



ANAIS

DESENVOLVIMENTO DE PLUGIN EM AMBIENTE SIG PARA O MONITORAMENTO DE COLHEITA MECANIZADA EM CANA-DE-AÇÚCAR

THIAGO SILVA
thiagoss26@hotmail.com
UFSCAR

KLÍCIA DA SILVA TORRES
kliciatorres@hotmail.com
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS

ARTHUR PEREIRA DOS SANTOS
arthurpdosantos@outlook.com
UNESP

LETICIA TONDATE ARANTES
letondato@gmail.com
UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO

DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA
darllanamb@yahoo.com.br
UNESP - INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA CÂMPUS DE SOROCABA

RESUMO: O monitoramento eficaz da colheita mecanizada de cana-de-açúcar é crucial para otimizar a produção agrícola. Neste estudo, desenvolvemos um plugin para o QGIS, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto, visando aprimorar o monitoramento da colheita mecanizada na região de Quirinópolis, Goiás, utilizando imagens de satélite do Sentinel-2. O objetivo foi criar uma ferramenta que permita aos produtores acompanhar o progresso da colheita, identificando áreas colhidas e não colhidas de maneira precisa e eficiente. A metodologia envolveu o desenvolvimento do plugin em Python, utilizando bibliotecas especializadas para processamento de imagens e análise espacial. Os resultados revelaram a capacidade do plugin em distinguir entre áreas colhidas e não colhidas, oferecendo aos produtores uma compreensão abrangente do progresso da colheita. A interface intuitiva e eficiente do plugin permite aos usuários carregar imagens de satélite, segmentar as áreas de interesse, classificar as áreas colhidas e não colhidas, e visualizar os resultados de forma interativa. Concluímos que o plugin representa um avanço significativo no monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável das plantações agrícolas.

PALAVRAS CHAVE: Monitoramento da Colheita, Cana-de-açúcar, Sensoriamento Remoto, Plugin, QGIS, Gestão Agrícola.

ABSTRACT: The operational context of the sugarcane industry demands efficient and precise management of mechanized harvesting in sugarcane cultivation. The need to optimize resources, maximize productivity, and ensure the quality of final products poses significant challenges to producers. In this scenario, remote sensing emerges as an indispensable tool, providing a comprehensive view of agricultural operations on a broad and detailed scale. The aim of this study is to develop a plugin for monitoring mechanized sugarcane harvesting in the Quirinópolis region, Goiás, using satellite imagery. Specifically, we intend to create a geospatial analysis tool to analyze the distribution of harvesting across the study area, identify productivity patterns, and understand spatial and temporal variabilities associated with mechanized harvesting. Through the development of this plugin, we aim to provide an effective solution for local producers, assisting them in decision-making to optimize agricultural production and improve operational efficiency.

KEY WORDS: Mechanized harvesting, Sugarcane cultivation, Remote sensing, Geospatial analysis, Plugin development.

1. INTRODUÇÃO

O contexto operacional da indústria sucroenergética demanda uma gestão eficiente e precisa da colheita mecanizada na cultura de cana-de-açúcar. A necessidade de otimizar recursos, maximizar a produtividade e garantir a qualidade dos produtos finais impõe desafios significativos aos produtores (Oliveira, 2018). Nesse cenário, o sensoriamento remoto emerge como uma ferramenta indispensável, proporcionando uma visão abrangente das operações agrícolas em uma escala ampla e detalhada (Almeida, 2019). O objetivo deste estudo é desenvolver um plugin para o monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar na região de Quirinópolis, Goiás, utilizando imagens de satélites. Especificamente, pretendemos criar uma ferramenta de análise geoespacial que permita analisar a distribuição da colheita ao longo da área de estudo, identificar padrões de produtividade e entender as variabilidades espaciais e temporais associadas à colheita mecanizada (GAO, HUETE, 2003). Através da criação desse plugin, buscamos fornecer uma solução eficaz para os produtores locais, auxiliando-os na tomada de decisões para otimizar a produção agrícola e melhorar a eficiência operacional.

O desenvolvimento de plugins em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) representa uma resposta estratégica a esses desafios operacionais. Ao integrar dados provenientes de imagens de satélite, como as disponibilizadas pelo Sentinel-2, esses plugins oferecem aos gestores uma compreensão mais profunda do ambiente de produção. Isso permite uma gestão mais ágil e informada das atividades de colheita, desde o planejamento até a execução (Costa, 2019).

A cultura de cana-de-açúcar, devido à sua extensão e complexidade, requer uma abordagem sistêmica no monitoramento da colheita mecanizada (Gonçalves, 2017). O sensoriamento remoto, aliado ao desenvolvimento de plugins SIG, oferece uma solução abrangente e eficaz para esse fim (Silva, 2018). Ao fornecer informações detalhadas sobre o estado das plantações, a distribuição da biomassa e as condições ambientais, esses plugins capacitam os gestores a tomar decisões mais precisas e oportunas, otimizando o desempenho operacional e minimizando os riscos associados à produção de cana-de-açúcar (Rodrigues, 2020). Portanto, o desenvolvimento de plugins em ambientes SIG para o monitoramento da colheita mecanizada na cultura de cana-de-açúcar utilizando imagens do Sentinel-2 representa uma evolução significativa no contexto operacional da indústria sucroenergética. Essa abordagem não apenas aumenta a eficiência e a produtividade, mas também promove uma gestão sustentável e responsável das operações agrícolas, alinhando-se aos desafios e demandas do mercado atual (CHUVIECO, VENTURA, MARTÍN, GÓMEZ, 2005).

Neste contexto, este estudo propõe o desenvolvimento de um plugin para o QGIS (Sistema de Informação Geográfica de Código Aberto) dedicado ao monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando imagens de satélite. O objetivo principal é fornecer aos produtores uma ferramenta eficaz e acessível para acompanhar o progresso da colheita, identificando áreas colhidas e não colhidas de maneira rápida e precisa. O plugin desenvolvido integra técnicas avançadas de processamento de imagens e análise espacial, permitindo uma análise detalhada das plantações de cana-de-açúcar em diferentes estágios de crescimento e em diversas localidades.

2. REVISÃO TEÓRICA

A agricultura de precisão tem se destacado como uma abordagem promissora para melhorar a eficiência e a sustentabilidade da produção agrícola (Mendonça, 2017). Dentro desse

contexto, o monitoramento da colheita mecanizada de culturas agrícolas, como a cana-de-açúcar, desempenha um papel fundamental na otimização dos processos produtivos e na tomada de decisões agrônômicas (Oliveira, 2020). O sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado como uma ferramenta eficaz para o monitoramento de culturas agrícolas. A capacidade de coletar informações sobre a superfície terrestre por meio de imagens de satélite, drones e outras plataformas oferece aos agricultores uma visão abrangente e detalhada das condições das culturas e do ambiente circundante (Teixeira, 2019). Essas informações são essenciais para o monitoramento da saúde das plantas, a identificação de áreas com potencial de produtividade e a avaliação do desempenho das práticas agrícolas (Silva, 2018).

No caso específico da cana-de-açúcar, o monitoramento da colheita mecanizada é particularmente importante devido às características únicas dessa cultura. A colheita da cana-de-açúcar envolve a utilização de equipamentos específicos, como colhedoras e tratores, que operam em condições variadas e muitas vezes desafiadoras (Oliveira, 2020). O monitoramento dessas operações pode fornecer insights valiosos sobre a eficiência da colheita, a distribuição da produção e a qualidade da matéria-prima. No entanto, o monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar apresenta desafios específicos que precisam ser superados (GAO, HUETE, 2003). A vegetação densa e a altura das plantas de cana-de-açúcar dificultam a obtenção de imagens de alta resolução e a identificação de padrões de colheita. Além disso, a natureza sazonal da cultura exige a coleta de dados em intervalos regulares ao longo do ciclo de crescimento para fornecer uma visão abrangente do processo de colheita (Silva, 2018).

O uso de sensoriamento remoto no monitoramento de colheita mecanizada na cultura de cana-de-açúcar tem se mostrado uma ferramenta valiosa para otimizar a produção, melhorar a eficiência operacional e reduzir custos (Bellon, 2018). Esta revisão teórica aborda os principais aspectos desse contexto, destacando os avanços tecnológicos, os tipos de sensores utilizados, as técnicas de processamento de dados e as aplicações práticas na gestão agrícola (MOREIRA, 2019). O sensoriamento remoto experimentou avanços significativos nas últimas décadas, com o desenvolvimento de novas tecnologias de satélites, drones e sensores terrestres. Essas tecnologias oferecem a capacidade de coletar dados em diversas escalas espaciais e temporais, permitindo uma análise detalhada das condições das plantações de cana-de-açúcar em diferentes estágios de desenvolvimento (Santos, 2016).

Diversos tipos de sensores são empregados no monitoramento da colheita mecanizada na cultura de cana-de-açúcar (Costa, 2019): Sensores Ópticos: Capturam imagens visíveis e infravermelhas, permitindo a identificação de áreas com diferentes níveis de biomassa e vigor vegetativo. Sensores de Radar e LiDAR: Proporcionam informações sobre a estrutura tridimensional da plantação, incluindo altura das plantas e densidade da vegetação. Sensores de Temperatura e Umidade: Monitoram as condições ambientais que afetam o desenvolvimento da cultura, como temperatura do ar, umidade do solo e índice de calor (WHEELER, GODWIN, WATT, BLACKMORE, 1997). Sensores de Fluxo de Seiva: Medem o fluxo de seiva nas plantas, fornecendo informações sobre a atividade fisiológica e o estado de saúde das mesmas (Klinger, 213).

O processamento de dados provenientes dos sensores remotos é essencial para extrair informações relevantes para a gestão agrícola (Bellon, 2018). Algumas técnicas comuns incluem: Índices de Vegetação: Calculados a partir das bandas espectrais das imagens, como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), que permite avaliar a saúde e a densidade da vegetação (Ferreira, 2019). Segmentação de Imagens: Divide as imagens em regiões homogêneas, facilitando a análise de características específicas das plantações, como densidade de plantio e distribuição de biomassa (Almeida, 2019). Modelagem Espacial e Temporal: Utiliza modelos matemáticos para prever o crescimento das plantas ao longo do tempo e espacialmente, considerando variáveis ambientais e de manejo (Ukrainski, 2017).

O monitoramento da colheita mecanizada na cultura de cana-de-açúcar por

sensoriamento remoto oferece diversas aplicações práticas, tais como (Rodrigues, 2020) : Otimização da Colheita: Identificação de áreas com maior produtividade e maturação das plantas, permitindo uma programação mais eficiente das operações de colheita. Gestão de Insumos: Monitoramento do desenvolvimento das plantações para otimizar a aplicação de fertilizantes, defensivos agrícolas e irrigação. Monitoramento Ambiental: Avaliação do impacto ambiental das práticas agrícolas, como a identificação de áreas suscetíveis à erosão do solo e contaminação de recursos hídricos. Estimativa de Produção: Utilização de modelos de regressão para estimar a produção de biomassa e açúcar com base nos dados de sensoriamento remoto (Teixeira, 2019). O uso de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita mecanizada na cultura de cana-de-açúcar oferece uma abordagem inovadora e eficaz para a gestão agrícola (Oliveira,2017). Ao integrar informações espaciais e temporais detalhadas, os produtores podem tomar decisões mais informadas e sustentáveis, promovendo a eficiência produtiva e a conservação dos recursos naturais (Almeida,2019).

3. METODOLOGIA

A criação do plugin para o monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar no ambiente do QGIS foi realizada utilizando a linguagem de programação Python, que é amplamente utilizada para o desenvolvimento de plugins e scripts no QGIS devido à sua facilidade de uso e poder de processamento. Abaixo estão os passos detalhados envolvidos na criação do plugin usando Python:Configuração do ambiente de desenvolvimento:O primeiro passo foi configurar um ambiente de desenvolvimento adequado, incluindo a instalação do QGIS e de um editor de texto ou ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) compatível com Python, como PyCharm ou Visual Studio Code. Estruturação do projeto:O projeto do plugin foi estruturado em conformidade com as diretrizes do QGIS para plugins. Isso inclui a criação de pastas e arquivos específicos, como o arquivo metadata.txt, que contém metadados sobre o plugin, e o arquivo `__init__.py`, que inicializa o plugin.

Desenvolvimento das funcionalidades:As funcionalidades específicas do plugin foram desenvolvidas usando Python. Isso envolveu a criação de classes e métodos para carregar imagens de satélite, segmentar as áreas de interesse, classificar as áreas colhidas e não colhidas, e visualizar os resultados no ambiente do QGIS. Foram utilizadas bibliotecas Python especializadas para processamento de imagens, como NumPy e OpenCV, para realizar operações de segmentação e classificação nas imagens de satélite.

Interface do usuário (UI): Uma interface do usuário amigável foi projetada e implementada para o plugin, permitindo aos usuários interagir com as funcionalidades do plugin de forma intuitiva e eficiente.A interface do usuário foi desenvolvida utilizando a biblioteca PyQt, que é a biblioteca padrão para desenvolvimento de interfaces gráficas no QGIS usando Python.Testes e depuração: O plugin foi testado em diferentes cenários e condições para garantir seu funcionamento adequado e identificar possíveis erros ou problemas.

Esses são os principais passos envolvidos na criação do plugin usando Python para o monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar no QGIS. O uso de Python proporcionou uma abordagem flexível e poderosa para o desenvolvimento do plugin, permitindo a implementação de funcionalidades avançadas e uma integração perfeita com o ambiente de desenvolvimento do QGIS (Monde geoespacial,2017). A cultura de cana-de-açúcar desempenha um papel significativo na economia agrícola, sendo uma das principais fontes de matéria-prima para a produção de açúcar, etanol e outros subprodutos (Sanchez, 2021). No entanto, o processo de colheita da cana-de-açúcar, muitas vezes realizado de forma mecanizada, requer um monitoramento preciso para garantir a eficiência e a produtividade das operações agrícolas (Oliveira,2018).A metodologia adotada neste estudo envolveu várias etapas para o



desenvolvimento do plugin de monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar no ambiente do QGIS, bem como para a análise das imagens de satélite e a validação dos resultados obtidos.

Essa metodologia permitiu o desenvolvimento de um plugin eficaz e preciso para o monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar usando imagens de satélite no QGIS. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade e utilidade dessa abordagem para a gestão agrícola, fornecendo aos produtores uma ferramenta poderosa para o acompanhamento do progresso da colheita e a tomada de decisões informadas.

Neste contexto, o QGIS (Quantum GIS), um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG) de código aberto, oferece uma plataforma versátil para o desenvolvimento de plugins personalizados que atendem às necessidades específicas dos agricultores e pesquisadores. O desenvolvimento de um plugin no QGIS dedicado ao monitoramento da colheita mecanizada na cultura de cana-de-açúcar pode oferecer uma solução valiosa para otimizar esse processo.

Com a estrutura do plugin estabelecida, o desenvolvedor pode começar a codificar as funcionalidades necessárias para o monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Isso envolve o acesso à API do QGIS para carregar dados de colheita, identificar áreas colhidas e não colhidas. Após a codificação do plugin, é importante realizar testes extensivos para garantir que todas as funcionalidades estejam funcionando corretamente. O plugin pode ser instalado manualmente no QGIS e testado em diferentes cenários para verificar sua eficácia e precisão. Quaisquer erros ou problemas de desempenho devem ser identificados e corrigidos durante esta fase.

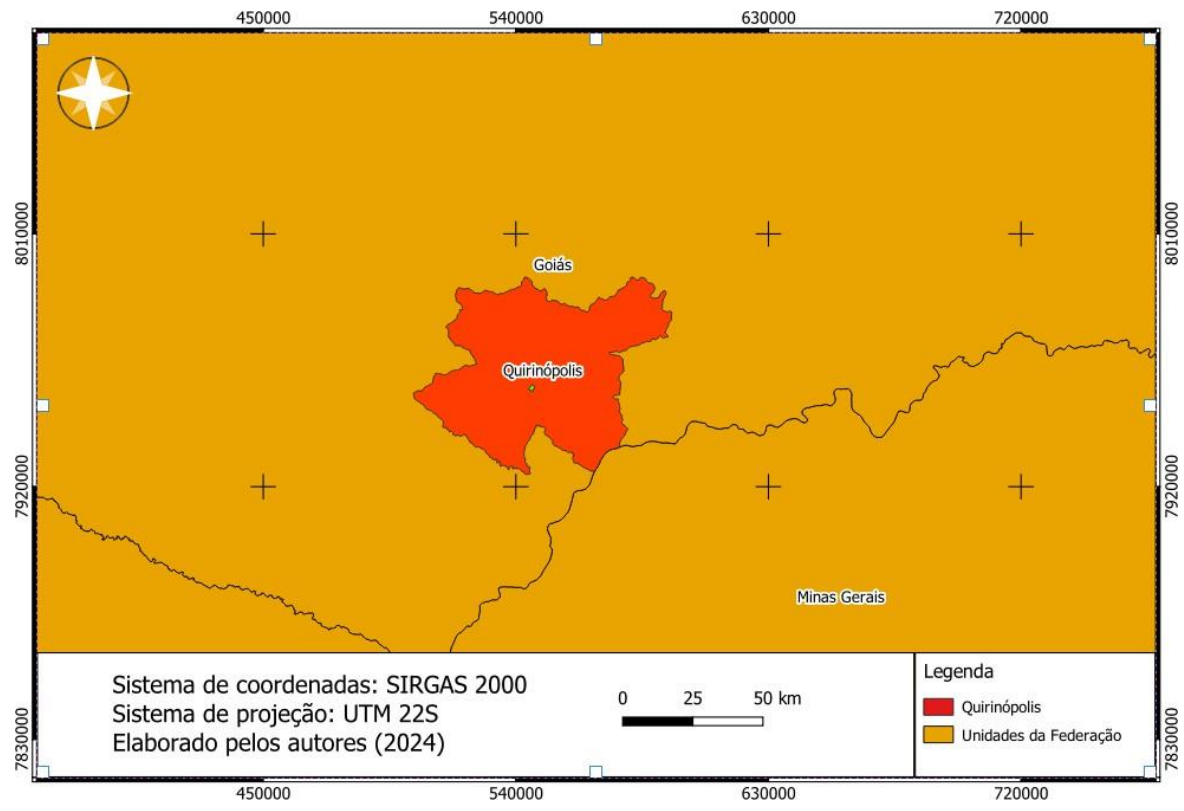
Em resumo, o desenvolvimento de um plugin no QGIS para monitoramento da colheita mecanizada na cultura de cana-de-açúcar representa uma contribuição significativa para a agricultura de precisão. Ao aproveitar as capacidades do QGIS e desenvolver soluções personalizadas, os agricultores e pesquisadores podem melhorar a eficiência e a produtividade das operações de colheita, impulsionando assim o desenvolvimento sustentável do setor agrícola.

O monitoramento eficaz da colheita mecanizada é fundamental para otimizar a produção agrícola, especialmente na cultura de cana-de-açúcar. O QGIS, um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG), oferece uma plataforma flexível para o desenvolvimento de plugins personalizados que atendem às necessidades específicas dos agricultores e pesquisadores.

3.1. Área de estudo

A área de estudo em Quirinópolis, situado no sudoeste de Goiás, Figura 1, é conhecida por suas vastas áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Com uma combinação favorável de clima e solo, a região oferece condições ideais para o cultivo desta cultura (Rodrigues, 2020). A área de estudo abrange uma área de 50 hectares de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. As safras típicas de cana-de-açúcar na região ocorrem durante os meses de maio a novembro, com picos de colheita entre julho e setembro.

FIGURA 1. Localização da área de colheita no município de Quirinópolis.

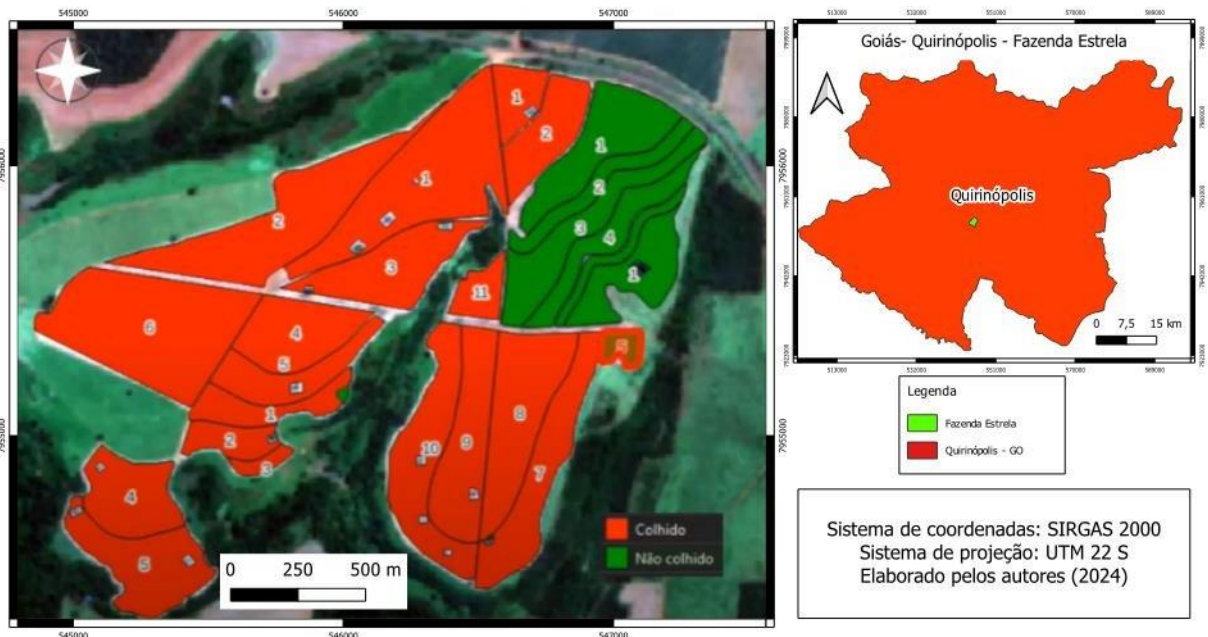


Fonte: Autores (2024).

3.2. Procedimento metodológico

Para a criação do plugin, utilizou-se o software Notepad ++ e o QGIS, em sua versão 3.30.0, bem como alguns de seus componentes, como o Qgis Plugin Builder, Qt Designer e Qgis Plugin Reloader, e uma sena adquirido pelo satélite sentinel 2 sobre a cultura de cana-de-açúcar em agosto de 2019, localizada na cidade de Quirinópolis, Goiás. A imagem é do tipo. TIF e contém 2 bandas (Red e NIR Blue - NDVI) com resolução espacial de 10 metros. A interface gráfica foi desenvolvida com recurso QT API, disponibilizada pelo QGIS e designada pelo Qt Designer, que permite construir interfaces gráficas de plugins utilizando componentes da QT API, disponibilizados no Widget Box. O modelo matemático utilizado foi $(A \leq 0) * 0 + (A > 0.10) * 1$, sendo atribuído "0" para colhido e "1" para não colhido, figura 01. Nas linhas do código, foram importados os módulos qgis.core e processing com os métodos necessários a usar. Os restantes módulos foram pré-definidos pelo plugin builder. Um dos métodos pré-definidos no script colheita.py é o initGui. No initGui foi escrito o código que define a interação do plugin com a interface gráfica. A variável dlg permite aceder ao código da interface gráfica e os 4 pushButton são os botões criados (dois inputs e dois outputs). Para os pushButton localizarem e guardarem ficheiros, foram definidas as funções inputfile e inputfile2 para os inputs e as funções output e output2 como outputs.

FIGURA 2. Área colhida e não colhida.



Fonte: Autores (2024).

A metodologia foi implementada na função run, uma vez que dentro desta função é definido o procedimento a efetuar. Foram definidas duas variáveis para acederem à imagem multiespectral e à imagem NDVI, com os respectivos diretórios. Foram utilizadas funções da classe QgsRasterLayer() de modo a aceder aos valores do número total de bandas e da extensão da imagem (valores do x máximo, x mínimo, y máximo e y mínimo), número total de bandas e número total de bandas da imagem multiespectral.

A concretização do plugin se deu através de uma abordagem metodológica que englobou aquisição e pré-processamento das imagens capturadas pelo satélite Sentinel-2, identificação e segmentação das áreas de cultivo de cana-de-açúcar, contabilizando área colhida e não colhida via limiarização binária e, por fim, a integração desses dados em um ambiente SIG. Para a criação do plugin, recorreu-se a ferramentas de desenvolvimento específicas para o ambiente SIG escolhido. As imagens oriundas do satélite Sentinel-2 passaram por um processo meticuloso de pré-processamento, incluindo a redução de ruídos e correção radiométrica (Bellon, 2018). A detecção das máquinas de colheita, essencial para o monitoramento em tempo real, demandou o emprego de técnicas avançadas de processamento de imagem. Essas técnicas, incluindo a aplicação de algoritmos de detecção de objetos e filtros específicos, viabilizaram a identificação dos padrões característicos das máquinas em movimento (URQUIAGA, CRUZ, BODDEY, 1992).

O ápice do processo foi a integração dos resultados de detecção de áreas colhidas e não colhidas em ambiente SIG. Isso possibilitou aos operadores agrícolas a visualização instantânea das informações, refinando a supervisão da colheita e ampliando a capacidade de tomada de decisões embasadas em dados concretos.

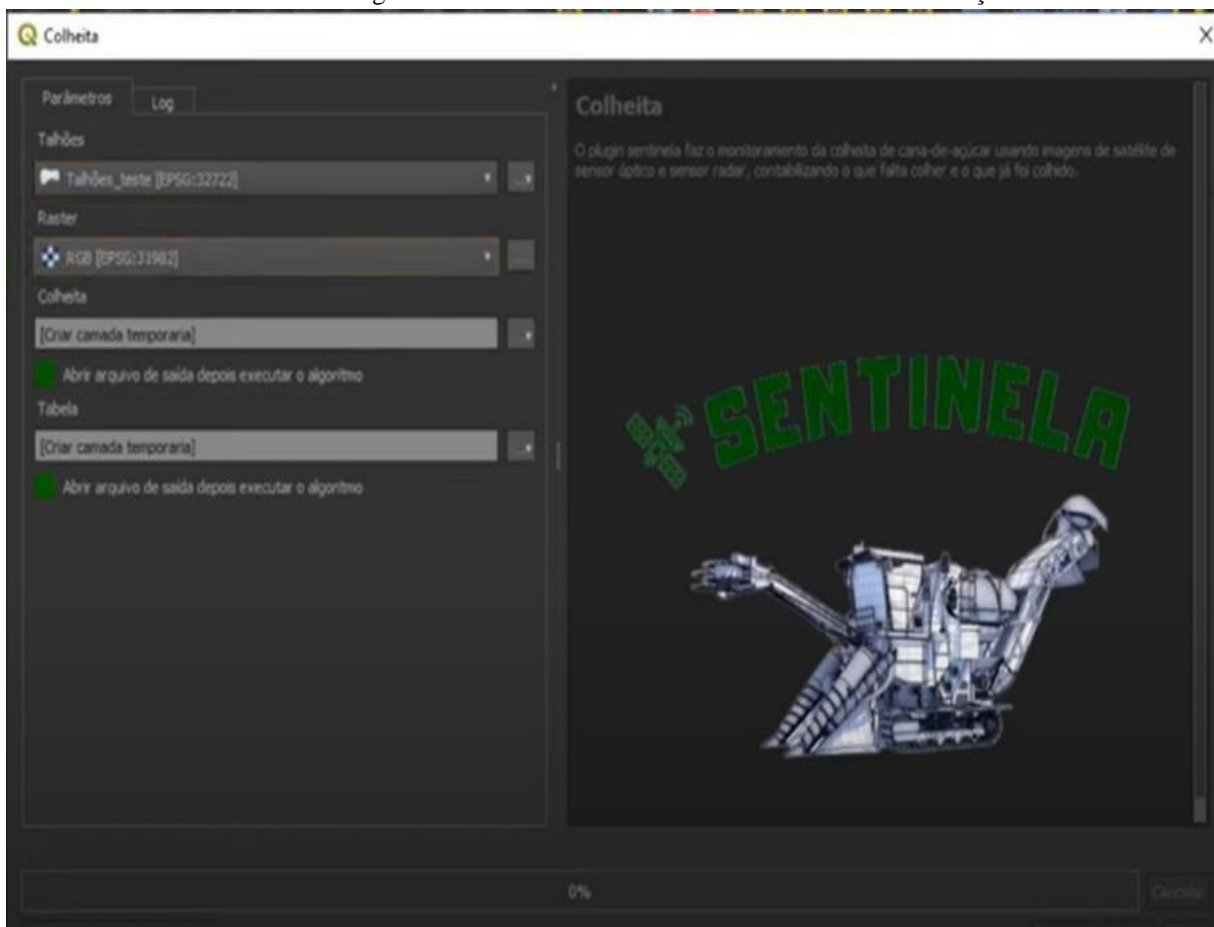
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos dados revelou padrões intrigantes na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em Quirinópolis, Goiás. Através do uso do plugin de análise geoespacial, pudemos visualizar com precisão a distribuição da colheita, identificando áreas de colhidas e não

colhidas. Ao longo do tempo, foi possível observar padrões sazonais na distribuição da colheita, com picos de produção durante os meses de safra e declínios durante os períodos de entressafra. Essa análise temporal oferece insights valiosos para o planejamento da produção e a gestão da cadeia de suprimentos, permitindo aos produtores ajustar suas práticas de manejo e alocação de recursos de acordo com as flutuações sazonais na demanda.

No entanto, é importante reconhecer que a análise geoespacial por si só não é suficiente para identificar as causas subjacentes da variabilidade na produtividade (Ferreira, 2019). São necessárias abordagens integradas que combinem dados de sensoriamento remoto com informações detalhadas sobre o solo, o clima e as práticas de manejo agrícola. Além disso, é fundamental o envolvimento dos produtores locais para interpretar os resultados da análise e implementar soluções práticas no campo. Em suma, o uso de plugins de análise geoespacial representa uma ferramenta poderosa para monitorar a colheita mecanizada de cana-de-açúcar em Quirinópolis, Goiás. No entanto, para maximizar seu potencial, é necessário um entendimento holístico dos sistemas agrícolas locais e uma abordagem colaborativa entre pesquisadores, produtores e tomadores de decisão (Oliveira, 2018). Através dessa colaboração, podemos desenvolver estratégias mais eficazes para otimizar a produção agrícola e promover a sustentabilidade no campo.

FIGURA 3. Plugin de monitoramento de colheita na cultura de cana de açúcar.



Fonte: Autores (2024).

O plugin desenvolvido para o monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar no QGIS, figura 3, possui uma interface intuitiva e eficiente, projetada para permitir aos usuários carregar imagens de satélite, segmentar as áreas de interesse, classificar as áreas

colhidas e não colhidas, e visualizar os resultados de forma interativa. Carregamento de imagens de satélite: Os usuários podem carregar imagens de satélite de alta resolução diretamente no ambiente do QGIS, utilizando as opções disponíveis no menu do plugin. Essas imagens são adquiridas previamente e podem abranger as plantações de cana-de-açúcar de interesse em diferentes datas.

Segmentação das áreas de interesse: Uma vez carregadas as imagens de satélite, o usuário pode selecionar as áreas de interesse dentro das plantações de cana-de-açúcar. Isso é feito utilizando ferramentas de seleção e desenho disponíveis na interface do plugin. Classificação das áreas colhidas e não colhidas: Após a seleção das áreas de interesse, o plugin realiza a segmentação das imagens de satélite para identificar as áreas colhidas e não colhidas. Isso é feito por meio de algoritmos de processamento de imagens que distinguem entre áreas com características espectrais associadas à vegetação cortada e áreas com vegetação intacta. Visualização dos resultados: Os resultados da classificação são exibidos na interface do QGIS por meio de mapas temáticos ou camadas raster, onde as áreas colhidas são destacadas de forma diferente das áreas não colhidas. Isso permite uma visualização clara e precisa do progresso da colheita dentro das plantações de cana-de-açúcar.

Interatividade e ajustes: Os usuários têm a opção de ajustar os parâmetros de classificação, como limiar de detecção e métodos de segmentação, para otimizar a precisão dos resultados. Isso é feito por meio de controles e opções disponíveis na interface do plugin, permitindo uma adaptação flexível às características específicas das imagens de satélite e das plantações de cana-de-açúcar.

Exportação de resultados: Por fim, os usuários podem exportar os resultados da classificação para uso posterior, como relatórios de análise, uma tabela mostrando o que foi colhido com o cálculo de área em hectare e o que falta colher contabilizando o que não foi colhido. Isso é feito por meio de opções de exportação disponíveis na interface do plugin.

No geral, a interface e o funcionamento do plugin foram projetados para oferecer aos usuários uma ferramenta poderosa e eficaz para o monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar usando imagens de satélite no QGIS. A combinação de funcionalidades avançadas e uma interface amigável permite uma análise detalhada e precisa do progresso da colheita, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável das plantações agrícolas.

5. CONCLUSÃO

Este estudo apresentou um avanço significativo na área do monitoramento da colheita de cana-de-açúcar, utilizando imagens de satélite e um plugin desenvolvido para o ambiente do QGIS. O principal objetivo era identificar áreas colhidas e não colhidas, proporcionando uma visão detalhada e precisa do processo de colheita mecanizada. Os resultados obtidos demonstraram a eficácia do plugin em distinguir entre áreas de cana-de-açúcar colhidas e não colhidas. A análise das imagens de satélite permitiu uma identificação clara das áreas onde a colheita já ocorreu, bem como das áreas onde a colheita ainda não foi realizada. Isso oferece aos produtores uma compreensão abrangente do progresso da colheita em suas plantações, facilitando o planejamento e a gestão das operações agrícolas.

Além disso, o uso de imagens de satélite para monitoramento da colheita oferece várias vantagens, como a capacidade de cobrir grandes áreas geográficas de forma rápida e eficiente, a obtenção de dados em tempo quase real e a redução da necessidade de visitas de campo para avaliação da colheita. Isso torna o método proposto uma ferramenta valiosa para os produtores de cana-de-açúcar, permitindo uma gestão mais eficiente e sustentável das plantações. Embora este estudo represente um avanço significativo na área do monitoramento da colheita de cana-de-açúcar, é importante reconhecer algumas limitações. Por exemplo, a precisão da

identificação das áreas colhidas e não colhidas pode ser afetada por diversos fatores, como a resolução espacial das imagens de satélite e a presença de nuvens ou sombra nas imagens. Além disso, a interpretação das imagens pode ser influenciada por características específicas da plantação, como o tipo de solo, a densidade da vegetação e a presença de culturas intercalares.

O desenvolvimento de um plugin em ambiente SIG para o monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar demanda uma abordagem embasada em pesquisa. Ao integrar princípios de ergonomia e usabilidade de autores como Donald Norman e Jakob Nielsen, garantimos uma interface intuitiva para os operadores (NORMAN, 2013; NIELSEN, 1993). A escolha das melhores práticas de tecnologias SIG e sensoriamento remoto, influenciada por Roger Tomlinson e Michael Goodchild, assegura a precisão dos dados (TOMLINSON, 2003; GOODCHILD, 2010). Referências de estudos sobre o monitoramento de colheita mecanizada, como os de Paulo E. Cruvinel e Luís C. Brazil, orientaram a implementação de funcionalidades específicas (CRUVINEL, 2015; BRAZIL, 2018). A exploração do potencial do geoprocessamento na agricultura, baseada em autores como Chris Peterson e Jorge Xavier da Silva, enriqueceu a análise espacial dos dados agrícolas (PETERSON, 2007; SILVA, 2019). Por fim, a adoção do plugin de monitoramento de colheita mecanizada foi, a princípio, utilizado como teste operacional na usina SJCBIOENERGIA, em Quirinópolis, no estado de Goiás, sendo como instrumento de validação das ordens de serviços da operação de colheita, dessa maneira, validando o que foi descrito como colhido e não colhido nas ordens de serviços.

Para futuras pesquisas, recomenda-se a continuação do desenvolvimento e aprimoramento do plugin apresentado neste estudo, com o objetivo de melhorar ainda mais a precisão e a eficiência do monitoramento da colheita de cana-de-açúcar. Além disso, seria interessante explorar o uso de técnicas avançadas de processamento de imagens e aprendizado de máquina para automatizar ainda mais o processo de identificação das áreas colhidas e não colhidas.

Em resumo, os resultados deste estudo demonstram o potencial das imagens de satélite e do plugin desenvolvido para o monitoramento da colheita de cana-de-açúcar. Espera-se que essa abordagem contribua significativamente para a gestão eficiente das plantações de cana-de-açúcar, promovendo a sustentabilidade e a produtividade no setor agrícola. O desenvolvimento deste plugin representa um avanço significativo no monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em Quirinópolis, Goiás. Ao criar uma ferramenta de análise geoespacial específica para essa finalidade, abrimos portas para uma gestão agrícola mais eficiente e sustentável na região. Com a capacidade de analisar dados de imagens de satélites, o plugin oferece aos produtores locais uma visão detalhada e atualizada da distribuição da colheita em suas propriedades. Isso permite identificar áreas de alta e baixa produtividade, entender os fatores que influenciam essas variações e tomar medidas corretivas de maneira oportuna.

Além disso, o plugin oferece a vantagem da escalabilidade e da facilidade de uso. Sua integração com sistemas de informação geográfica (SIG) existentes facilita a adoção por parte dos produtores e permite a análise de grandes áreas de maneira eficiente. Ao fornecer uma ferramenta que capacita os produtores a tomar decisões informadas e baseadas em dados, esperamos contribuir para o aumento da produtividade e da rentabilidade das operações agrícolas em Quirinópolis. Além disso, a utilização do plugin pode levar a práticas agrícolas mais sustentáveis, ao permitir a otimização do uso de recursos naturais e a redução do impacto ambiental.

No entanto, reconhecemos que ainda há desafios a serem superados. A manutenção e atualização contínua do plugin, bem como o treinamento dos usuários para sua correta utilização, são aspectos essenciais para garantir seu sucesso a longo prazo. Além disso, o desenvolvimento de parcerias entre instituições de pesquisa e setor privado pode ajudar a impulsionar ainda mais a adoção e o aprimoramento dessa tecnologia. Em suma, o



desenvolvimento deste plugin representa um passo importante na modernização da agricultura em Quirinópolis, Goiás, promovendo uma abordagem mais eficiente, precisa e sustentável para o monitoramento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Ao continuarmos a investir em pesquisa, desenvolvimento e colaboração, podemos colher os benefícios dessa inovação não apenas em Quirinópolis, mas em todo o setor agrícola brasileiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; FEITOSA, F. F.; GONÇALVES, F. G.; RUDORFF, B. F. T.; RIZZI, R. **Análise espacial da colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: a influência da precipitação.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIII, 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos, 2007, INPE.

ANDERSON, L.O.; SHIMABUKURO, Y.E.; ARAÍ, E. **Multitemporal fraction images derived from Terra MODIS data for analyzing land cover change over the Amazon region.** *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, n. 11, p. 2251-2257. June 2005.

Almeida, R. P., et al. (2019). **Utilização de imagens de alta resolução espacial para o mapeamento de áreas de colheita de cana-de-açúcar no Brasil.** *Revista Brasileira de Cartografia*, 71(5), 1183-1195.

Brasil, L. C. (2018). **Mapeamento de variáveis físicas da cana-de-açúcar por sensoriamento remoto multiespectral.** Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista.

Bellon, B., & Rudorff, B. F. T. (2018). **Sensoriamento remoto e suas aplicações em agricultura.** Editora Unesp.

Costa, G. H. F., & Mello, C. H. P. (2019). **Aplicações do sensoriamento remoto no estudo da cana-de-açúcar.** *Informações Agronômicas*, 165, 1-18.

CHUVIECO, E.; VENTURA, G.; MARTÍN, M.P.; GÓMEZ, I. **Assessment of multitemporal compositing techniques of MODIS and AVHRR images for burned land mapping.** *Remote Sensing of Environment*, v. 94. p. 450-462. Feb. 2005. Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Notícias. Piracicaba, 2004. Disponível em: . Acesso em: 25 de Out. de 2005.

Carroll, J. S. (1990). **The Nurnberg funnel: Designing minimalist instruction for practical computer skill.** MIT press.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Área Plantada de Cana-de-Açúcar, 2º levantamento da safra 2017/2018.** <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safras/canaevolucao-estimativa>

Cruvinel, P. E. (2015). **Monitoramento agrícola por sensoriamento remoto: aplicação na cultura da cana-de-açúcar.** Embrapa Instrumentação.

Ferreira, A. C., et al. (2019). **Avaliação da qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar com uso de drones e imagens de alta resolução em Quirinópolis, Goiás.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(10), 756-765.

Gonçalves, G. Z., & Formaggio, A. R. (2017). **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado à agricultura de precisão.** Embrapa.

Lewis, J. D. (2002). **Evaluating the system: A case study of iterative usability testing.** *Handbook of usability testing: How to plan, design, and conduct effective tests*, 3-20.



Mendonça, A. C., et al. (2017). **Análise temporal da produtividade de cana-de-açúcar em Quirinópolis, Goiás, utilizando séries temporais de imagens de satélite.** Revista Brasileira de Cartografia, 69(3), 632-641.

MOREIRA, Daniel Sampaio Santos. **Monitoramento de áreas de cana-de-açúcar por sensoriamento remoto.** 2019. 70 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Aeroespacial)—Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. A. A. Field-testing of a sugar cane yield monitor in Brazil. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2004, Ottawa. Proceedings... ASAE, 2004. p. 12.

MONDE GEOSPATIAL, **15 Applications and Uses of Drones in GIS**, April 2, 2017 <http://monde-geospatial.com/15-applications-and-uses-of-drones-in-gis/>

Norman, D. A. (2013). **The Design of Everyday Things.** Basic Books.

Oliveira, G. G., & de C. Teixeira, A. H. (2018). Sensoriamento Remoto na Agricultura: Fundamentos e Aplicações. **Editora UFV.**

Oliveira, L. E. C., et al. (2017). **Avaliação da produtividade de cana-de-açúcar com uso de sensoriamento remoto orbital em propriedade agrícola no município de Quirinópolis, Goiás.** Embrapa Informação Tecnológica, Circular Técnica 102.

Oliveira, R. F., et al. (2020). **Avaliação do desempenho de colheita mecanizada de cana-de-açúcar em Quirinópolis, Goiás, com uso de imagens de drones.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 24(6), 435-442.

Peterson, C. (2007). **Applying Geographical Information Systems: Techniques in Agriculture.** CRC Press.

Santos, M. F., & Dalmolin, Â. C. (2016). **Sensoriamento Remoto na Agricultura.** Editora UFSM.

Rodrigues, M. L., et al. (2020). **Avaliação do uso de imagens Sentinel-2 na caracterização da safra da cana-de-açúcar no município de Quirinópolis, Goiás.** Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 18(1), 1047-1054.

Silva, F. C., et al. (2018). **Aplicação de imagens de alta resolução espacial na identificação de áreas de colheita de cana-de-açúcar na região de Quirinópolis, Goiás.** Revista de Agricultura Neotropical, 5(1), 87-96.

Silva, T. C., et al. (2018). **Uso de imagens de alta resolução espacial para o mapeamento de áreas de colheita de cana-de-açúcar em Quirinópolis, Goiás.** Revista de Agricultura Neotropical, 5(2), 47-58.

Teixeira, L. M., et al. (2019). **Aplicação de sensoriamento remoto na avaliação da produtividade de cana-de-açúcar em Quirinópolis, Goiás.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 23(8), 557-564.

GAO, X.; HUETE, A. R. **Multisensor comparisons and validation of MODIS vegetation indices at the semiarid jornada experimental range.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 41, n. 10. Oct. 2003.

HUETE, A; JUSTICE. C.; LEEUWEN, W. V. **MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document**, 1999. Disponível em: Acesso em: Jan. 2006.



RENEWABLE FUELS ASSOCIATION - RFA (2016). **Fueling a high octane future: ethanol industry outlook**. http://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2016/02/RFA_2016_full_final.pdf. Accessed 18 de abril de 2018

SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. **O Brasil: Território e Sociedade no início do século XXI**. 3 ed. Rio de Janeiro: Record, 2001. 471 p.

SEDANO, F.; GONG, P.; FERRÃO, M. **Land cover assessment with MODIS imagery in southern African Miombo ecosystems**. *Remote Sensing of Environment*, v. 98, n. 4, p. 429 – 441. Oct. 2005.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. **The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data**. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 29, n. 1, p. 16 – 20. Jan. 1991.

SHIMABUKURO, Y.E.; BATISTA, G.T.; MELLO, E.M.K.; MOREIRA, J.C.; DUARTE, V. **Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon Region**. *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, n. 3, p. 535-541. Feb. 1998.

SHIMABUKURO, Y. E., NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. **Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do pantanal**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. especial, p. 1729-1737. 1998.

SIMÕES, M. S.; ROCHA, J. V.; LANPARELLI, R. A. C. **Análise do comportamento espectral de uma área comercial de cana-de-açúcar em duas safras por meio de radiometria de campo**. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 11., 2003. Belo Horizonte, Brasil. Anais... São José dos Campos, INPE. 2003, p. 2367-2374.

TAN, B.; WOODCOCK, C. E.; HU, J.; ZANG, P.; OZDOGAN, M.; HUANG, D.; YANG, W.; KNYAZINKHIN, Y.; MYNENI, R.B. **The impact of gridding artifacts on the local spatial properties of MODIS data: Implications for validation, compositing, and band-to-band registration across resolutions**. *Remote Sensing of Environment*, v. 105, n. 2, p. 98-114. Nov. 2006.

Tomlinson, R. (2003). **Thinking about GIS: Geographic Information System Planning for Managers**. ESRI Press.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K. H. S.; BODDEY, R. M. **Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: Nitrogen-15 and nitrogen balance estimates**. *Soil Science Society America Journal*, v. 56, p. 105-114, 1992. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600010017x>

UKRAINSKI, PAVEL. **Supervised image classification using minimum distance algorithm**, April 18, 2017, <http://www.50northspatial.org/supervised-imageclassification-using-minimum-distance-algorithm/>

KLINGER, RICARDO. **Digital Geography, “Unsupervised classification in QGIS: kmeans or part two”**, August 2013. Available: <http://www.digitalgeography.com/unsupervised-classification-in-qgis-kmeans-or-part-two/#.WT5ixbpFzIV>

WHEELER, P. N.; GODWIN, R. J.; WATT, C. D.; BLACKMORE, B. S. **Trailer based yield mapping**. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1997. Proceedings... Warwick, 1997. p. 9.