

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO LOCAL

NÍCOLAS ALESSANDRO DE SOUZA BELETE

**CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE APLICAÇÃO DE HERBICIDA PARA CONTROLE
DE PLANTAS INVASORAS NA CULTURA DE SOJA A PARTIR DE IMAGENS
CAPTURADAS POR VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS**

CAMPO GRANDE / MS

ABRIL DE 2017

NÍCOLAS ALESSANDRO DE SOUZA BELETE

**CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE APLICAÇÃO DE HERBICIDA PARA CONTROLE
DE PLANTAS INVASORAS NA CULTURA DE SOJA A PARTIR DE IMAGENS
CAPTURADAS POR VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS**

Projeto de tese apresentado à disciplina de Seminário de Pesquisa II, no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Local – Doutorado Acadêmico, sob orientação do Prof. Dr. Hemerson Pistori.

CAMPO GRANDE / MS

ABRIL DE 2017

RESUMO

As plantas invasoras são plantas indesejadas que crescem em meio a plantações agrícolas, como na cultura de soja, podendo causar diversos prejuízos às lavouras. O objetivo deste trabalho é desenvolver uma solução de visão computacional para gerar mapas de aplicação de herbicida para controle de plantas invasoras na cultura de soja a partir de imagens capturadas por veículos aéreos não tripulados. Para esse objetivo serão capturadas imagens através de um VANT, em fazendas de soja de Mato Grosso do Sul. Utilizando o software Pynovisão as imagens serão classificadas e um mapa para aplicação de herbicida será gerado.

Palavras-chave: plantas invasoras, agricultura de precisão, VANT, visão computacional, mapas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
1.1 Motivação e Relevância do Problema.....	4
2. OBJETIVOS.....	5
2.1 Objetivo Geral.....	5
2.2 Objetivos Específicos.....	5
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	6
3.1 Plantas invasoras	6
3.2 Agricultura de precisão	7
3.3 Veículos Aéreos Não Tripulados na agricultura.....	8
3.4 Visão computacional	10
4. METODOLOGIA.....	11
4.1 Aprofundamento e atualização da revisão de literatura.....	11
4.2 Construção de um banco de imagens de plantas invasoras em lavoura de soja.....	11
4.3 Identificação e classificação das plantas daninhas por espécie.....	12
4.4 Determinação dos melhores parâmetros técnicos para a classificação das plantas daninhas por espécie	13
4.5 Implementação do módulo de geração de mapas de aplicação de herbicida para controle de plantas daninhas	14
5. CRONOGRAMA.....	14
REFERÊNCIAS	15

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação e relevância do problema

O agronegócio brasileiro vem despontando entre os setores econômicos que mais crescem e contribuem para a economia brasileira. Dados da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (2016), mostram que este setor é responsável por 23% do Produto Interno Bruto (PIB), evidenciando sua importância para a economia do país.

Neste setor, os grãos estão entre os mais importantes para a produção agrícola, sendo que a soja é o grão que mais cresceu nas últimas de acordo com o portal do Ministério da Agricultura, correspondendo a 49% da área plantada com grãos no Brasil (Ministério da Agricultura, 2015). Segundo a COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB (2016), na safra de 2015/2016, a produção de soja brasileira atingiu 95.434,6 milhões de toneladas, sendo que região Centro-Oeste é a maior produtora com 45,8% da produção nacional e o estado de Mato Grosso do Sul contribuiu com uma produção de 7,2 milhões de toneladas de soja.

Segundo Silva et al. (2011), a soja é considerada a principal oleaginosa consumida no mundo, pois, seu consumo atende os seres humanos e os demais animais criados em cativeiro. Para o Brasil a sua relevância inicia nos anos 70 com um crescimento da área cultivada e aumento da produtividade, obtido com o uso de novas tecnologias. Porém, somente nos anos 90, a modernização agrícola brasileira alcançou crescimento e dinamismo significativo na cultura da Soja (Silva et al., 2011).

Diante da importância econômica que a soja representa para o Brasil, o uso de técnicas para melhorar a produtividade e a qualidade da soja vem despontando através da agricultura de precisão que é definida por Pierce e Nowak (1999) como “a aplicação de princípios e tecnologias para manejar a variabilidade espacial e temporal, associada com todos os aspectos da produção agrícola, com o objetivo de aumentar a produtividade na agricultura e a qualidade ambiental”.

Dentre estas aplicações e tecnologias, Coelho (2015) cita a utilização de sistemas de posicionamento global, sensoriamento remoto e informação geográfica para o monitoramento das condições das plantações, com destaque para o uso de imagens obtidas por satélites. Este monitoramento busca informar ao agricultor quais são as condições de sua plantação quanto a solo, nutrientes, doenças,

pragas e plantas invasoras, permitindo que o produtor defina estratégias de manejo que maximizem o uso de insumos e defensivos agrícolas, preservando o meio ambiente e os recursos naturais.

Contudo, fatores como tempo, condições climáticas e custo tem limitado o uso das imagens por satélite para os fins agrícolas, mas, os avanços tecnológicos das últimas décadas vêm possibilitando a utilização de equipamentos de menor custo e maior alcance que satélites para este tipo de monitoramento, podendo destacar os veículos aéreos não tripulados (Peña-Barragán et al., 2012), e os sistemas de visão computacional, que além de permitirem inúmeras aplicações, destacam-se por melhorias socioeconômicas e ambientais.

Diante disso, o Grupo de Pesquisa de Desenvolvimento e Inovação em Visão Computacional (INOVISAO), da Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), tem buscado integrar a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação para contribuir com o desenvolvimento do estado do Mato Grosso do Sul, através de projetos de visão computacional voltados para aplicações no agronegócio e outras áreas relevantes, contando com parcerias entre instituições de pesquisa, agências de fomento e empresas do agronegócio.

Portanto, esta pesquisa está preocupada em desenvolver uma solução de visão computacional que auxilie o agricultor no controle de plantas invasoras na cultura de soja a partir de imagens capturadas por veículos aéreos não tripulados, pois, estas plantas podem ser prejudiciais para a produtividade e qualidade da soja.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma solução de visão computacional para gerar mapas de aplicação de herbicida para controle de plantas daninhas na cultura de soja a partir de imagens capturadas por veículos aéreos não tripulados.

2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Aprofundamento e atualização da revisão de literatura;
- ✓ Construção de um banco de imagens de plantas invasoras em lavoura de soja;
- ✓ Identificação e classificação de plantas invasoras por espécie;

- ✓ Determinação dos melhores parâmetros técnicos para a identificação e classificação das plantas invasoras;
- ✓ Implementação do módulo de geração de mapas de aplicação de herbicida para controle de plantas invasoras.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Será apresentada uma breve revisão de literatura, sendo que na versão final do projeto constará todo o estado da arte.

3.1 Plantas invasoras

As plantas invasoras, também chamadas de ervas daninhas, invasoras e plantas daninhas, são conceituadas como plantas indesejadas que crescem em ambientes agrícolas de forma espontânea, competindo diretamente pelos mesmos recursos que a cultura planta, para fins comerciais, necessita ao seu desenvolvimento. Portanto, dependendo do nível de infestação da planta invasora, a plantação pode sofrer prejuízos como diminuição da qualidade e produtividade (VOLL et al., 2005).

Rizzardi e Fleck (2004) trazem como possíveis prejuízos para a lavoura à perda de qualidade pela manifestação de pragas, doenças e impurezas decorrentes da colheita. Os autores complementam a diminuição da produtividade em decorrência da competitividade das plantas por luz, água, nutrientes e espaço, aumentam os custos de produção e diminuindo o valor da lavoura.

Voll e colaboradores (2005) realizaram um levantamento nas lavouras de Soja do Brasil, e identificaram como invasoras mais frequentes nesta cultura as seguintes plantas:

- 1) gramíneas: capim-custódio (*Pennisetum setosum*), c-marmelada (*Brachiaria plantaginea*), braquiária (*B. decumbens*), c.-carrapicho (*Cenchrus echinatus*), c.-colchao (*Digitaria spp.*) e trapoeraba (*Commelinabenghalensis*).
- 2) folhas largas: carrapicho-rasteiro (*Acanthospermum australe*), picao-preto (*Bidens pilosa*), corda-de-viola (*Ipomoea spp.*), amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*), caruru (*Amaranthus spp.*), erva-quente (*Spermacoce latifolia*), joa (*Solanum spp.*), falsa-serralha (*Emilia sonchifolia*), guanxuma (*Sida rhombifolia*), poaia-branca (*Richardia*

brasilienses), cheirosa (*Hyptis suaveolens*), mentrasto (*Agetarum conizoides*) e o desmodio (*Desmodium tortuosum*).

No estado do Mato Grosso do Sul, de acordo com dados do projeto SIGA MS (Famasul, 2014), as plantas daninhas de maior incidência na safra 2014/2015 foram a buva (*Conyza bonariensis*), capim amargoso (*Elionurus candidus*), carrapicho (*acanthospermum australe*) e picao preto (*Bidens pilosa*). Destas, a buva e o capim amargoso tiveram maior incidência nas lavouras da região. Na figura abaixo temos à esquerda trechos da plantação de soja com utilização de herbicida e a direita sem utilização, ficando visível a presença da planta invasora c-marmelada (*Brachiaria plantaginea*).

Figura 1 – Plantação de soja com e sem aplicação de herbicida



Fonte: Grupo Invoisão, 2016.

3.2 Agricultura de precisão

Agricultura de precisão pode ser definida como “aplicar o tratamento correto no lugar certo na hora certa” (Gebbers, Adamchuk, 2010).

Para Zhang e Kovacs (2012), a agricultura de precisão pode ser definida como a aplicação de técnicas e sensores geoespaciais (sistemas de informação geográfica ou GPS), capazes de fornecer informações sobre as variações no ambiente agrícola, para que os interessados possam definir suas estratégias de produção e manejo.

Bongiovanni e Lowenberg-Deboer (2014), afirma que a utilização da agricultura de precisão busca torna eficiente a produção e aumentar a qualidade dos produtos agrícolas, além de minimizar os riscos e impactos ambientais das intervenções humanas e variações causadas pela imprevisibilidade da natureza. Os autores destacam que estes benefícios da agricultura de precisão para o

ambiente são obtidos porque possibilita a identificação precisa dos alvos que necessitam de insumos.

A aplicação da agricultura de precisão tem está sendo possível pela evolução tecnológica e gerencial que nos últimos anos tem alcançado grandes avanços como a miniaturização do Sistema Global de Navegação por Satélite (Global Navigation Satellite System – GNSS) do qual o GPS é o mais utilizado atualmente, além do acesso a informação e softwares de gerenciamento rural pelos agricultores (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2014).

Para Zhang et al. (2012), outro fator que tem corroborado para auxiliar os agricultores na gestão e monitoramento de suas plantações são as imagens obtidas por VANTs, pois, além de fornecer imagens em alta resolução como as capturadas por satélite, apresenta baixo custo e alta flexibilidade na aquisição de imagens se comparado com os satélites, aviões, e outros.

Peña-Barragán et al. (2012) descreveram em seu trabalho que as principais vantagens de se utilizar VANTs ao invés das tecnologias tradicionais, são a obtenção de imagens com resolução suficiente para que seja possível diferenciar o solo, as faixas de cultura e as plantas invasoras, sendo crucial para a identificação das plantas invasoras nos primeiros estágios da cultura.

3.3 Veículos Aéreos Não Tripulados na agricultura

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), mais conhecidos como drones, são aeronaves capazes de serem operadas por controle remoto ou autonomamente. Também são conhecidos como Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Uninhabited Aerial Vehicles e Unnamed Aircraft Systems (UASs). O conceito de construir aeronaves não tripuladas para aplicações diversas surgiu, inicialmente, em virtude de necessidades militares (CHAVES ET AL., 2012).

Os primeiros testes com aeronaves não tripuladas datam de 1916, porém, somente em 1917 durante a Primeira Guerra Mundial, o primeiro VANT foi desenvolvido. Contudo, a era moderna dos VANTs só teve início em 1970, e só passou a ser buscada após as operações do VANT Pioneer em 1991, com mais de 300 missões na operação tempestade no deserto (CHAVES ET AL., 2012).

Segundo Longhitano (2010), o uso dos VANTs por cientistas e civis só foi possível porque os avanços tecnológicos nos setores de processamento de dados e miniaturização de componentes eletrônicos ocorridos nas últimas duas décadas, possibilitaram aos VANTs oferecerem vantagens técnicas e econômicas nas mais diversas áreas, através da execução dos mais variados tipos de missão sem colocar em risco a vida do piloto ou operador de câmera além da redução de custos para obtenção de imagens com maior flexibilidade e resolução (LONGHITANO, 2010).

Agora será apresentando alguns trabalhos que mostram o crescimento da utilização de VANTs na agricultura.

Primicerio et al. (2012), utilizaram um VANT modelo VIPtero no auxílio a aplicação direcionada da agricultura de precisão em um vinhedo na Itália Central. Como conclusão do seu trabalho, eles apontaram que a aplicação da tecnologia no setor da agricultura pode melhorar significativamente a eficiência, sustentabilidade ambiental e os lucros do agricultor. Também afirmam que embora melhorias sejam necessárias, os resultados preliminares foram animadores.

Peña-Barragán et al. (2012), utilizaram imagens da nova geração de VANTs para o controle de ervas daninhas em plantações de milho. O objetivo desta pesquisa era distinguir pequenas mudas de plantas daninhas para tratar com herbicida específico, através de imagens obtidas pelos VANTs. Seus resultados que os VANTS além de conseguirem operar em baixas altitudes capturando imagens em alta resolução, também são mais econômicos e eficientes quando comparados com os aviões convencionais ou satélites.

Swain et al. (2010) também realizou um estudo utilizando VANTs na agricultura, sendo que o modelo era um helicóptero não tripulado controlado por rádio com sensores remotos de baixa altitude para obter imagens de alta resolução, a fim de estimar área e biomassa total de plantações de arroz. O estudo concluiu que o uso dos VANTs na aquisição de imagens para a agricultura de precisão pode substituir os satélite ou aviões convencionais com eficiência e baixo custo/risco.

3.4 Visão computacional

Prince (2012) define o objetivo da Visão Computacional (VC) como a extração de informação útil das imagens. Esta tarefa tem se demonstrado surpreendentemente desafiante, tendo ocupado centenas de mentes criativas nas últimas quatro décadas.

De acordo com Shapiro e Stockman (2000), o objetivo da VC é tornar possível a toma de decisão com informações de objetos físicos e cenas reais obtidas em imagens. Para isso, quase sempre necessitamos de alguma descrição ou modelo a partir das imagens.

Portanto, muitos estudiosos podem dizer que o objetivo da Visão Computacional é a construção modelo descritos a partir de imagens.

A Visão Computacional busca assim como os seres humanos e os animais, ver o mundo a partir de imagens e reconstruir suas propriedades como forma, iluminação e distribuição de cor, para realizarem suas tarefas do dia a dia com facilidade (SZELISKI, 2010).

A Visão Computacional ou Visão de Máquina está relacionada a inúmeras outras áreas que buscam desenvolver técnicas para obter informações utilizando imagens. Jain, Kasturi e Schuck (1995) citam o Processamento de Imagens, a Computação Gráfica, o Reconhecimento de Padrões e a Inteligência Artificial como áreas que contribuem com técnicas úteis à Visão Computacional.

Prince (2012) comenta que a Visão Computacional vem obtendo grandes avanços na última década devido ao desenvolvimento de tecnologias relacionadas à área para o consumidor. Um exemplo são as câmeras digitais com algoritmos embutidos para reconhecimento de face.

Outro fato importante é que VC é considerada uma técnica de inspeção rápida, econômica e consistente, sendo estes alguns dos motivos de sua expansão para as mais diversas indústrias (BROSNAN; SUN, 2002).

Diante disso, a Visão Computacional surge como uma alternativa para auxiliar os agricultores no gerenciamento de suas plantações, pois, esta área pode automatizar de tarefas, onde sensores óticos realizam um papel importante, como

detecção de pragas e doenças nas lavouras, análise de comportamento animal, orientação de máquinas, silvicultura e outros (BROSNAN; SUN, 2002).

4. METODOLOGIA

Para cada um dos objetivos específicos listados na Seção 2.2 são apresentados os aspectos metodológicos que nortearão a execução da proposta.

4.1 Aprofundamento e atualização da revisão de literatura

Serão realizadas consultas as principais bases de dados e portais de periódicos mundiais, como Periódicos da CAPES, Science Direct, Scopus, Web of Science e IEEE, para identificar artigos correlatos às áreas de Visão Computacional, VANTs e Agricultura de Precisão. Estes artigos serão analisados e revisados para a construção do primeiro capítulo deste trabalho.

4.2 Construção de um banco de imagens de plantas invasoras em lavoura de soja

Um banco de imagens das principais plantas invasoras da cultura da soja será construído, utilizando um VANT DJI Phantom 3 Professional, com peso de 1.280 gramas e velocidade máxima de 16 m/s. Tem autonomia de voo de aproximadamente 23 minutos. O equipamento está equipado com uma câmera Sony EXMOR 1/2.3", 12.4 M (total de pixels: 12.76 M), lente FOV 94° 20 mm, suportando os formatos de arquivo FAT32/exFAT, JPEG, DNG, MP4 e MOV (MPEG-4AVC/H.264). Possui também um gimbal com estabilização nos 3 eixos e suporte a Micro SD com capacidade máxima de 64 GB. As imagens serão capturadas no formato .DNG, sob diferentes alturas, em visitas de campo em uma fazenda de Mato Grosso do Sul, durante a safra de setembro de 2017 a janeiro de 2018.

Com apoio do especialista da área agrônômica que é membro da equipe do projeto, cada imagem será classificada, construindo assim, um conjunto de referência para análise de desempenho estatístico. O banco de imagens será publicado através do website do projeto, disponível em: www.gpec.ucdb.br/inovisao. Exemplos de imagens similares às que serão utilizadas neste projeto podem ser vistas na Figura 2.

Figura 2 – Imagem de uma lavoura de soja



Fonte: Grupo Inovisão, 2016.

Cabe ressaltar que atualmente já há um banco de imagens construído a partir de fotografias tiradas de uma plantação experimental na fazenda São José, em uma área de um hectare. Este experimento foi feito para ser utilizado por vários projetos do grupo VANTAGRO, que envolvem pesquisas visando à solução de diversos problemas que ocorrem na soja. O banco está disponibilizado através de link citado anteriormente.

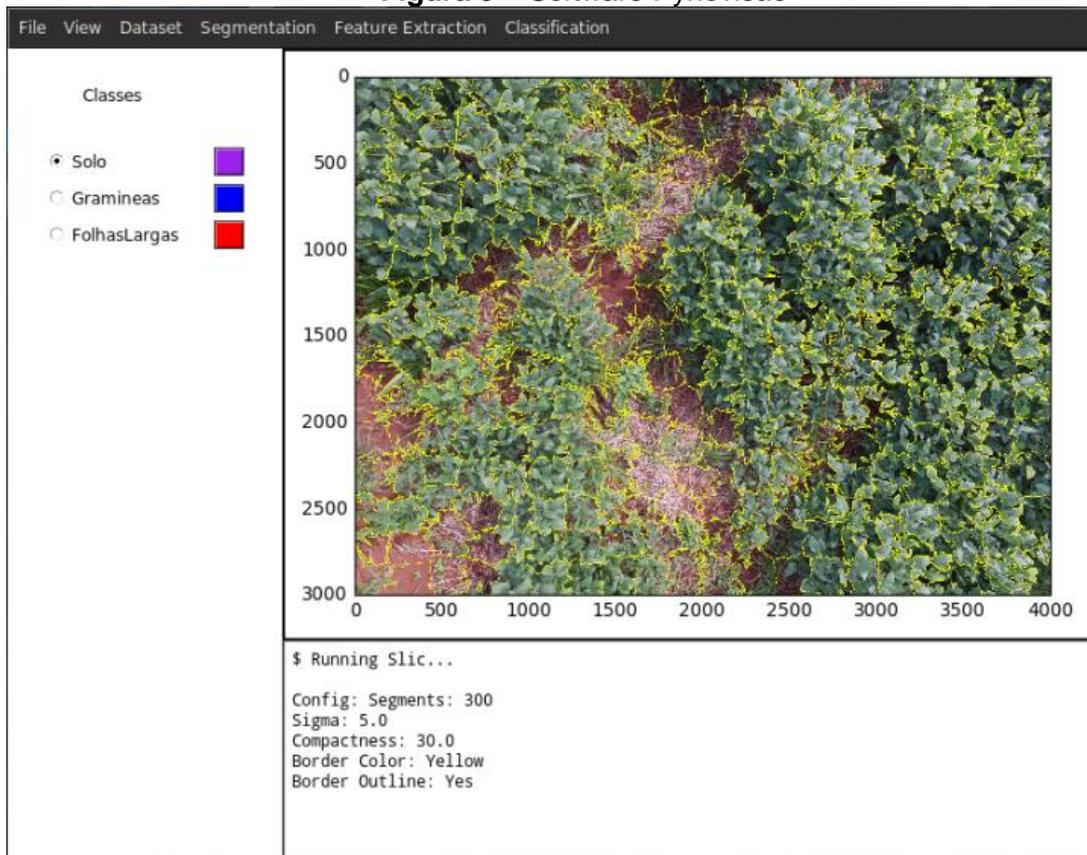
4.3 Identificação e classificação das plantas daninhas por espécie

Para a identificação e classificação das plantas daninhas por espécie será utilizado o software Pynovisão que foi desenvolvido em Linguagem Python versão 2.7.6, tendo como apoio o pacote para Visão Computacional OpenCV (BRADSKI, 2000) versão 2.4 e o software Weka versão 3.8. Este software foi desenvolvido pelo grupo INOVISÃO, seguindo as regras definidas pelo grupo, disponíveis no site deste¹. A metodologia de desenvolvimento deste software teve como base o SCRUM (SIMS; JOHNSON, 2011), sendo todo o material produzido sob controle de versões com a ferramenta SubVersion². O padrão de documentação de código é baseado no JavaDoc. Uma imagem do software pode ser observada na Figura 3.

¹ O site do INOVISAO está em www.gpec.ucdb.br/inovisao e as instruções para desenvolvedores pode ser acessada através do link “trac”, neste mesmo site, ou diretamente em trac.gpec.ucdb.br.

² O software de controle de versões subversion é apresentado em <http://subversion.apache.org/>.

Figura 3 – Software Pynovisão



Fonte: autor (2017)

Esta etapa é composta por quatro fases: (1) segmentação, (2) formação do banco de imagens de treinamento, (3) extração de atributos e (4) classificação das plantas invasoras.

4.4 Determinação dos melhores parâmetros técnicos para a classificação das plantas daninhas por espécie

Os parâmetros ideais para a classificação de espécies de plantas invasoras neste trabalho serão: altura de captura da imagem, número de imagens por banco de treinamento do software, área representada pela foto, atributos mais importantes para a classificação correta das plantas daninhas e plano amostral para determinação do plano de voo do VANT.

Para validação dos parâmetros serão utilizados os resultados do sistema Pynovisão em combinação com os algoritmos de classificação supervisionada escolhidos, sendo comparados entre si em relação ao desempenho obtido nas métricas de precisão, abrangência, medida-F, área sob a curva ROC, tempo de processamento e taxa de acerto ajustadas para problemas com mais de duas

classes. Como técnica de amostragem será adota a validação cruzada de 10 dobras com 10 repetições disponível no software Weka³ versão 3.8 (HALL et al., 2009).

Para todas as métricas será realizado um pós-teste e os diagramas de caixa (boxplot) e valores-p dois a dois resultantes serão analisados a partir de uma linha estatística descritiva.

Para identificar se os algoritmos testados diferem estatisticamente em relação ao desempenho, considerando-se cada uma das métricas, serão utilizados o teste não-paramétrico proposto por Friedman (1940) e análise de variância (ANOVA), ambos disponíveis no software estatístico R⁴, versão 2.14.1, com cada bloco correspondendo uma classe do problema. Serão reportados os valores-p encontrados para cada métrica e o nível de significância necessário para descartar a hipótese nula.

4.5 Implementação do módulo de geração de mapas de aplicação de herbicida para controle de plantas daninhas

Para o módulo de geração de mapas de aplicação de herbicida para controle de plantas daninhas na lavoura de soja, os resultados do sistema Pynovison serão trabalhados em uma plataforma de sensoriamento remoto.

5. CRONOGRAMA

Descrição	2017-2020 (Trimestral)												
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	
Atividade 1.: Aprofundamento e atualização da revisão de literatura	X	X											
Atividade 2.: Construção de um banco de imagens de plantas invasoras em lavoura de soja			X	X									
Atividade 3.: Identificação e classificação das plantas invasoras por espécie					X	X	X	X					
Atividade 4.: Determinação de melhores parâmetros para a classificação das plantas invasoras por espécie					X	X	X	X					
Atividade 5.: Implementação do módulo de geração de mapas de aplicação de herbicida para controle de plantas daninhas			X	X	X	X							

³ O Weka é um software livre e gratuito disponível em <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.

⁴ O software R está disponível em <http://www.r-project.org/>. Para o teste de Friedman com análise post-hoc é necessário instalar o software Gnu-R.

REFERÊNCIAS

BONGIOVANNI, Rodolfo; LOWENBERG-DEBOER, Jess. Precision agriculture and sustainability. **Precision agriculture**, v. 5, n. 4, p. 359-387, 2004.

BRADSKI, G. The OpenCV Library. **Dr. Dobb's Journal of Software Tools**, 2000.

BROSNAN, Tadhg; SUN, Da-Wen. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems—a review. **Computers and electronics in agriculture**, v. 36, n. 2, p. 193-213, 2002.

CHAVES, A. N.; CUGNASCA, Paulo J.; J NETO, J. BUSCA ADAPTATIVA COM MÚLTIPLOS VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTS). **Revista de Sistemas e Computação-RSC**, v. 2, n. 1, 2012.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA. **PIB e Performance do Agronegócio**. 06 de dezembro de 2016. Disponível em <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-12/cna-preve-expansao-de-2-do-agronegocio-em-2017>. Acessado em 08/04/2017.

Famasul. Disponível em <<http://famasul.com.br/public/area-produtor/5577-informativoagricultura-dezembro-2014-edicao-n-2.pdf>>. Acesso em 24/06/2015.

FRIEDMAN, Milton. A comparison of alternative tests of significance for the problem of m rankings. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 11, n. 1, p. 86–92, 1940.

GEBBERS, Robin; ADAMCHUK, Viacheslav I. Precision agriculture and food security. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 828-831, 2010.

HALL, M.; FRANK, E.; HOLMES, G.; PFAHRINGER, B.; REUTEMANN, P.; WITTEN, I. H. The WEKA Data Mining Software: An Update. **SIGKDD Explorations**, v. 11, n. 1., 2009.

HOLLANDER, Myles; WOLFE, Douglas A. **Nonparametric Statistical Methods**. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons, 1999.

JAIN, Ramesh; KASTURI, Rangachar; SCHUNCK, Brian G. **Machine vision**. New York: McGraw-Hill, 1995.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PEÑA-BARRAGAN, José Manuel et al. Object-based approach for crop row characterization in UAV images for site-specific weed management. **Proceedings of the 4th GEOBIA, Rio de Janeiro, Brazil**, p. 426-430, 2012.

PRIMICERIO, Jacopo et al. A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 517-523, 2012.

PRINCE, Simon JD. **Computer vision: models, learning, and inference**. Cambridge University Press, 2012.

RIZZARDI ,Nilson Gilberto; FLECK, Mauro Antônio. Métodos de quantificação da cobertura foliar da infestação de plantas daninhas e da cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 34, n. 1, 2004.

SHAPIRO, Linda; STOCKMAN, George C. **Computer vision**. 2001. ed: Prentice Hall, 2001.

SIMS, C.; JOHNSON, H. L. **The Elements of Scrum**. Dymaxicon, 2011.

SWAIN, Kishore C. et al. Adoption of an unmanned helicopter for low-altitude remote sensing to estimate yield and total biomass of a rice crop. **Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)**, v. 53, n. 1, p. 21, 2010.

SZELISKI, Richard. **Computer vision: algorithms and applications**. Springer Science & Business Media, 2010.

VOLL, Elemar et al. **A dinâmica das plantas daninhas e práticas de manejo**. Embrapa Soja, 2005.

ZARCO-TEJADA, Pablo J.; HUBBARD, N.; LOUDJANI, P. Precision Agriculture: An Opportunity for EU Farmers—Potential Support with the CAP 2014-2020. **Joint Research Centre (JRC) of the European Commission**, 2014.

ZHANG, Chunhua; KOVACS, John M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision agriculture**, v. 13, n. 6, p. 693-712, 2012.