886–892.

Roza-Delgado B, Garrido-Varo A, Soldado A, González Arrojo A, Cuevas Valdés, M, Maroto F, Pérez-Marín D (2017) Matching portable NIRS instruments for in situ monitoring indicators of milk composition. **Food Control** 76:74–81.

Saeyns W, Nguyen Do Trong N, Van Beers R, Nicolai BM (2019) Multivariate calibration of spectroscopic sensors for postharvest quality evaluation: A review. **Postharvest Biology and Technology** 158(Jul.):110981.

Sans S, Ferré J, Boqué R, Sabaté J, Casals J, Simó J (2018) Determination of chemical properties in ‘calçot’ (*Allium cepa* L.) by near infrared spectroscopy and multivariate calibration. **Food Chemistry** 262(2):178–183.

Santos CG, Martins GLM, Silva PA, Zoz T (2017) Custo De Produção De Soja Transgênica Em Sistema De Semeadura Direta Em São Desidério-Ba. **Journal of Neotropical Agriculture** 4(2):96–101.

Santos Ferreira A dos, Matte Freitas D, Gonçalves da Silva G, Pistori H, Theophilo Folhes M (2017) Weed detection in soybean crops using ConvNets. **Computers and Electronics in Agriculture** 143(11):314–324.

dos Santos Neto JP (2018) **Otimização Das Condições De Armazenamento Sob Atmosfera Controlada De Mangas “Palmer” Destinadas À Exportação**. 150 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

dos Santos Neto JP, de Assis MWD, Casagrande IP, Cunha Júnior LC, de Almeida Teixeira GH (2017) Determination of ‘Palmer’ mango maturity indices using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer. **Postharvest Biology and Technology** 130(5):75–80.

Schmilovitch Z, Mizrach A, Hoffman A, Egozi H, Fuchs Y (2000) Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. **Postharvest Biology and Technology** 19(3):245–252.

Shenk JS, Workman JJ, Westerhaus MO (2001) Application of NIR spectroscopy to agricultural products. **Practical Spectroscopy Series** 27:419-474.

Silva IAB, Kuva MA, Alves PLC, Salgado TP (2009) Interferência de uma comunidade de plantas daninhas de Ipomoea heredifolia na cana-soca. **Planta Daninha** 27(2):265–272.

Sinelli N, Cerretani L, Egidio VD, Bendini A, Casiraghi E (2010) Application of near (NIR) infrared and mid (MIR) infrared spectroscopy as a rapid tool to classify extra virgin olive oil on the basis of fruity attribute intensity. **Food Research International** 43(1):369–375.

Singh V, Rana A, Bishop M, Filippi AM, Cope D, Rajan N, Bagavathiannan M (2020) Unmanned aircraft systems for precision weed detection and management: Prospects and challenges. **Advances in Agronomy** 159:93-134.

Snel FA, Braga JWB, da Silva D, Wiedenhoeft AC, Costa A, Soares R, Coradin VTR, Pastore TCM (2018) Potential field-deployable NIRS identification of seven Dalbergia species listed by CITES. **Wood Science and Technology** 52(5):1411–1427.

Soares LF, Da Silva DC, Bergo MCJ, Coradin VTR, Braga JWB, Pastore TCM (2017) Avaliação de espectrômetro nir portátil e pls-da para a discriminação de seis espécies similares de madeiras Amazônicas. **Química Nova** 40(4):418–426.

Souza AM, Poppi RJ (2012) Teaching experiment of chemometrics for exploratory analysis of edible vegetable oils by mid infrared spectroscopy and principal component analysis: A tutorial, part I. **Química Nova** 35(1):223–229.

Souza MF, Amaral LR, Oliveira SRM, Coutinho MAN, Ferreira Netto C (2020) Spectral differentiation of sugarcane from weeds. **Biosystems Engineering** 190:41–46.

Stefanović S, Austin DF, Olmstead RG (2003) Classification of Convolvulaceae: A Phylogenetic Approach. **Systematic Botany** 28(4):791–806.

Steidle Neto AJ, Lopes DC, Toledo JV, Zolnier S, Silva TGF (2018) Classification of sugarcane varieties using visible/near infrared spectral reflectance of stalks and multivariate methods. **Journal of Agricultural Science** 156(4):537–546.

Sun X, Subedi P, Walsh KB (2020) Achieving robustness to temperature change of a NIRS-PLSR model for intact mango fruit dry matter content. **Postharvest Biology and Technology** 162(1):111117.

Tian XY, Aheto JH, Bai JW, Dai C, Ren Y, Chang X (2020) Quantitative analysis and visualization of moisture and anthocyanins content in purple sweet potato by Vis–NIR hyperspectral imaging. **Journal of Food Processing and Preservation** (6):1–16.

Torrent J, Barrón V (2008) Diffuse reflectance spectroscopy. **Methods of Soil Analysis - Mineralogical Methods** 5:367-385.

Wang N, Zhang N, Wei J, Stoll Q, Peterson DE (2007) A real-time, embedded, weed-detection system for use in wheat fields. **Biosystems Engineering** 98(3):276–285.

Wang P, Yu Z (2015) Species authentication and geographical origin discrimination of herbal medicines by near infrared spectroscopy: A review. **Journal of Pharmaceutical Analysis** 5(5):277–284.

Wedding BB, Wright C, Grauf S, Gadek P, White RD (2019) The application of FT-NIRS for the detection of bruises and the prediction of rot susceptibility of 'Hass' avocado fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 99(4):1880-1887.

Westwood JH, Charudattan R, Duke SO, Fennimore SA, Marrone P, Slaughter DC, Swanton C, Zollinger R (2018) Weed management in 2050: perspectives on the future of weed science. **Weed Science** 66(3):275–285.

Wheeler OH (1959) Near Infrared Spectra of Organic Compounds. **Chemical Reviews** 59(4):629–666.

Workman J, Koch M, Veltkamp DJ (2003) Process analytical chemistry. **Analytical Chemistry** 75(12):2859-2876.

Wu W, Massart DL, De Jong S (1997) The kernel PCA algorithms for wide data. Part I: Theory and algorithms. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems** 36(2):165–172.

Xiaobo Z, Jiewen Z, Povey MJW, Holmes M, Hanpin M (2010) Variables selection methods in near-infrared spectroscopy. **Analytica Chimica Acta** 667(1–2):14–32.

Youden WJ (1950) Index for rating diagnostic tests. **Cancer** 3(1):32–35.

CAPÍTULO 4 - Considerações finais

O manejo de plantas daninhas é fundamental para alcance de altas produtividades e corresponde a uma grande parte do custo de produção. A identificação de espécies de plantas daninhas em tempo real para adoção de um manejo específico, representa economia de insumos, menor exposição ambiental e garantia de altas produtividades. Neste contexto, os avanços em tecnologia associados a agricultura de precisão tem possibilitado a realização de estudos sobre a viabilidade do uso de ferramentas auxiliares para um manejo mais específico destas espécies.

Os resultados apresentados neste estudo, bem como as técnicas e análises estudadas, representam um novo olhar para a implementação da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) na área de biologia e manejo de plantas daninhas. A espectroscopia NIR, pode ser utilizada para discriminação de espécies de plantas pertencentes a uma mesma família botânica e até mesmo pertencentes a um único gênero. Além disso, a espectroscopia NIR também foi capaz de discriminar diferentes estádios de crescimento em plantas *in natura*, o que pode auxiliar na escolha de um momento ideal para a realização do controle ou até mesmo, ajuste de doses.

Para discriminação das espécies de *I. hederifolia*, *I. nil* e *M. aegyptia* a acurácia foi de até 97%, indicando uma alta sensibilidade da técnica para diferenciação dessas espécies. Vale ressaltar que os resultados de acurácia dos modelos foram variáveis em função dos pré-processamentos aplicados e também das faixas espectrais analisadas, destacando assim, a importância de estudos exploratórios como este.

Para discriminação das espécies de *I. hederifolia* e *M. aegyptia* considerando os estádios de crescimento, os resultados mostram-se ainda mais sensíveis a técnica, com melhor assertividade. Através da análise não supervisionada de componente principal (PCA) foi possível observar a separação dos grupos de cada espécie e estágio. Ao utilizar a análises supervisionadas, a porcentagem de acerto foi de até 100% nas amostras sem nenhum pré-processamento. Estes resultados demonstram uma alta sensibilidade da técnica para pequenas variações, como os estádios de crescimento. Por isso, é importante investigar as diferenças espectrais em função de

diversas variáveis para uma melhor compreensão e construção de modelos padrões mais robustos.

A espectroscopia NIR é uma técnica promissora para o desenvolvimento de equipamentos capazes de identificar plantas daninhas a campo. Esta técnica quando associada a métodos estatísticos multivariados pode ser usada como uma tecnologia auxiliar no desenvolvimento de sensores e/ou câmeras, baseados na aplicação de tratamentos matemáticos e seleção de faixas espectrais. Trabalhos futuros deverão se concentrar em estudar a influência de outros fatores no comportamento espectral das espécies estudadas e em outras plantas daninhas, assim como, investigar a construção de banco de dados mais robusto, com maiores variações entre os estádios de desenvolvimento, aspectos anatômicos, nutricionais, geográficos e condições de estresse.