



**+*UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

IDENTIFICAÇÃO DA MUCUNA PRETA EM CANAVIAIS COM A UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

Marcos Henrique Theodorovicz

Trabalho de conclusão de curso (TCC), apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof.º Luiz Carlos Pittol Martini

Florianópolis – SC
2022

IDENTIFICAÇÃO DA MUCUNA PRETA EM CANAVIAIS COM A UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

RESUMO

Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) são equipamentos empregados na obtenção de imagens do terreno com alta resolução espacial. Entre as aplicações desta tecnologia, vem adquirindo importância agrônômica a identificação da presença e distribuição espacial de espécies indesejadas em cultivos extensivos. Neste estudo de caso, apresenta-se o uso de um algoritmo para identificação da mucuna preta (*Mucuna aterrima*) em canaviais. O algoritmo utiliza como entrada de dados os índices de vegetação denominados Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) e Índice Triangular Verde (TGI). Esses índices são computados a partir de imagens do espectro do visível obtidas por VANTs. O algoritmo foi aplicado em uma área-teste com produção de cana-de-açúcar localizada entre os municípios de Paulínia e Holambra (SP). A aplicação do algoritmo mostrou resultados promissores para mapeamento da distribuição de mucuna preta em canaviais. Em associação com técnicas de aplicação de insumos em taxa variável, o resultado final do mapeamento da mucuna preta em canaviais pode reduzir significativamente os custos de aquisição de herbicidas usados no controle dessa espécie e também reduzir os custos operacionais de aplicação. A otimização do uso de herbicidas proporcionada pelo mapeamento de plantas indesejáveis por VANTs pode ocasionar redução dos danos ambientais implicados no uso de agrotóxicos.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Automação agrícola. Monitoramento espacial.

INTRODUÇÃO

A agroindústria canavieira apresenta grande expressão para a economia interna brasileira e para as exportações nacionais. Estima-se que na safra 2020/2021 tenham sido colhidas cerca de 654 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), destinadas tanto à produção de açúcar como de biocombustíveis (CONAB, 2022). Em nível mundial, os países que dominam a produção são Brasil, China e Índia, sendo que a agroindústria brasileira é responsável por 36% das exportações mundiais de açúcar (VIDAL, 2021).

No Brasil, o setor do agronegócio vem crescendo em taxas elevadas e seu PIB cresceu 10,8% em 9 meses e que representa quase 1/3 do PIB nacional (CEPEA, 2021). Nas últimas décadas e esse crescimento demanda cada vez mais o uso de tecnologias voltadas ao aumento da produtividade e à redução de custos financeiros e socioambientais. As principais alternativas tecnológicas disponíveis envolvem o uso de variedades melhoradas, a automação e a agricultura de precisão, a qual pode ser baseada tanto no uso de imagens de satélite, como de imagens obtidas por VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados), também conhecidos como *drones*. A projeção do crescimento da agricultura de precisão já é uma realidade, a projeção indica o crescimento até 2025 do setor com uma receita de US\$ 12,8 bi, atingindo um crescimento de 82,8%. Cerca de 84 % dos produtores brasileiros já utiliza alguma ferramenta de agricultura de precisão (Agroplanning., 2020).

Em virtude do seu rápido crescimento e utilização nos cultivos brasileiros, os VANTs vêm sendo cada vez mais utilizados para coleta de dados no campo e são utilizados em inúmeras culturas como soja, cana-de-açúcar, milho, silvicultura, entre outros. Dependendo do modelo, existem VANTs voltados à aplicação controlada de insumos, ao georreferenciamento, ao mapeamento aéreo e outros tipos de coletas de dados espaciais. Como são capazes de cobrir grandes áreas em espaço de tempo relativamente curto e obter imagens com alta resolução espacial, os VANTs possibilitam obter informações mais assertivas sobre determinada área de interesse.

Em termos de contribuição para o aumento na produtividade de cana-de-açúcar, a agricultura de precisão pode auxiliar no manejo fitossanitário em todos os estágios da cultura, seja reduzindo os custos das aplicações, facilitando as operações de campo, auxiliando no planejamento das lavouras e apoiando a tomada de decisão do dia-dia. Entre algumas das possibilidades correntes, estão a aplicação de insumos em taxa variável, o plantio e a colheita automatizados por GPS de alta acurácia e a identificação da ocorrência e distribuição de plantas indesejáveis nas lavouras.

Com respeito às plantas indesejáveis, atualmente, a mucuna preta (*Mucuna aterrima*) vem afetando a condução dos plantios e o manejo de cana-de-açúcar em diversas áreas produtoras. Essa espécie geralmente é utilizada como adubo verde, mas durante seu crescimento e desenvolvimento ela se comporta como uma trepadeira. Dessa forma, a mucuna preta desenvolve suas flores e sementes na parte superior das plantas de cana-de-açúcar, competindo por luz e nutrientes. Além disso, devido à biomassa produzida, pode ocasionar o acamamento das plantas. Estima-se que a mucuna preta ocasione perdas em até 40 % na produtividade dos canaviais (CANASVIEIROS, 2022). Outro ponto a ser considerado é a resistência e a alta capacidade de disseminação dessa espécie, pois suas sementes podem ficar no solo sem germinar por até 10 anos e serem facilmente transportadas pelo maquinário agrícola.

O objetivo desse estudo foi a aplicar VANTs em áreas de cultivo de cana de açúcar para avaliar a presença e distribuição de mucuna preta nos canaviais, proporcionando um melhor controle dessa planta indesejável e realizando um melhor manejo da área de interesse.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização experimental

A área de estudo possui em torno de 128 hectares e fica localizada entre os municípios de Paulínia e Holambra, no Estado de São Paulo (Figura 1). O mapeamento das áreas de cana-de-açúcar foi obtido a partir de imagens coletadas por um VANT (Veículo Aéreo Não-Tripulado). Embora o termo *drone* também seja utilizado como sinônimo, neste trabalho utilizou-se preferencialmente o termo VANT.

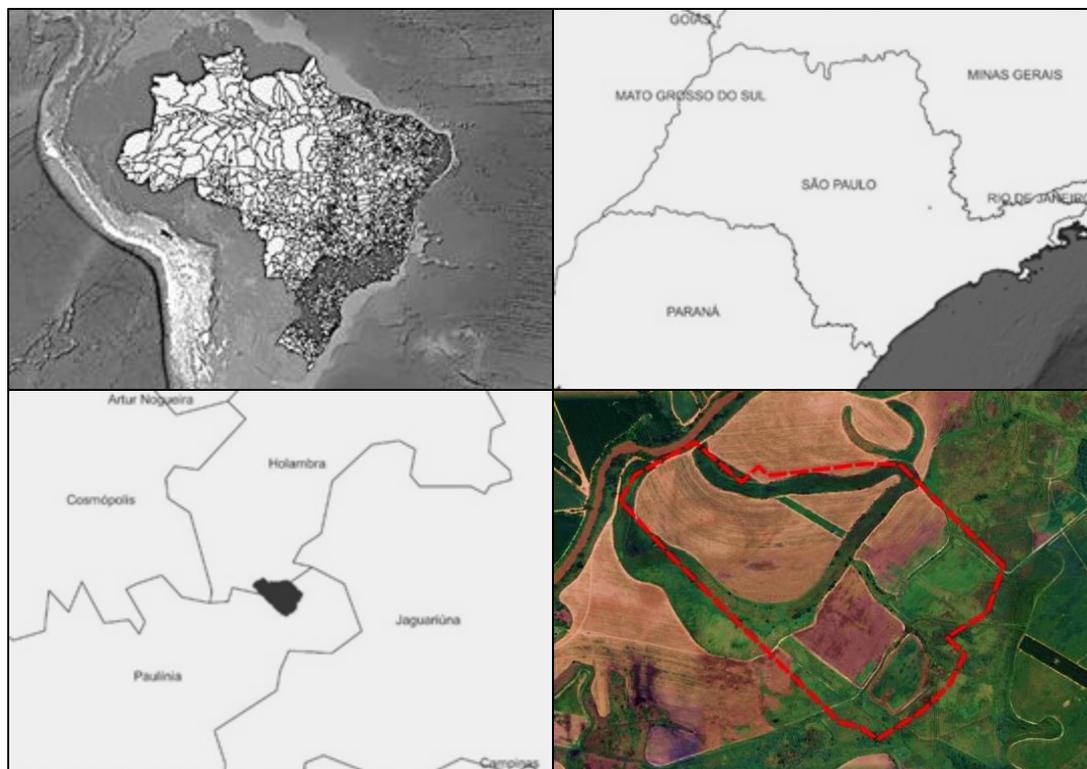


Figura 1. Localização e limites da área-teste utilizada para avaliação da presença e distribuição da mucuna preta (*Mucuna aterrima*) em lavoura de cana de açúcar. Fonte: Elaborada pelo autor (2022). Mas essas imagens saíram de algum lugar (fonte) o modo como foi colocado aqui, foi pelo autor. Colocar a fonte, ou seja, origem das fotos.

O trabalho realizado na área de interesse consistiu basicamente em três etapas, primeiramente foi utilizado um VANT para coleta das imagens, posteriormente foi realizado o processamento das imagens obtidas e, por fim, a utilização de um algoritmo especializado para detecção da mucuna preta na área de interesse.

Mapeamento com VANT

Foi utilizado o modelo *DJI multirrotor Mavic 2 Pro*, que possui um sensor de 20MP (5480×3648 pixels), com resolução de vídeo de 4K (3840×2160 24/25/30p), peso de 907 gramas, velocidade máxima de 72 km/h e autonomia de voo por bateria de cerca de 25 minutos (Figura 2). Foi necessário realizar dois voos com o VANT na área de interesse para que pudesse mapear a área total do estudo.

O mapeamento foi realizado com a cultura com cerca entre 1,2 m e 1,5 metros, assim proporcionando a melhor qualidade na coleta de imagens pelo desenvolvimento tanto da cana como da mucuna preta.



Figura 2. Imagem ilustrativa do VANT DJI Mavic 2 Pro.

O uso de VANTs requer um aplicativo (*software*) para traçar o plano de voo, requisito para automação do percurso a ser realizado pelo equipamento. Em um plano de voo deverão ser informadas a percentagem de sobreposição lateral e frontal das tomadas, configuradas com base na altitude relativa do equipamento em relação à superfície do terreno e com as características do relevo. A Figura 3 sintetiza as sobreposições na tomada das imagens e o procedimento adequado para iniciar um voo.

Devido à distribuição mais uniforme da luz, as melhores condições para realizar um voo de mapeamento são dias de sol pleno ou completamente nublados. Para essas condições existem duas opções possíveis de balanço de branco para configurar a captura de imagens pelos VANTs: 5600K, para dias ensolarados, e 7000K para dias completamente nublados. Os valores 5600K e 7000K referem-se à temperatura da cor, uma propriedade da luz branca. A configuração adequada para as condições de luz reinantes no dia de trabalho minimiza falhas do sensor na captura das cores efetivas da área de interesse.

O plano de voo deste estudo de caso foi realizado no *software Pix4dcapture* (PIX4D, 2022). A Figura 4 exibe uma das interfaces do software e a configuração de voo para a área de interesse deste estudo. Para obtenção das imagens foi utilizado o VANT em uma altitude relativa de 120 metros e sobreposição frontal e lateral de 80% e 75%, respectivamente. Ao todo, foram coletadas 540 imagens parciais da área de estudo. A Figura 5 exibe um relatório gerado pelo software com os detalhes do voo.

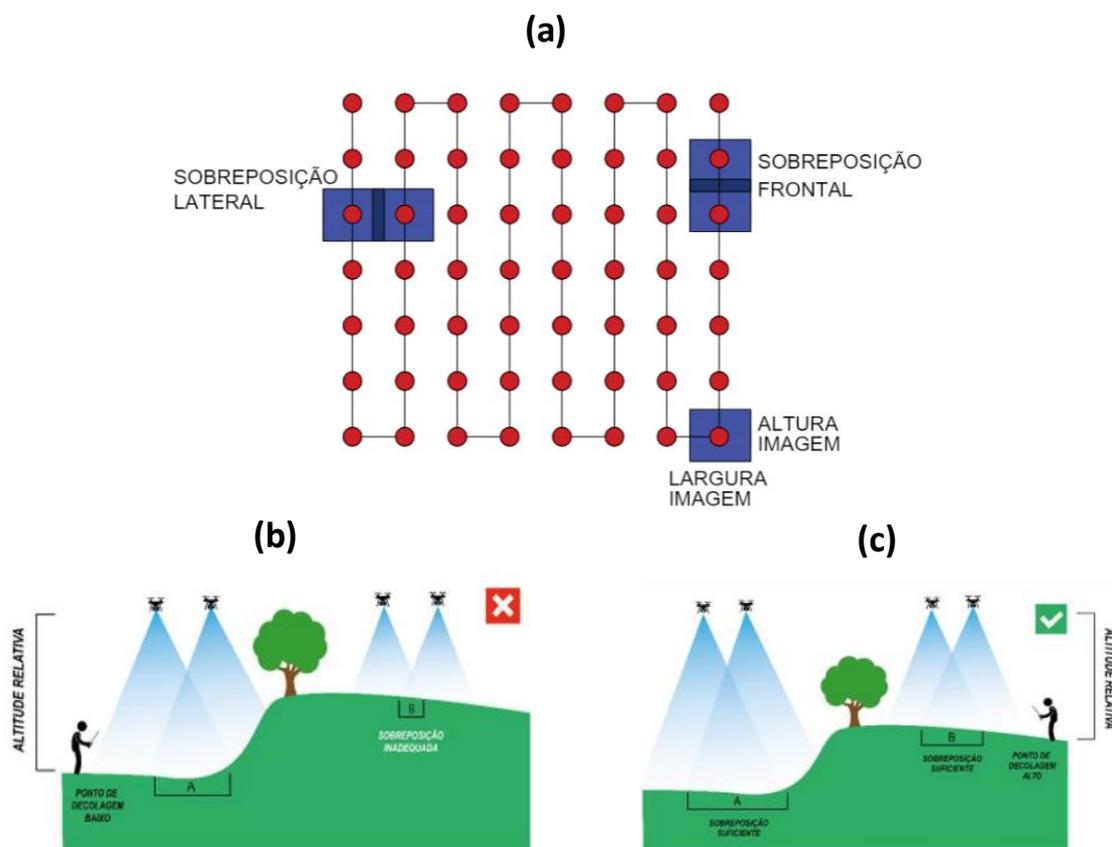


Figura 3. (a) Parâmetros básicos de entrada para um plano de voo de um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado). (b) Ponto de decolagem que ocasiona sobreposição lateral inadequada. (c) Ponto de decolagem que determina sobreposição lateral suficiente. Fonte: Autor.

Processamento das imagens

Após a obtenção a campo das imagens, estas foram processadas, visando a reconstrução dos dados de acordo com seu tipo, normalmente a geração de um ortomosaico (no caso de reconstrução de imagens) ou geração de um modelo digital de superfície (MDS), no caso do levantamento do relevo. O software de linguagem aberta utilizado para realizar a geração do ortomosaico e do modelo digital de superfície foi o *OpenDroneMap* (OpenDroneMap, 2022).

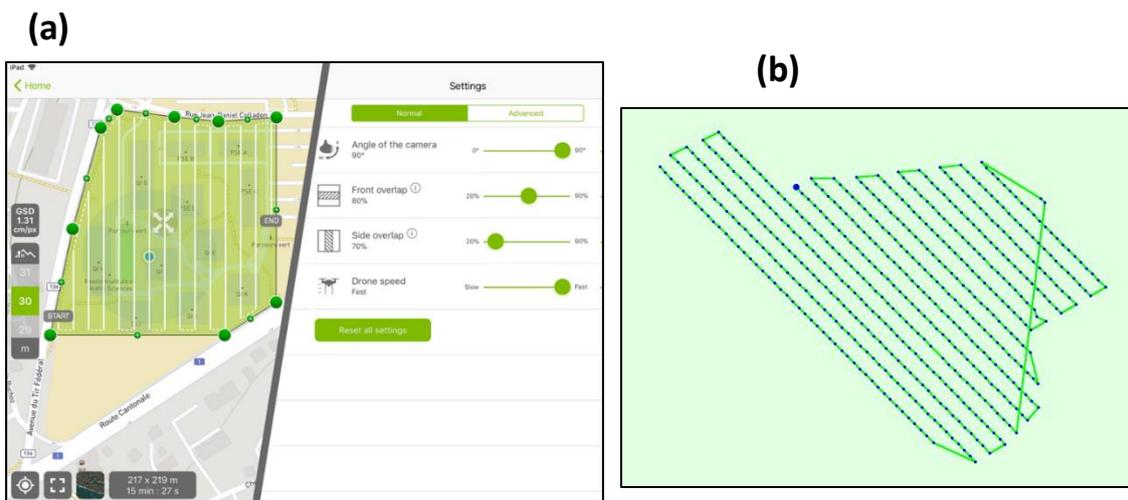


Figura 4. (a) Interface de configuração do plano de voo no software *Pix4d Capture*. **(b)** Configuração de voo para uma área de interesse. Fonte: Autor.

A obtenção dos produtos do processamento de imagens envolve três etapas principais:

- A primeira etapa realizada é chamada de fototriangulação, técnica fotogramétrica que determina as coordenadas do terreno em relação a um referencial de terreno. O resultado final é a geração da nuvem de “tie points” ou pontos fotogramétricos, cuja função é materializar o sistema de coordenadas do terreno. É o produto básico para geração da nuvem de pontos densificados do modelo 3D, cuja função é servir de amarração entre as ortofotos e geração do mosaico final (Figura 5).
- A segunda etapa é densificar a nuvem de pontos gerada no processo anterior. Basicamente, o *software* irá aumentar a quantidade de pontos na nuvem de pontos, diminuindo a quantidade de espaços vazios e representando melhor a área mapeada. Este produto é usado para gerar o MDS (Figura 6).
- A terceira etapa consiste na geração do ortomosaico pelo processo de ortorretificação das imagens, quando as feições das imagens são projetadas ortogonalmente em escala constante, não apresentando os deslocamentos devidos ao relevo e à inclinação da câmera. Após o processamento é gerado o controle de qualidade do processamento de imagem contendo todos os dados de coleta de imagens, tempo de voo, tempo de processamento, todos os dados gerados contendo sua calibração e câmera, precisão e acurácia. (Figura 7).



Figura 5. Ortomosaico da área de estudo, localizada entre os municípios de Paulínia e Holambra (SP). Fonte: Autor.

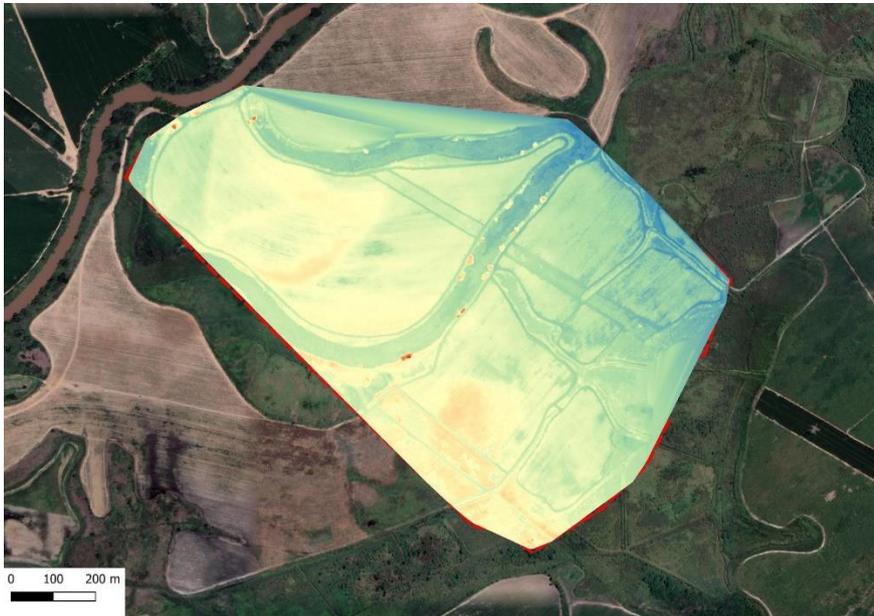


Figura 6. Modelo digital de superfície (MDS) da área de estudo, localizada entre os municípios de Paulínia e Holambra (SP). Fonte: Autor.

Quality Report	
Processed with version 2.8.4	
Dataset Summary	
Date	29/06/2022 at 03:32:50
Area Covered	1.283659 km ²
Processing Time	1.0h:52.0m:23.0s
Capture Start	30/04/2022 at 12:10:41
Capture End	30/04/2022 at 13:11:59
Processing Summary	
Reconstructed Images	498 over 540 shots (92.2%)
Reconstructed Points (Sparse)	244498 over 282676 points (86.5%)
Reconstructed Points (Dense)	7,182,752 points
Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.2 cm
Detected Features	10,353 features
Reconstructed Features	1,074 features
Geographic Reference	GPS
GPS errors	7.88 meters

Figura 7. Relatório gerado pelo software Pix4d Capture com as especificações de voo sobre uma área de interesse. Fonte: Autor.

Algoritmo para detecção da mucuna preta

O passo seguinte ao processamento das imagens foi utilizar um algoritmo inteligente para identificação e localização da mucuna preta na área. Neste trabalho, testou-se um algoritmo com base em dois índices de vegetação, gerados a partir das imagens processadas da área de interesse.

O primeiro índice testado, chamado de Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) (MAPPA, 2020), baseia-se no uso de sensores que operam na faixa visível do espectro eletromagnético e combina as respostas nas bandas do azul, verde e vermelho (RGB). Em resumo, o VARI é uma medida que mostra o “quão verde” é uma imagem. As imagens RGB com o algoritmo VARI aplicado são mais utilizados para a detecção de áreas de estresse de colheita em lavouras. O VARI é calculado pela Equação 1.

$$VARI = \frac{(r_{green} - r_{red})}{(r_{green} + r_{red} + r_{blue})} \quad (1)$$

Em que:

VARI: Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível

r_{red} , r_{green} e r_{red} : respostas espectrais nas bandas do azul, verde e vermelho.

O segundo índice utilizado, conhecido como Índice Triangular Verde (TGI) (MAPPA, 2020), relaciona com o teor de clorofila presente na planta. A análise deste índice fornece dados para avaliar o estado nutritivo do cultivo. O TGI é calculado conforme a equação 2.

$$TGI = r_{green} - (0,39r_{red}) - (0,61r_{blue}) \quad (2)$$

Em que:

TGI: Índice Triangular Verde

r_{red} , r_{green} e r_{red} : respostas espectrais nas bandas do azul, verde e vermelho.

Os índices de vegetação VARI e TGI foram calculados por meio de ferramenta cálculo de camadas raster contidas no *software* QGIS (QGIS, 2022), inserindo as equações 1 e 2. Os dois índices foram extraídos a partir de um ortomosaico RGB e, em seguida, foi inserido um algoritmo desenvolvido para este trabalho especificamente, utilizando bibliotecas Python e GDAL (Geospatial Data Abstraction Library). Por questões de sigilo e para assegurar seus direitos exclusivos de propriedade intelectual, as especificações e os códigos do algoritmo não constam neste texto. Nas seções seguintes, os resultados foram expressados como obtidos pelo termo geral “algoritmo”. Para aplicação do algoritmo, selecionou-se um talhão com aproximadamente 3 hectares (Figura 8).

(a)



(b)



Figura 8. (a) Ortomosaico do canal da área de estudo. (b) Talhão selecionado para aplicação do algoritmo de detecção da mucuna preta baseado nos índices de vegetação VARI (Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível) e TGI (Índice Triangular Verde). Área localizada entre os municípios de Paulínia e Holambra (SP). Fonte: Autor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 9 mostram os principais resultados obtidos a partir da aplicação de algoritmo estruturado com base nos índices de vegetação VARI (Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível) e TGI (Índice Triangular Verde) para identificação da mucuna preta.

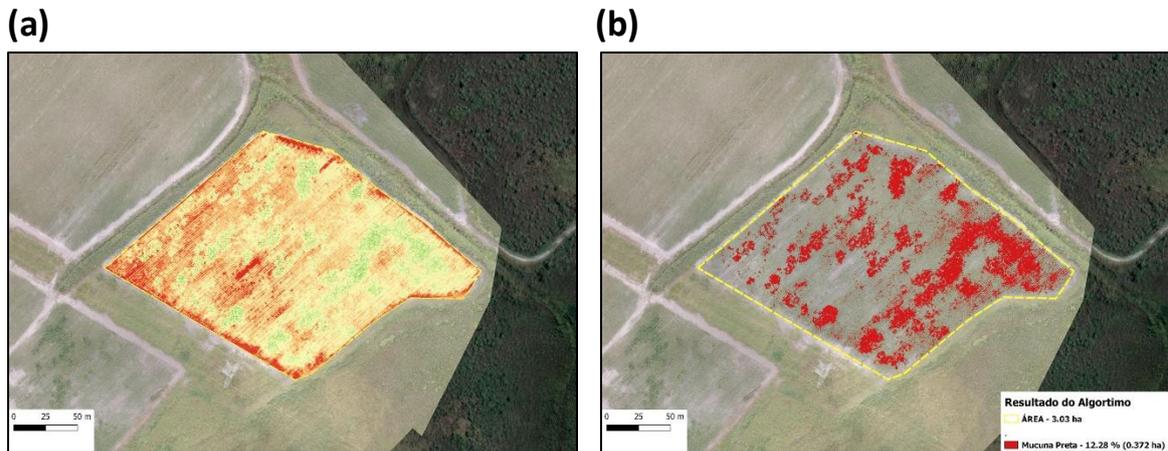


Figura 9. (a) Combinação dos índices de vegetação VARI (Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível) e TGI (Índice Triangular Verde) no talhão-teste do canavial. (b) Resultado da aplicação do algoritmo para detecção da mucuna preta. Fonte: Autor.

Como mostrado na Figura 9(b), o algoritmo identificou que o talhão avaliado apresentou cerca de 13 % da área ocupada com mucuna preta. Pode-se observar também que a espécie se distribuía por todo o talhão, mas com maior concentração em locais específicos devido à falta de manejo e cuidado com a disseminação da mucuna preta nas áreas mapeadas. A distribuição de plantas indesejáveis em uma área cultivada é o aspecto chave para controle químico utilizando taxas variáveis de aplicação de herbicidas. Portanto, os resultados do algoritmo indicam o potencial do uso de VANTs no mapeamento com alta resolução espacial das áreas de cultivo extensas. Além disso, deve-se notar que a aplicação de taxas variáveis de insumos agrícolas é uma das principais aplicações da agricultura de precisão.

A Figura 10 exibe detalhes da área de interesse após a aplicação do algoritmo. O algoritmo demonstrou eficácia na detecção da presença e distribuição da mucuna preta nos canaviais. Dessa forma, essa técnica permite realizar o mapeamento regular da lavoura alvo para posterior aplicação em taxa variável dos herbicidas recomendados para controle da infestação, além de indicar causas para possíveis redução da produtividade das lavouras, outro dos usos potenciais da agricultura de precisão.



Figura 10. Detalhe resultado da aplicação do algoritmo para detecção da mucuna preta em canal. Algoritmo baseado na combinação dos índices de vegetação VARI (Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível) e TGI (Índice Triangular Verde). A área de estudo localiza-se entre os municípios de Paulínia e Holambra (SP). Fonte: Autor.

A essência da agricultura de precisão é a otimização do uso de insumos na área de interesse resultando no aumento da produtividade em campo. Para essa finalidade, elaborou-se uma simulação de aplicação em taxa variável utilizando-se o algoritmo empregado neste estudo inserido no software QGIS. Para tanto, gerou-se uma grade na área de interesse com quadrícula de 3 metros de lado, de forma a estabelecer um limite para a precisão espacial do estudo. Na sequência, simulou-se a aplicação do herbicida Saflufenacil, recomendado para controle de mucuna preta nas proporções de 100% e 40% da dosagem recomendada. Os resultados são exibidos na Figura 11. As áreas simbolizadas em vermelho correspondem a maior concentração (ou maior biomassa) de mucuna preta no canal estudado e, dessa forma, receberiam a dosagem integral de herbicida. Por outro lado, as áreas simbolizadas em branco na Figura 11 correspondem à ausência ou baixa concentração de plantas de mucuna preta no talhão avaliado.

A diminuição na quantidade de herbicidas reduz custos da aquisição do insumo e de sua aplicação na lavoura. Em uma aplicação de dose única em período de pré-emergência se utiliza em média 200 l/ha de calda e em pós-emergência cerca de 250 l/ha. Ao implementar o uso da técnica de mapeamento da mucuna preta apresentada neste exemplo, pode-se obter uma redução de até 60% de calda, reduzindo custos com ingredientes ativos e custos operacionais. Uma implicação colateral do uso da técnica é a redução de danos ambientais causados pelo uso de herbicidas devido à otimização da aplicação ou da aplicação localizada dos ingredientes ativos.

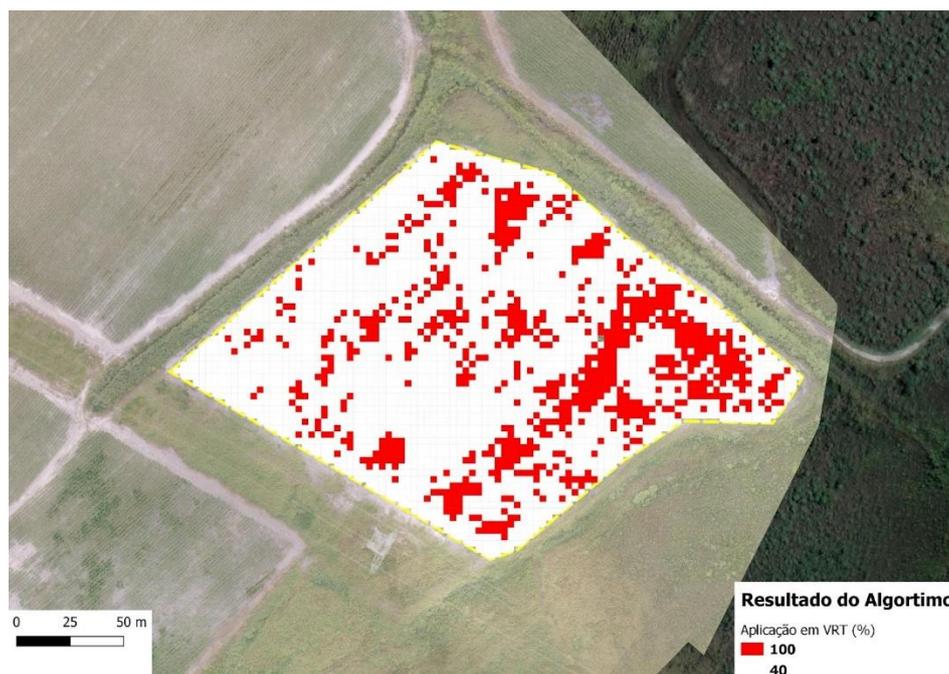


Figura 11. Resultado da simulação de aplicação em taxa variável de herbicida para controle de mucuna preta em canavial situado entre os municípios de Paulínia e Holambra (SP). Os pixels em vermelho correspondem a uma área de 9 m² e indicam locais com maior concentração de mucuna preta. Nesses pixels, simulou-se a aplicação de 100% da dose recomendada de herbicida. Fonte: Autor.

Vale destacar que as técnicas de aplicação em taxa variável podem ser realizadas por maquinários terrestres desenvolvidos especificamente para agricultura de precisão e, também, por VANTs pulverizadores. Embora muitos deles ainda estejam em fase de desenvolvimento, espera-se que ocorra um crescimento acelerado dos VANTs pulverizadores nos próximos anos.

A diminuição na quantidade de herbicidas reduz custos da aquisição do insumo e de sua aplicação na lavoura. Em uma aplicação de dose única em período de pré-emergência se utiliza em média 200 l/ha de calda e em pós-emergência cerca de 250 l/ha. Ao implementar o uso da técnica de mapeamento da mucuna preta apresentada neste exemplo, pode-se obter uma redução de até 60% de calda, reduzindo custos com ingredientes ativos e custos operacionais. Uma implicação colateral do uso da técnica é a redução de danos ambientais causados pelo uso de herbicidas devido à otimização da aplicação ou da aplicação localizada dos ingredientes ativos.

Vale destacar que as técnicas de aplicação em taxa variável podem ser realizadas por maquinários terrestres desenvolvidos especificamente para agricultura de precisão e, também, por VANTs pulverizadores. Embora muitos deles ainda estejam em fase de desenvolvimento, espera-se que ocorra um crescimento acelerado dos VANTs pulverizadores nos próximos anos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura de precisão mostra que é possível unir tecnologia de mapeamento aéreo ou orbital, realizar coleta remota de dados sobre áreas cultivadas e integrar esses dados no dia-dia das operações agrícolas. Neste aspecto, este estudo de caso mostrou o potencial das técnicas de levantamento por VANTs para identificar mucuna preta em uma área com produção extensiva de cana-de-açúcar.

Ferramentas de coleta de imagens através do mapeamento automático, processamento dessas imagens e o uso de um algoritmo específico de detecção dessa espécie indicaram a viabilidade do emprego dessa tecnologia integrada para aplicação em taxas variáveis de insumos agrícolas, em especial para uso do controle químico da mucuna preta. Além disso, com a otimização do uso de ingredientes ativos e das tarefas operacionais, apontou-se que pode haver redução dos custos totais da atividade agrícola e dos danos ambientais relacionados ao uso de agrotóxicos.

As técnicas apresentadas e discutidas neste estudo de caso mostraram-se viáveis quando aplicadas na área testada e, em particular, para identificar a presença e a distribuição da mucuna preta em canaviais. No entanto, existe potencial ainda a ser explorado para estender essa tecnologia a outras espécies de plantas indesejáveis em canaviais e também para uso em outros setores agrícolas. Além do desenvolvimento de algoritmos específicos, abre-se também um vasto campo para validação desses algoritmos em condições de campo.

Finalmente, declara-se que este estudo de caso utilizou um algoritmo desenvolvido individualmente pelo autor deste trabalho. Em face da propriedade intelectual exclusiva do autor, os códigos do algoritmo não estão apresentados ou discutidos no texto final. Portanto, o TCC apresenta o potencial de aplicação desse algoritmo no contexto da agricultura de precisão, mas não se constitui em uma investigação para validação desse algoritmo ou um estudo voltado à sua promoção para uso comercial.

REFERÊNCIAS

CANASVIEIROS. *Mucuna preta prejudica canaviais do Noroeste de São Paulo*. Publicado online em 30 de maio de 2016. Disponível em: <https://www.revistacanavieiros.com.br/mucuna-preta-prejudica-canaviais-do-noroeste-de-sao-paulo>. Acesso em: 9 de julho 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. *Boletim da safra de cana-de-açúcar. 4º Levantamento da Safra 2020/21*. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 9 de julho 2022.

QGIS. Development Team, 2022. *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 9 de julho 2022.

MAPPA. *Drones na agricultura: Índices de Vegetação IFV, VARI, NDVI e NDRE*. Publicado online em 27 de outubro de 2020. Disponível em: <https://mappa.ag/blog/indices-de-vegetacao-ifv-vari-ndvi-e-ndre/>. Acesso em: 9 de julho 2022.

OpenDroneMap. Authors ODM – A command line toolkit to generate maps, point clouds, 3D models and DEMs from drone, balloon or kite images. OpenDroneMap/ODM GitHub Page 2020. Disponível em: <https://github.com/OpenDroneMap/ODM>. Acesso em: 9 de julho 2022.

PIX4D. *PIX4Dcapture*. Aplicativo gratuito de planejamento de voo com drone para mapeamento e modelagem 3D. Disponível em: <https://www.pix4d.com/pt/produto/pix4dcapture>. Acesso em: 9 de julho 2022.

VIDAL, M. de F. Açúcar: cenário mundial e situação de produção no Brasil e no Nordeste brasileiro. *Caderno Setorial ETENE*, 6(162):1-9, 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/765/3/2021_CDS_162.pdf. Acesso em: 9 de julho 2022.