

# SOFTWARE PARA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR BASEADO EM IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

**Caio Simplicio Arantes** <sup>1</sup>; **Eduardo Antonio Speranza** <sup>2</sup>; **Joao Francisco Goncalves Antunes** <sup>3</sup>; **Luiz Antonio Falaguasta Barbosa** <sup>2</sup>; **Geraldo Magela de Almeida Cançado** <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bolsista. Campinas - SP. Embrapa Agricultura Digital; <sup>2</sup>Analista. Campinas - SP. Embrapa Agricultura Digital; <sup>3</sup>Pesquisador. Campinas - SP. Embrapa Agricultura Digital

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão e Digital - ConBAP 2024**  
*Ribeirão Preto, SP, 25 a 27 de novembro de 2024*

## RESUMO

Na agricultura, a produtividade é um parâmetro crucial para determinar o sucesso de uma cultura. Por conseguinte, formas confiáveis de prever o rendimento agrícola assumem um papel fundamental na tomada de decisões e no planejamento dos cultivos antes da colheita. Este trabalho descreve o desenvolvimento de um complemento no Sistema de Informação Geográfica QGIS capaz de gerar a estimativa de produtividade espacializada para a cultura da cana-de-açúcar a partir de uma imagem multiespectral, baseado em um modelo estatístico não-linear aplicado aos índices de vegetação. A estimativa obtida pode ser visualizada em um mapa ou acessada em planilha com resultado para cada um dos talhões de cana-de-açúcar avaliados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema de Informações Geográficas; Modelo Estatístico; Complemento

## ABSTRACT

In agriculture, productivity is a crucial parameter for determining the success of a crop. Therefore, reliable ways to predict yield play a key role in decision-making and crop planning before harvesting. This work describes the development of a plugin in the Geographic Information System QGIS capable of generating spatialized yield predictions for sugarcane crops from multispectral images, based on a nonlinear statistical model applied to vegetation indices. The yield predictions obtained can be viewed on a map or accessed in a spreadsheet with results for each evaluated sugarcane plot.

**KEYWORDS:** ;

## INTRODUÇÃO

A Embrapa Agricultura Digital e a Cooperativa de Plantadores de Cana do Estado de São Paulo (Coplacana) estabeleceram uma parceria voltada a cooperação técnico-científica com o objetivo de resgatar a produtividade da cultura da cana-de-açúcar no Brasil. Entre os objetivos estratégicos do projeto de inovação aberta, destaca-se a necessidade de modelar a produtividade de canaviais usando parâmetros de manejo em diferentes ambientes de produção (Embrapa Agricultura Digital, 2019).

A obtenção da estimativa de produtividade confiável de maneira antecipada à colheita é uma necessidade importante dos produtores de cana-de-açúcar por diversos motivos, tais como: planejamento mais eficiente da atividade agrícola e melhor gestão de recursos; auxílio à tomada de decisão sobre investimentos em irrigação, fertilização e controle de pragas e doenças; antecipação de receitas, cálculos de custo de produção e projeções de lucratividade; negociação de contratos mais precisas com usinas e empresas, evitando discrepâncias entre oferta e demanda (Pagani, et al. 2017). Nesse contexto, índices de vegetação obtidos a partir de dados de imagens de sensoriamento remoto, principalmente aquelas que podem ser obtidas gratuitamente pelo produtor, se tornam uma importante fonte de informações para a obtenção dessas estimativas a partir de ferramentas computacionais.

Como parte dos resultados desta cooperação, o modelo estatístico para estimativa de produtividade da cana-de-açúcar desenvolvido por Vansconcelos et al. (2013) subsidiou o desenvolvimento do complemento para o software QGIS (QGIS, 2024) desenvolvido neste trabalho. Trata-se de um modelo baseado em uma abordagem semiparamétrica associada a distribuição gaussiana inversa de índices vegetativos. Esses índices são métricas baseadas nas relações de refletância das bandas de uma imagem multiespectral e/ou RGB, que estão relacionados ao estágio vegetativo ou reprodutivo da cultura agrícola em um determinado momento (Jackson, 1991).

Complementos QGIS similares que envolvem atividades relacionadas a aplicação de conceitos de agricultura de precisão podem ser encontrados na literatura e no próprio repositório oficial da ferramenta. O complemento Smart-Map (Pereira et al., 2022) tem como objetivo auxiliar na integração e normalização de grade espacial de dados vetoriais referentes ao solo e à cultura, utilizando tecnologias de inteligência artificial e geostatística para a geração de mapas contínuos. O complemento PAT - Precision Agriculture Tools (Ratcliff et al., 2018), mais completo, permite aos seus usuários, além de preparar dados vetoriais, gerar índices de vegetação a partir de imagens e zonas de manejo para aplicações de insumos a taxa variada em campo, dentre outras funcionalidades. Esses complementos estão mais focados na preparação dos dados, enquanto que o complemento proposto neste trabalho foi desenvolvido para uma atividade específica, que é a predição antecipada da produtividade em conjuntos de talhões de uma mesma região considerando um modelo estatístico.

## OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um complemento para o Sistema de Informação Geográfica QGIS para verificar a viabilidade desta plataforma na aplicação de um modelo de estimativa de produtividade já validado em áreas comerciais com imagens de sensoriamento remoto. Os requisitos definidos para este complemento foram: interface gráfica de usuário (GUI) própria para seleção de uma imagem multiespectral, suas respectivas bandas e seleção de uma camada vetorial, que são os contornos de áreas georreferenciadas dentro dos limites da imagem; geração de dados necessários para aplicar o modelo de estimativa de produtividade; acesso ao modelo por meio de uma Interface de Programação de Aplicações (API) via rede para obter a produtividade estimada por talhão; recursos para representação espacial em mapa dos resultados, e recurso para salvar os resultados em planilha.

## MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção descreve as etapas do desenvolvimento do complemento, mencionando as pilhas tecnológicas e as etapas envolvidas com relação a interação com a interface gráfica. Vale ressaltar que as etapas de desenvolvimento e validação do complemento foram realizadas utilizando bibliotecas computacionais gratuitas e de código aberto, e dados públicos fornecidos por satélites via sensoriamento remoto. Os contornos dos talhões avaliados foram fornecidos por produtores cooperados da Coplacana.

**Plataforma:** O QGIS foi escolhido como plataforma para a aplicação desenvolvida por ser gratuito, de código aberto (Licença Pública Geral GNU), e por ter recursos que permitem a automatização de operações de geoprocessamento via sua API Python, além de ser uma ferramenta consolidada no contexto da agricultura de precisão e em toda a comunidade de usuários de geotecnologias.

**Interface gráfica de usuário:** Para desenvolver a interface gráfica do usuário (GUI) do complemento foi utilizado o Qt Designer (Qt Group, 2024) O Qt Designer é uma ferramenta de arrastar e soltar, que permite trabalhar de maneira visual e é baseado no framework de interfaces gráficas Qt. Este último é acessível por meio do PyQt, um empacotador da linguagem Python para as bibliotecas Qt. PyQt fornece classes para criar caixas de diálogo, botões, caixas de texto, listas e outros *widgets*.

Também fornece funções para responder a eventos de interface do usuário, como cliques de botão ou alterações de texto.

Ao iniciar o QGIS, o arquivo resultante do Qt Designer (.ui) é convertido em código Python utilizando a ferramenta *pyuic*, que faz parte do PyQt. Este recurso cria uma classe que pode ser usada para criar a interface de usuário no complemento. Com a instância da classe criada, os *widgets* na interface de usuário podem ser acessados como atributos da instância. Isso permite que o complemento interaja com a interface de usuário, por exemplo, obtendo o texto de uma caixa de texto ou respondendo a um clique de botão.

**Entrada de dados:** Para obter a estimativa de produtividade é necessário adicionar na interface do QGIS uma camada de imagem multiespectral (camada raster) do estágio fenológico de maturação dos colmos, considerando o ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar ao qual se deseja estimar a produtividade. Essa imagem deve sobrepor a toda a área dos talhões e conter as bandas R (Red), G (Green), B (Blue) e NIR (Near-Infrared). A numeração das bandas deve ser selecionada adequadamente pelo usuário assim como a camada vetorial (Figura 1). A data de captura da imagem em relação ao ciclo de maturação dos colmos da cana-de-açúcar é importante para otimizar a estimativa, uma vez que reflete melhor as condições de treinamento do modelo, e deve ser a mais próxima possível do pico vegetativo.

É possível utilizar imagens públicas gratuitas de satélites, como as geradas pelos sensores Sentinel-2/MSI e Landsat-8/OLI, imagens comerciais de satélites (ex. PlanetScope), ou mesmo imagens geradas a partir de ARP (Aeronave Remotamente Pilotada).

Na escolha da camada vetorial, caso os polígonos já possuam um campo de identificação, o usuário pode selecioná-lo ou, caso contrário, um novo campo será criado com um prefixo selecionado.

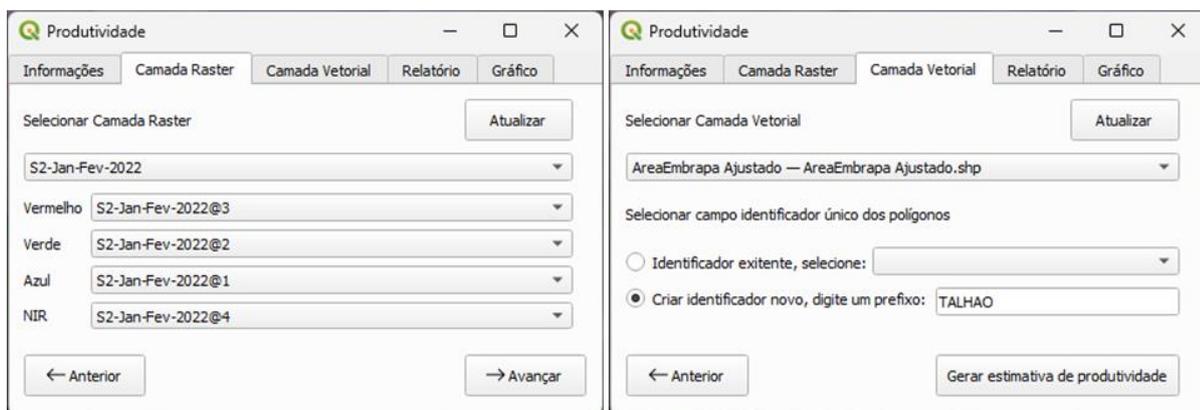


FIGURA 1. Interface de seleção da camada raster e camada vetorial.

**Processamento de dados:** A API Python do QGIS, o PyQGIS, é uma interface de programação que permite interagir com o QGIS usando a linguagem Python. Essa estratégia foi fundamental para o desenvolvimento deste complemento, pois fornece acesso às funcionalidades e aos dados do QGIS de maneira automatizada.

Após a entrada de dados e o acionamento pelo usuário da opção "Gerar estimativa de produtividade", classes e métodos do PyQGIS são acionados para realizar operações de geoprocessamento até o objetivo de produzir o mapa de estimativa de produtividade da seguinte forma: 1) Após obter os nomes das camadas raster e da camada vetorial selecionadas pelo usuário por meio das caixas de seleção, são obtidos os caminhos para as camadas selecionadas para poder manipulá-las; 2) Em seguida são criadas duas novas camadas ocultas no formato imagem, uma para o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Rouse et al., 1974) e uma para o VARI (Visible Atmospherically Resistant Index)(Gitelson et al., 2002), que são os índices vegetativos previstos para serem utilizados

pelo modelo estatístico de estimativa. Isso é feito usando a classe *QgsRasterCalculator* do PyQGIS, que permite realizar cálculos em bandas; 3) A média dos índices vegetativos por talhão é então calculada com o *QgsZonalStatistics*, classe do PyQGIS que permite calcular estatísticas para áreas definidas em uma camada de vetor (as zonas) com base em uma camada no formato imagem, atribuindo-os a novos campos de uma camada temporária utilizada para acessar atributos preditores e armazenar o resultado da estimativa de produtividade; e 4) A área de cada polígono, em hectare, também é avaliada por meio da classe *QgsExpression* do PyQGIS.

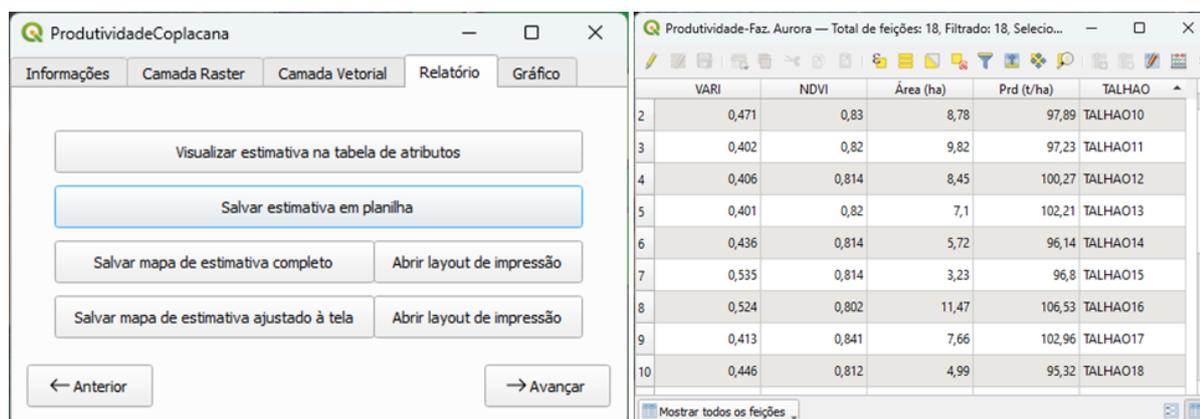
Com isso, obtém-se o conjunto de dados necessários para obter a estimativa de produtividade para cada polígono da camada vetorial, representando cada talhão produtivo. Para o cálculo correto dos dados é necessário que não ocorra sobreposição entre os polígonos e que cada um deles represente o contorno fidedigno de cada talhão da cultura.

**Uso da API e acesso aos resultados:** A abordagem utilizada para estimar a produtividade (Vasconcelos et al, 2023) baseou-se em um modelo estatístico semiparamétrico desenvolvido na linguagem de programação R (R Core Team, 2023), ajustado em uma função de predição encapsulada pelo pacote Plumber (Schloerke B, 2023). Por meio deste pacote, foi gerada uma API (Ofoeda et al., 2019). Para o desenvolvimento e teste deste complemento, a API foi hospedada em uma máquina virtual da estrutura de rede da Embrapa Agricultura Digital e disponibilizada a usuários da rede local por meio de um endereço de sub-rede.

Por meio de uma requisição HTTP GET, o conjunto de dados (Área, NDVI, VARI) de todos os talhões é enviado a API, que retorna com a estimativa de produtividade em formato JSON. Após a requisição, a camada vetorial original é duplicada, dando origem a uma nova camada vetorial temporária com novos campos adicionados a sua tabela de atributos: Área, NDVI, VARI, e a produtividade estimada, em tonelada/hectare (t/ha).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da estimativa de produtividade pode ser visualizado de múltiplas formas. Logo após o usuário clicar em *Gerar estimativa de produtividade* (Figura 1), uma aba do complemento é exibida com opções para visualizar os resultados (Figura 2). A estimativa de produtividade pode ser visualizada em tabela de atributos, em um mapa da extensão da propriedade (Figura 3) com uma paleta de cores que representa o resultado, conforme a legenda, em um *layout* de impressão do QGIS, o que permite ao usuário eventuais ajustes manuais no texto antes de imprimir ou exportar em formatos como PDF, e salvar em formato de planilha. A produtividade numérica do talhão é exibida, ou não, automaticamente conforme a disponibilidade de espaço na tela. Discussões sobre erros de estimativa em relação à produtividade real não foram o foco deste trabalho e já foram abordadas no artigo de referência do modelo utilizado (Vasconcelos et al, 2023).



The image shows two windows from the QGIS application. The left window, titled 'ProdutividadeCoplacana', has tabs for 'Informações', 'Camada Raster', 'Camada Vetorial', 'Relatório', and 'Gráfico'. The 'Relatório' tab is active, displaying several buttons: 'Visualizar estimativa na tabela de atributos', 'Salvar estimativa em planilha', 'Salvar mapa de estimativa completo', 'Abrir layout de impressão', 'Salvar mapa de estimativa ajustado à tela', and 'Abrir layout de impressão'. There are also navigation buttons for 'Anterior' and 'Avançar'. The right window, titled 'Produtividade-Faz. Aurora', shows a table of attributes for 18 features. The table has columns for VARI, NDVI, Área (ha), Prd (t/ha), and TALHAO. The data is as follows:

	VARI	NDVI	Área (ha)	Prd (t/ha)	TALHAO
2	0,471	0,83	8,78	97,89	TALHAO10
3	0,402	0,82	9,82	97,23	TALHAO11
4	0,406	0,814	8,45	100,27	TALHAO12
5	0,401	0,82	7,1	102,21	TALHAO13
6	0,436	0,814	5,72	96,14	TALHAO14
7	0,535	0,814	3,23	96,8	TALHAO15
8	0,524	0,802	11,47	106,53	TALHAO16
9	0,413	0,841	7,66	102,96	TALHAO17
10	0,446	0,812	4,99	95,32	TALHAO18

FIGURA 2. Relatório de resultados e tabela de atributos com novos campos calculados.

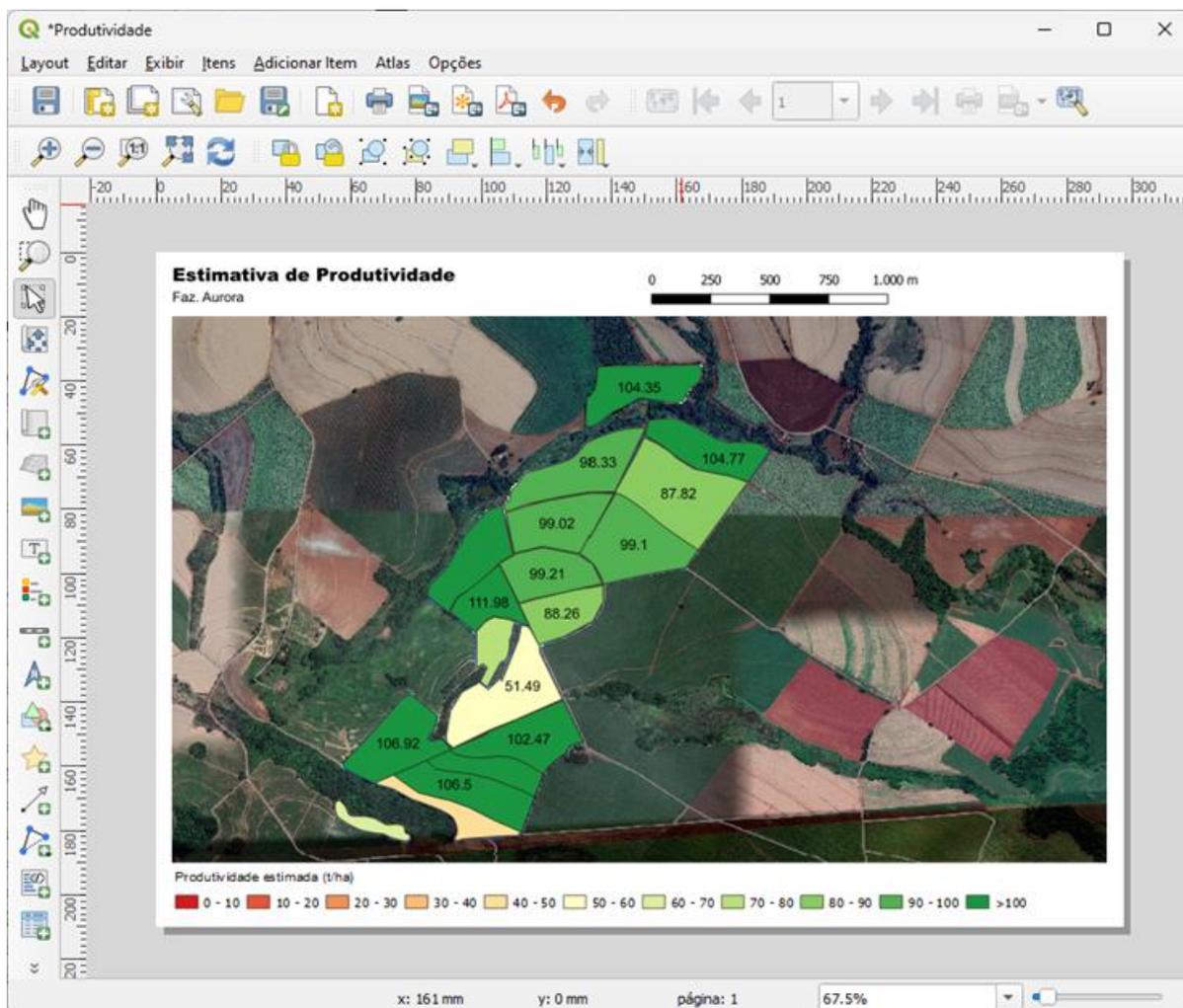


FIGURA 3. Layout de impressão gerado

## CONCLUSÃO

O complemento desenvolvido no QGIS atingiu os requisitos definidos e demonstrou que a plataforma é uma alternativa viável de aplicação no contexto temático da agricultura digital. A aplicação de suas funcionalidades desenvolvidas a partir do modelo estatístico desenvolvido pela Embrapa Agricultura Digital em parceria com a Coplacana se mostrou eficiente para estimar a produtividade de áreas comerciais de cultivo da cana-de-açúcar com antecedência em relação à colheita.

A solução de acesso ao modelo via API se mostrou eficaz e apresenta o benefício de manter um certo nível de proteção à propriedade intelectual associada ao desenvolvimento do modelo e aos dados de treinamento. Em um próximo passo serão exploradas alternativas para tornar o uso do complemento de estimativa de produtividade mais amigável ao usuário final, com acesso via aplicativo para dispositivos móveis. Além disso, alternativas para uso no complemento do QGIS de imagens multiespectrais provenientes de satélites ou ARP deverão ser implementadas em futuras versões, facilitando a experiência do usuário.

Os resultados apresentados demonstraram que um usuário familiarizado com o uso do QGIS teria condições de utilizar o complemento desenvolvido para obter estimativas de produtividade em lavouras comerciais de cana-de-açúcar, utilizando unicamente como fonte de informação imagens obtidas por satélites ou mesmo ARP. Portanto, a ferramenta apresentada neste trabalho possui funcionalidades capazes de auxiliar no planejamento, na gestão e na tomada de decisão de forma mais assertiva pelos canavicultores e usinas. Além disso, devido ao êxito da abordagem, estratégias

semelhantes deverão ser desenvolvidas para aplicação na estimativa de produtividade em outros cenários agrícolas, incluindo outras culturas tais como soja e milho.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Especialista Visitante 3 concedida para o estudante do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) Caio S. Arantes. A Embrapa e a Coplacana pelo auxílio financeiro por meio do projeto SEG 30.19.90.005.00.00, intitulado "Desenvolvimento de soluções tecnológicas com escopo na recuperação da produtividade da cana-de-açúcar".

## **REFERÊNCIAS**

EMBRAPA AGRICULTURA DIGITAL. **Desenvolvimento de soluções tecnológicas com escopo na recuperação da produtividade da cana-de-açúcar**. Projeto Embrapa - Coplacana, código SEG 30.19.90.005.00.00. 35p., 2019.

GITELSON, A. A. ET AL. Vegetation and soil lines in visible spectral space: A concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 13, p. 2537-2562, 2002.

VASCONCELOS ET AL. **Development and Validation of a Model Based on Vegetation Indices for the Prediction of Sugarcane Yield**, *AgriEngineering* 2023, 5(2), 698-719; <https://doi.org/10.3390/agriengineering5020044>, 2023.

SCHLOERKE B, ALLEN J. **Plumber: An API Generator for R**. <https://www.rplumber.io>, Disponível em: <<https://github.com/rstudio/plumber/>>. Acesso em: 03 de abril de 2024.

PAGANI, VALENTINA ET AL. Forecasting sugarcane yields using agro-climatic indicators and Canegro model: A case study in the main production region in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 154, p. 45-52, 2017.

QT GROUP. **Qt Designer with QGIS 3.28.8 custom widgets**. Disponível em: <<https://www.qt.io/>>. Acesso em: 03 de abril de 2024.

QGIS.org. QGIS 3.28. **Geographic Information System API Documentation**. QGIS Association. Disponível em: <https://qgis.org/pyqgis/3.28/index.html>. Acesso em 26 mar. 2024.

JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. **Interpreting vegetation indices**. *Prev. Vet. Med*, 11, 185-200, 1991.

OFOEDA, J.; BOATENG, R.; EFFAH, J. Application programming interface (API) research: A review of the past to inform the future. **International Journal of Enterprise Information Systems (IJEIS)**, v. 15, n. 3, p. 76-95, 2019.

PEREIRA, G. W. ET AL; **Smart-map: An open-source QGIS plugin for digital mapping using machine learning techniques and ordinary kriging**. *Agronomy*, 12(6), 1350, 2022.

RATCLIFF, C., GOBBETT, D., & BRAMLEY, R. (2018). **PAT and QGIS-your new best mates for PA data analysis**. In: 21st Precision Agriculture Symposium, Sydney Institute of Agriculture. Proceedings... Adelaide, v.1, p. 47-49, 2018.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In: Fraden, S.C., Marcanti, E.P., Becker, M.A. (Eds.), Third ERTS Symposium. Proceedings... Washington D.C., NASA, v. 1, p. 309-317, 1974.

R CORE TEAM. **The R Project for Statistical Computing**. 2024. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 03 de abril de 2024.