

ACOMPANHAMENTO DO DESENVOLVIMENTO DE EUCALIPTO POR SENSORIAMENTO ORBITAL

GABRIEL FERRAZ TOLEDO ¹; MARCELO CHAN FU WEI ²; JOSÉ PAULO MOLIN ³

¹ Graduando em Engenharia Agrônoma, Estudante, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. de Biosistemas, Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz.

² Eng. Agrônomo, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

³ Eng. Agrônomo, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão e Digital - ConBAP 2024
Porto Alegre, RS, 2 a 4 de julho de 2024

RESUMO: A produção florestal brasileira tem se elevado em nível de importância nos últimos anos, com o aumento da demanda por matérias primas e principalmente por fontes de energia renováveis. A fim de suprir tal demanda, novas técnicas de gestão e tecnologias vêm sendo empregadas na silvicultura, com o objetivo de alcançar maior produtividade e lucratividade, porém de forma sustentável. Dentre os novos sistemas de gestão utilizados está a agricultura de precisão, que leva em consideração a variabilidade espacial e temporal do campo para melhorar a eficiência, especialmente na utilização de insumos agrícolas. Com isso surgem diversas oportunidades, como a possibilidade de acompanhar o desenvolvimento da cultura do eucalipto por meio de sensoriamento remoto, reduzindo o grau de complexidade e onerosidade da coleta de dados para o gerenciamento de florestas plantadas. Desta forma, esse estudo propõe o acompanhamento do desenvolvimento da cultura a partir de índices vegetativos gerados com a utilização de dados orbitais, assim como analisar a viabilidade da aplicação desta técnica na silvicultura.

PALAVRAS-CHAVE: Landsat; NDVI; Índices vegetativos

INTRODUÇÃO: Apesar do desenvolvimento tecnológico ter proporcionado ganho de produtividade na maior parte das atividades agrícolas, observa-se nos últimos anos, uma queda significativa na produtividade das florestas plantadas com árvores do gênero *Eucalyptus*. Segundo os dados dos relatórios anuais oferecidos pela Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), de 2014 até 2022, a produtividade anual das florestas plantadas caiu de 39 m³ para 32,7 m³ por ha. Nesse sentido, torna-se imprescindível a aplicação de sistemas de gestão e monitoramento para realizar correções de modo a aumentar a efetividade e a produtividade das florestas plantadas, como é o caso da Agricultura de Precisão (AP). "A AP é uma estratégia de gestão que reúne, processa e analisa dados temporais, individuais e espaciais e os combina com outras informações para apoiar as decisões de gerenciamento de acordo com a variabilidade estimada para melhorar a eficiência no uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agropecuária." (ISPA, 2024). Dessa forma, a utilização desse sistema de gestão de forma ampla na cultura do eucalipto se torna um método importante para elevarmos a oferta de matérias primas e energia de forma sustentável. A aplicação da AP depende da disponibilidade de dados e medições locais que suportem a tomada de decisão, sendo dependente da resolução espacial. Em florestas plantadas, a amostragem dos dados, principalmente relacionados à produtividade, é feita com o uso do inventário florestal (FLORIANO, 2021), estimativa de baixa resolução espacial que é extrapolada para uma extensa área e é considerada um processo caro e oneroso. Como alternativa à coleta de dados em campo para monitoramento e planejamento florestal recorre-se ao uso do sensoriamento remoto (SR) (KÄFER et al., 2018), que é definido como "obtenção de informações de um objeto sem existir um contacto físico com o mesmo, e muitas vezes à longas distâncias" SHIRATSUCHI et al., 2014). Entretanto, o SR é utilizado com dados de baixa resolução espacial, no caso, inventário florestal, podendo não representar fidedignamente o comportamento espacial da cultura. Dessa forma, torna-se necessário utilizar camadas de dados de produtividade com maior resolução espacial juntamente com os dados do SR na tentativa de melhorar o entendimento dos padrões espaciais relacionados ao desenvolvimento da cultura.

OBJETIVOS: Analisar o desenvolvimento do eucalipto utilizando dados orbitais e mapas de produtividade em alta resolução espacial.

MATERIALE MÉTODOS: O estudo foi realizado com dados de um talhão cultivado com *Eucalyptus grandis* localizado no estado de São Paulo, disponibilizados em DIAS (2021). A área está situada no município de Anhembi (coordenadas geográficas 22°54'57" de latitude Sul e 48°14'33" de longitude Oeste e dimensão de 18,56 ha, com solos classificados majoritariamente como neossolo), a floresta foi implantada em 2011 com um espaçamento entre linhas de 3,80 m e entre plantas de 2,10 m e colhida entre 10 de dezembro de 2018 e 07 de janeiro de 2019. Com o intuito de remover pontos discrepantes do conjunto de dados de produtividade, foi realizada a filtragem com o uso do programa MapFilter 2.0 (Maldaner; Molin; Spekken; 2021) adotando os critérios a seguir: (a) filtragem global - limite de variação de 75% e (b) filtragem local - dependência espacial de 100 m e limite de variação de 25%. Após a filtragem, os dados foram interpolados pelo método da krigagem ordinária com grade de 30 m x 30 m pelo ajuste do modelo "linear com patamar". Os dados orbitais foram obtidos da plataforma Earth Explorer com imagens de resolução espacial de 30 m x 30 m entre os anos de 2013 e 2018 com filtro de cobertura de nuvem de até 80% do sensor Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2. A partir dos dados orbitais, foi calculado do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI - Eq. 1).

$$NDVI = (IV - V) / (IV + V) - \text{Eq. 1},$$

onde, IV = Valor do fluxo radiante no comprimento de onda correspondente ao infravermelho próximo; V = Valor do fluxo radiante no comprimento de onda correspondente ao vermelho.

A análise descritiva dos dados foi realizada no conjunto de dados de produtividade e NDVI, seguida da análise de correlação de Pearson (r - Eq. 2). A partir dos resultados da correlação de Pearson, foram selecionadas as cinco datas nas quais o NDVI que apresentara maior correlação com a produtividade e foram gerados os seus mapas de superfície com o uso do programa QGIS 3,28 (QGIS Development Team, 2024) e plugin Smart-MAP (PEREIRA et al,2022).

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \\ \text{. Eq. 2.}$$

Onde, r = Coeficiente de correlação de Pearson; \bar{x} = Média aritmética simples dos valores de X; \bar{y} = Valor assumido pela variável dependente; \bar{y} = Média aritmética simples dos valores de y.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A partir dos dados temporais de NDVI de 2013 a 2018, observa-se que existe uma amplitude de valores por data, tendo maiores ou menores amplitudes. Esse fenômeno está associado à complexa interação Commented [A1]: qual resolução. O Sensoiamento remoto tem 4 resoluções: radiométrica, espectral, espacial e temporal Commented [A2]: quais índices de vegetação. somente está citado o NDVI Commented [A3]: menores amplitudes fisiológica da cultura com as variáveis locais (i.e., pluviosidade, disponibilidade de nutrientes, entre outros) (Figura 1).

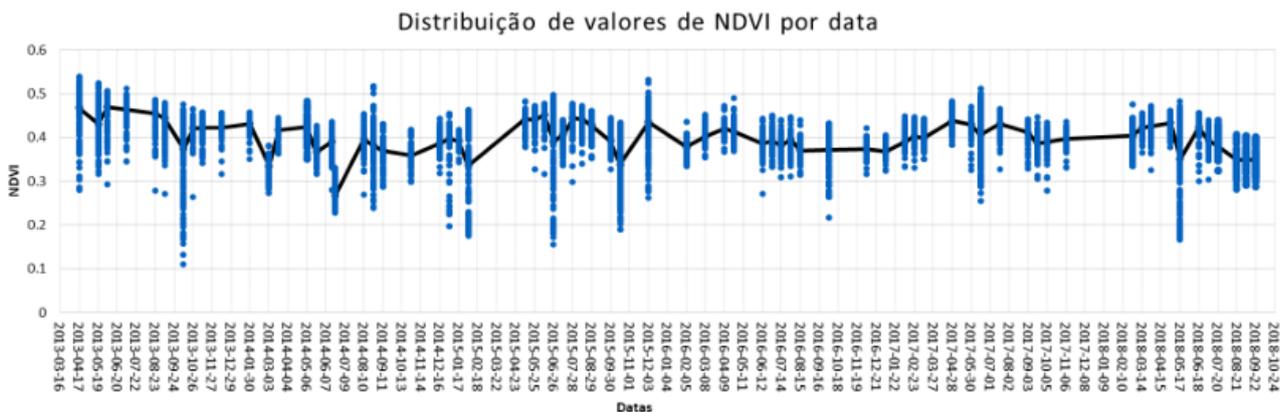


FIGURA 1. Gráfico de dispersão demonstrando os valores de NDVI para os pixels em cada dia avaliado no período.

Nota-se a discrepância dos valores médios de NDVI com relação aos esperados para a cultura do eucalipto, cujos valores são estimados entre 0,55 e 0,80 (Ferreira; Silva; Almeida; 2020, p.156) (Tabela 1). Essa discrepância condiz com a baixa produtividade atingida na área, como descrito por DIAS (2021), podendo ser atribuída ao baixo vigor da cultura, ocasionado provavelmente pela combinação de parâmetros como características químicas e físicas do solo, condições climáticas em períodos críticos da cultura, entre outros.

TABELA 1. Resultado das análises de estatísticas para o conjunto de dados.

| Parâmetros | Conjunto de dados de NDVI | Produtividade |
|---------------|---------------------------|---------------|
| Mínimo | 0.11 | 171.09 |
| Máximo | 0.54 | 303.98 |
| Média | 0.40 | 233.67 |
| Mediana | 0.40 | 232.81 |
| Desvio padrão | 0.05 | 24.86 |

Foi possível observar também uma variação sazonal do NDVI, ocasionada possivelmente pelo regime hídrico da região, aliado às características fisiológicas da cultura do eucalipto, que apresenta desfolhamento no outono e crescimento foliar na primavera, como aponta Manzatto (2018). Esse fator pode estar contribuindo com a rápida mudança dos valores de NDVI e dos índices de correlação entre datas próximas. A partir da análise de correlação linear de Pearson (Figura 2), obtivemos 32 datas nas quais o valor de correlação não foi significativo e 38 datas com valores significativos, todas apresentando fraca correlação ($r < 0,3$), sendo 23 de valor positivo e 15 de valor negativo. Esses resultados são opostos aos encontrados por MACEDO et al. (2017), na qual identificaram alta correlação negativa entre o NDVI e o volume de madeira estimado nas áreas. Porém ressalta-se que em seu estudo, ele foi conduzido com uma única imagem de satélite e resolução espacial distinta. No entanto, Manzatto (2018), identificou maior vigor e densidade em talhões nos quais a cultura apresentava maiores índices de NDVI. Essas divergências podem indicar que as características do sistema sensor utilizado para a obtenção dos dados influenciam diretamente no cálculo dos índices vegetativos e consequentemente, na correlação entre as variáveis.

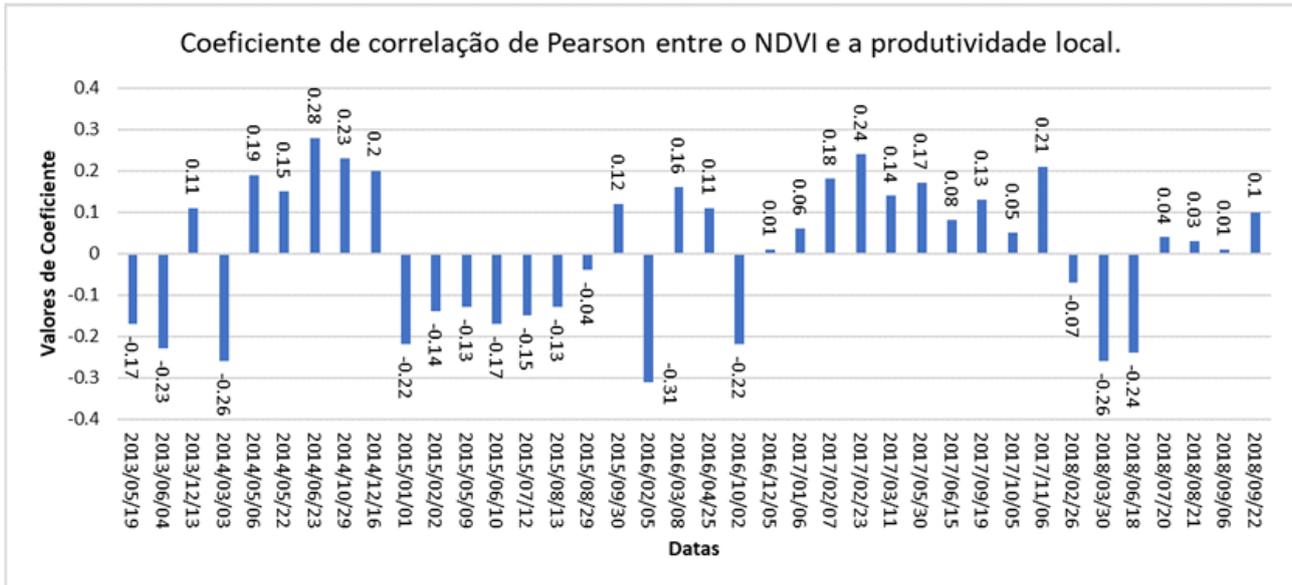


FIGURA 2. Dias cujo valor do coeficiente de correlação de Pearson foi significativo.

Comparando visualmente os mapas de produtividade e os cinco NDVI com maior correlação absoluta, observa-se que temporalmente existe uma variação entre os padrões de NDVI e que algumas regiões apresentam padrões parecidos com o mapa de produtividade. Porém, o padrão é dependente da data da imagem, o que pode afetar positivamente e/ou negativamente a interpretação dos resultados.

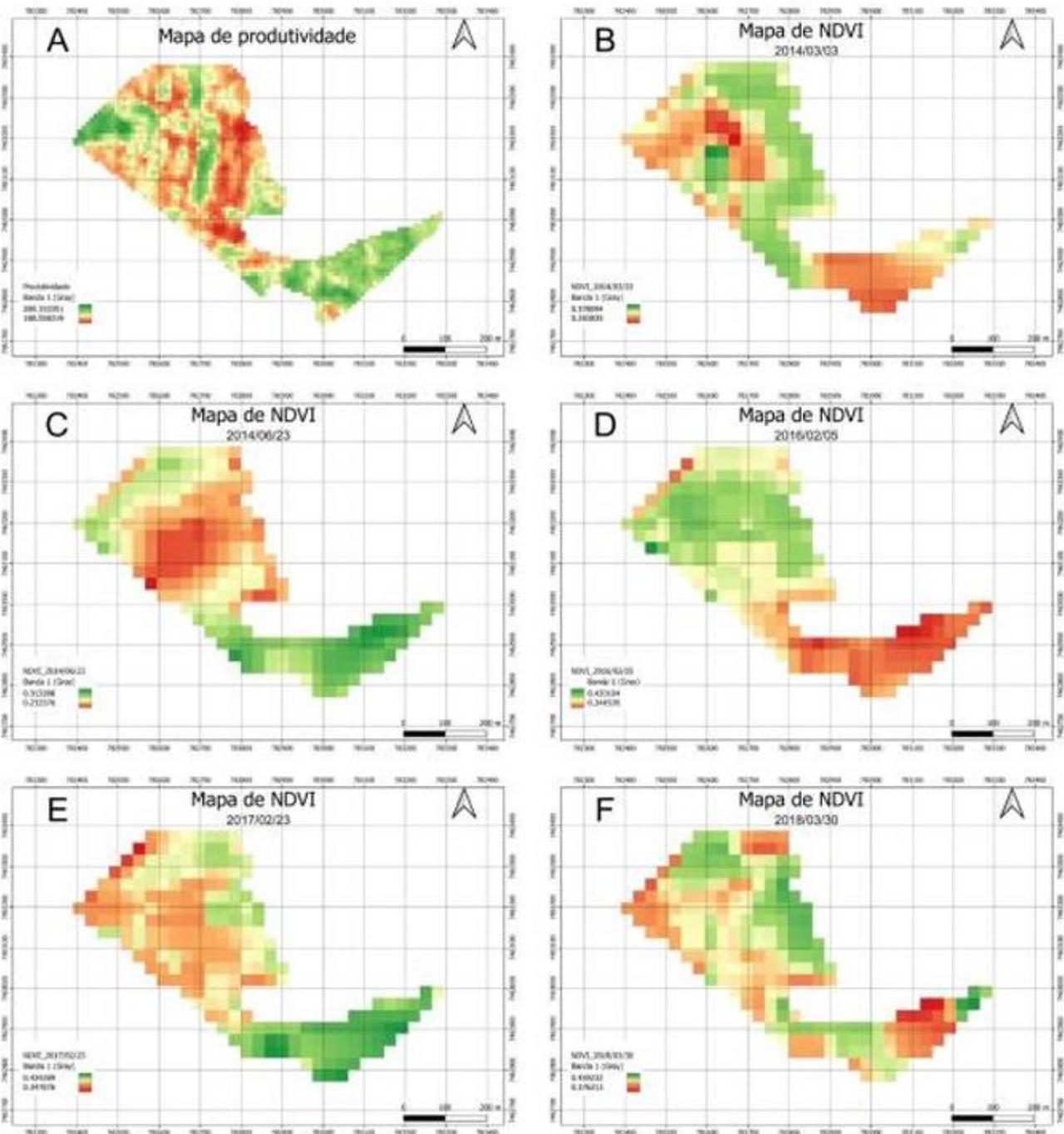


FIGURA 3. Mapas comparativos para maiores valores absolutos de correlação entre NDVI e produtividade.

A partir dos resultados, nota-se que o uso dos dados de NDVI temporalmente demonstra o comportamento do desenvolvimento da cultura, porém ela não necessariamente está linearmente correlacionada com a produtividade. Isso ressalta a necessidade do uso de camadas de dados adicionais para melhorar a interpretação do entendimento da variabilidade da lavoura em maior resolução espacial e/ou outros índices de vegetação. Além disso, ressalta-se que o uso de modelos não lineares e/ou modelos de regressões múltiplas lineares na tentativa de explicar os efeitos de outras variáveis na produtividade deve ser também considerado.

CONCLUSÃO: O NDVI, para a área e no período do estudo não demonstrou forte correlação linear com a produtividade e, portanto, apresenta pouca aplicabilidade para o monitoramento do desenvolvimento da cultura do eucalipto e para o gerenciamento da cultura. Recomenda-se realizar as análises para diferentes índices vegetativos e outras fontes de dados, obtidos por diferentes sistemas sensores como o satélite Sentinel, para averiguar as causas da baixa efetividade da técnica na área.

REFERÊNCIAS:

- BERNARDI, A. C. et. Al. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. P. 58-73. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1001965>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- DIAS, Rafael Donizetti. Avaliação da variabilidade espacial em plantações de eucalipto. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Sistemas Agrícolas, Departamento de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, p.88. 2021.
- DINIZ, J. M. F. S. et al. Aplicação de parâmetros polarimétricos e interferométricos derivados de imagens alos/palsar-2 para a estimativa de volume de madeira em florestas plantadas de Eucalyptus sp. Pinus sp. in: anais do xx simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, Florianópolis, p. 635-638. 2023.
- FERREIRA, G. H. C.; SILVA, L. A. P.; ALMEIDA, R. P. Mapeamento do uso e cobertura do solo e comportamento do NDVI para diferentes usos da terra em áreas de cerrado no norte de minas gerais . Revista Tocantinense de Geografia, [S. l.], v. 9, n. 18, p. 143-159, 2020. DOI: 10.20873/rtg.v9n18p143-159. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/geografia/article/view/9213>. Acesso em: 4 abr. 2024.
- FLORIANO, Eduardo Pagel. Inventário florestal. Edição do Autor. Rio Largo, AL: Centro de Ciências Agrárias: Universidade Federal de Alagoas, 2021. 135 p. ISBN: 978-65-00-21723-0. IBÁ (Org.). Relatório Ibá 2014. São Paulo, SP: Indústria Brasileira de Árvores, 2014. 100 p. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-2014-pt.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- IBÁ (Org.). Relatório Ibá 2023. São Paulo, SP: Indústria Brasileira de Árvores, 2023. 91 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- ISPA: International Society of Precision Agriculture. 2024. Disponível em: <https://www.ispag.org/about/definition>. Acesso em: 27 fev. 2024. KÄFER, P. S. et al. Modeling Pinus elliottii growth with multitemporal Landsat data: a study case in southern Brazil. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 24, p. 286-299, 2018.
- MACEDO, Fabrício Lopes de et al. Estimativa do volume de madeira para Eucalyptus sp. com imagens de satélite de alta resolução espacial. Scientia Forestalis, v. 45, n. 114, p. 237-247, 2017.. .
- MALDANER, L. F.; MOLIN, J. P.; SPEKKEN, M. Methodology to filter out outliers in high spatial density data to improve maps reliability. Scientia Agricola, v. 79, p. e20200178, 2021.
- MANZATO, Caroline Lourenço. Estimativa de biomassa e estoque de carbono na cultura do eucalipto por meio de sensoriamento remoto, Bauru, 2018.
- PEREIRA, G. W. et al. Smart-map: An open-source QGIS plugin for digital mapping using machine learning techniques and ordinary kriging. Agronomy, v. 12, n. 6, p. 1350, 2022.
- QGIS Development Team, 2024. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 28 Mar. 2024.