

Aplicação de sensoriamento remoto e geoprocessamento da palma forrageira para desenvolvimento da produtividade agropecuária em regiões semiáridas

Application of remote sensing and geoprocessing of forage palm for the development of agricultural productivity in semi-arid regions

Júlio Silva Corrêa de Oliveira Andrade¹; Gledson Luiz Pontes Almeida²; Daniel Pereira Morais³, Alex Souza Moraes⁴, Heliton Pandorfi⁵, Hernande Pereira Silva⁶

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, DTR, Recife/PE, Brasil. Email: julio.andrade@ufrpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5549-2480>

² Universidade Federal Rural de Pernambuco, DEAGRI, Recife/PE, Brasil. Email: gledson.almeida@ufrpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5813-4517>

³ Universidade Federal Rural de Pernambuco, DTR, Recife/PE, Brasil. Email: daniel2018morais@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7615-6920>

⁴ Universidade Federal Rural de Pernambuco, DTR, Recife/PE, Brasil. Email: alex.moraes@ufrpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4324-8271>

⁵ Universidade Federal Rural de Pernambuco, DEAGRI, Recife/PE, Brasil. Email: heliton.pandorfi@ufrpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2037-8639>

⁶ Universidade Federal Rural de Pernambuco, DEAGRI, Recife/PE, Brasil. Email: hernande.silva@ufrpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2040-6994>

Resumo: A região semiárida possui uma economia diversificada no setor agropecuário, no entanto, a seca gera grande prejuízo a atividade agrícola. Assim, a palma forrageira, surge como uma alternativa para o suprimento da alimentação do gado leiteiro. Com essa pesquisa, determinou-se a assinatura espectral da palma forrageira em diferentes idades de cultivos, através do sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando imagens de satélite. A análise multivariada mostrou que nos anos com precipitação acima da média está em oposição ao agrupamento que contém os menores valores das reflectâncias (nas bandas do visível e do infravermelho próximo), que indicam os períodos de maior cobertura da superfície do solo pela palma forrageira em relação à vegetação nativa. Contudo, foi possível o monitoramento da palma forrageira com diferentes graus de desenvolvimento, subsidiando as tomadas de decisão, no que concerne o manejo das áreas cultivadas com palma para aumento de produção leiteira no semiárido.

Palavras-chave: Análise multivariada de componentes principais; Infravermelho próximo; Landsat; Reflectância.

Abstract: The semi-arid region has a diversified economy in the agricultural sector, but droughts cause great damage to agricultural activity. For this reason, forage palm has emerged as an alternative for supplying dairy cattle with food. With this research, the spectral signature of forage palm at different crop ages was determined through remote sensing and geoprocessing, using satellite images. The multivariate analysis showed that the years with above-average rainfall are in opposition to the grouping containing the lowest reflectance values (in the visible and near-infrared bands), which indicate the periods of greatest coverage of the soil surface by forage palm in relation to native vegetation. However, it was possible to monitor the forage palm at different stages of development, providing support for decision-making regarding the management of areas cultivated with palm to increase milk production in the semi-arid region.

Keywords: Multivariate principal component analysis; Near infrared; Landsat; Reflectance.

1. Introdução

O Agreste pernambucano possui uma economia diversificada no setor agropecuário, com práticas de pecuária de leite e de corte, além cultivar lavouras de milho, feijão, fava e mandioca (Monteiro et al., 2007). Nesta região, a seca gera grande prejuízo, devido à redução de alimentos, provocando uma grande dificuldade de fixar o rebanho de gado (Reis Filho, 2014). Dessa forma, ocorre uma drástica redução na captação de leite nessas regiões de seca (IBGE, 2022).

Diante das constantes secas que ocorrem nas regiões Agreste e Sertão do estado de Pernambuco, surge a necessidade de uma fonte alternativa de alimento para os animais, visto que, as forrageiras comuns apresentam baixo potencial produtivo em regiões de secas extremas (Mattos, 2005). Portanto, a palma forrageira, surge como uma alternativa eficiente para o suprimento da alimentação do gado leiteiro (Epifânio, 2019).

A palma forrageira por ser uma cactácea que apresenta características morfofisiológicas de adaptação às condições de semiárido, passou a ser cultivada em larga escala pelos criadores das bacias leiteiras do Nordeste, principalmente de Pernambuco e Alagoas e recentemente no estado de Minas Gerais, constituindo-se numa das principais forrageiras para o gado de leite na época seca (Lira et al., 2006; Castro et al., 2020). Visto que a planta apresenta mecanismo fisiológico especial no que se refere à absorção, aproveitamento e perda de água, sendo bem adaptada às condições adversas destas regiões (Teles et al., 2002).

Estudos recentes demonstram que tecnologias baseadas em sensoriamento remoto permitem identificar com precisão o estado fisiológico da planta, avaliando parâmetros como teor de clorofila, hidratação e vigor (SANTOS et al., 2023). Essas informações auxiliam na tomada de decisões estratégicas sobre o momento ideal de colheita e o planejamento de pastagens suplementares (SILVA et al., 2024). Assim, a integração do sensoriamento remoto com práticas agrícolas melhora a produtividade e contribui para a sustentabilidade da produção pecuária.

Dessa forma, o sensoriamento remoto é a tecnologia capaz de acompanhar a expansão tecnológica do campo, auxiliando na delimitação de áreas e por meio dos dados adquiridos melhorando precisão de mapeamento (Zanotta et al., 2019). As imagens do projeto Landsat podem ser captadas no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), ou até mesmo no programa QGIS, pelo plugin Structured Conservation Planning (SCP), onde também serão geoprocessadas (Sette, 2018). Com isso, essas tecnologias vêm atuando em conjunto para auxiliar nas possíveis tomadas de decisões (Zanotta et al., 2019). A constante evolução dos softwares, torna possível a representação cartográfica mais próxima do real e otimiza o tempo de produção tornando mais precisa (Teixeira, 2018).

Em virtude dos avanços tecnológicos, já existem algumas ferramentas que contribui para o aparecimento de diversas metodologias tendo como prioridade reconhecer a assinatura espectral, como um tipo de vegetal é visualizado por imagem de satélite, com o foco de otimizar os trabalhos no campo de maneira remota (Crusiol et al., 2019; Sette, 2018). A interatividade entre a radiação solar, planta e sensor têm como produto informações biofísicas da vegetação, o que contribui com a identificação da área cultivada (Crusiol et al., 2018).

A medida em que ocorre o acúmulo de água, aumento da clorofila ou qualquer outra variação na planta, a assinatura espectral no infravermelho próximo é passível de ser visível (Formaggio, 2017). A palma forrageira possui característica de abundância em água, a maior parte de umidade das cactáceas estão presentes nos cladódios (Bezerra et al., 2015).

Nesse contexto, objetivou-se com esta pesquisa, determinar a assinatura espectral da palma forrageira em seis diferentes idades de cultivos, por meio de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando imagens do satélite Landsat 8.

2. Metodologia

2.1 Área de abrangência da pesquisa

A presente pesquisa foi desenvolvida em propriedade comercial de produção de leite, no município de Capoeiras-PE, localizada na microrregião do Vale do Ipojuca, da mesorregião do Agreste pernambucano, sob coordenadas UTM: Norte: 9.033.291,83 m, Leste: 761186,30 m, e altitude de 790 m.

Este município está inserido na bacia leiteira do estado de Pernambuco, ocupando a terceira posição do Agreste pernambucano, como produtor de leite (IBGE, 2022) (Figura 01). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é caracterizado como BSh (clima quente e seco). Com precipitação anual variando de 291 mm a 1043,04 mm, com uma precipitação média anual da ordem de com um índice pluviométrico inferior a 800 mm e risco de seca superior a 60%, com períodos chuvosos compreendido de março a junho (APAC, 2023).

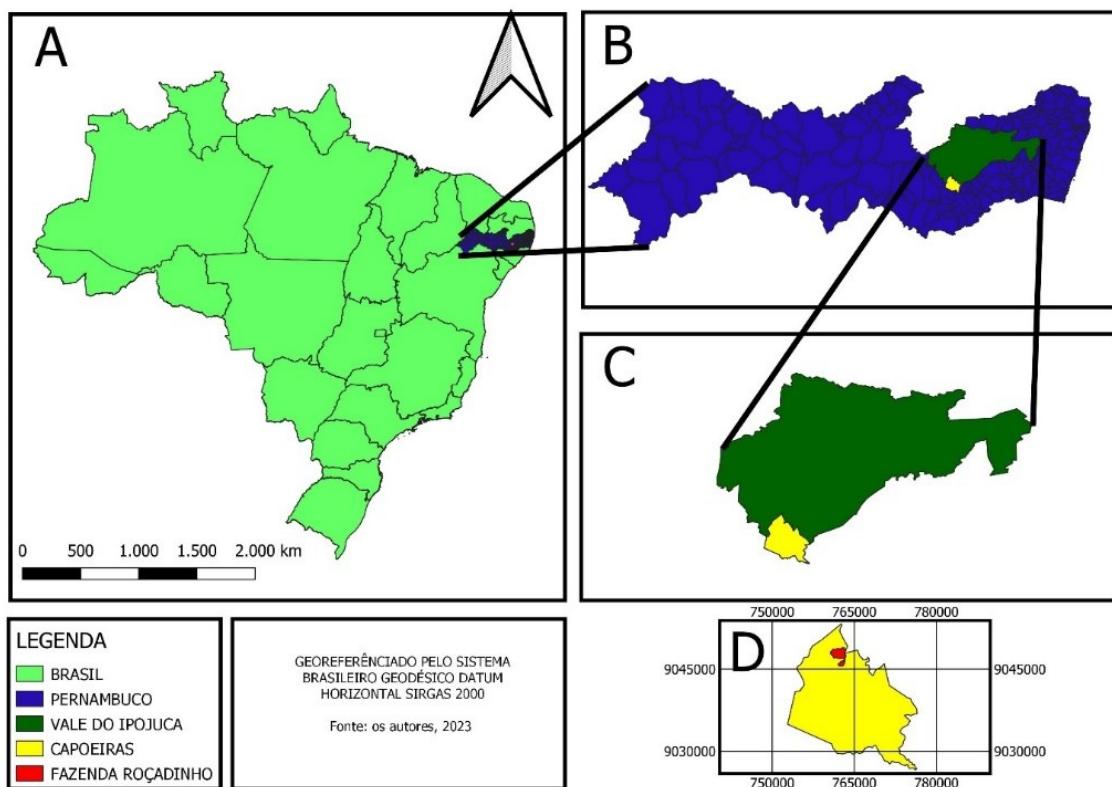


Figura 1 – Localização do município de Capoeiras, na microrregião do Vale de Ipojuca, PE, Brasil.
Legenda: (A) Pernambuco no Brasil, (B) Microrregião Vale do Ipojuca em Pernambuco, (C) Município de Capoeiras na Microrregião Vale do Ipojuca e (D) Propriedade comercial do município de Capoeiras.
Fonte: Autores (2023).

2.2 Coleta e análise de dados

Foi feito um levantamento topográfico planimétrico de seis áreas: Área 1 (3,8 ha); Área 2 (8,3 ha); Área 3 (3,8 ha); Área 4 (4,8 ha); Área 5 (3,2 ha) e 6 Área (3,5 ha), pois foram utilizadas como áreas de estudos da palma forrageira, na propriedade comercial do município de Capoeiras-PE, Figura 02.

Utilizou-se as imagens do dia 24 de outubro de 2019, 26 de outubro de 2020, 09 de novembro de 2021 e 08 de outubro de 2022 para determinar a assinatura espectral da palma forrageira, sabendo que essas áreas possuem diferentes idades da palma, Figura 02.

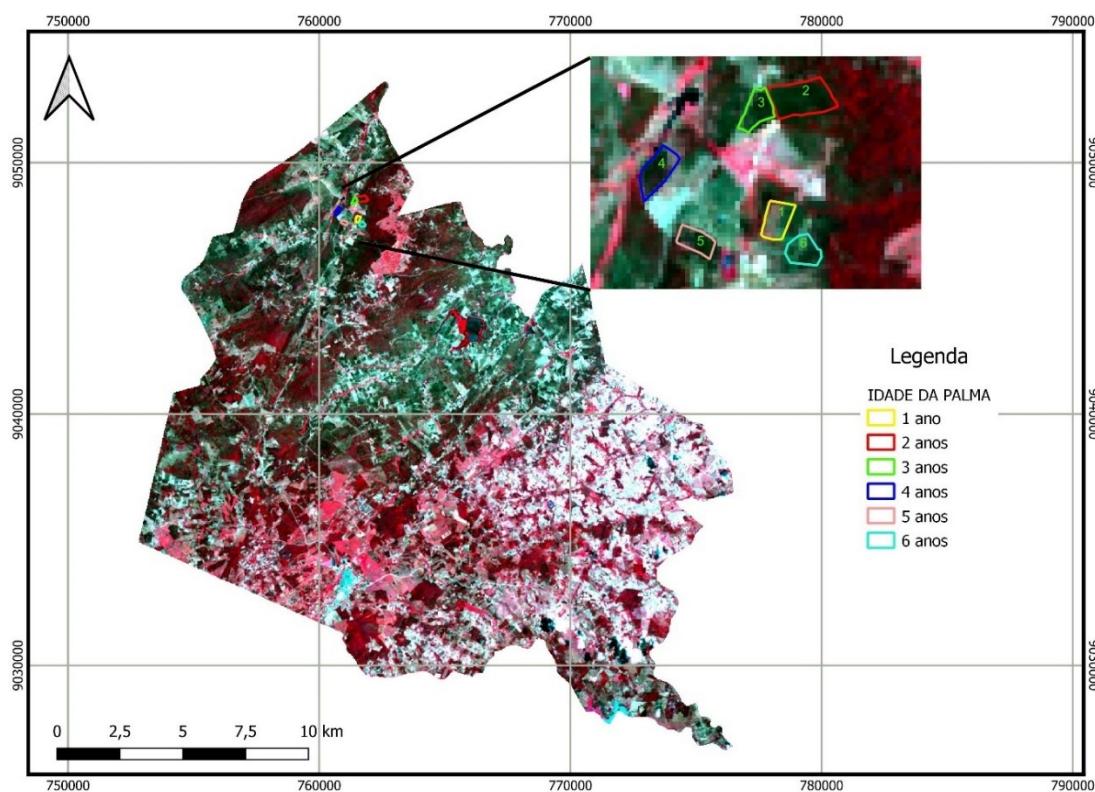


Figura 02 – Áreas selecionadas para capturas dos pixels para a determinação da assinatura espectral e respectivas idades da palma com imagem do Landsat 8, em outubro de 2022.

Fonte: Autores (2023).

Essas áreas foram utilizadas para a determinação da assinatura espectral da palma forrageira orelha de elefante (Figura 02). O levantamento topográfico foi realizado com Sistema Global de Posicionamento (Global Positioning System - GPS). As coordenadas foram pós processadas, para identificação das áreas das palmas, no programa de pós processamento GTR-processor.

As imagens do satélite Landsat 8 pelo sensor OLI/TIRS foram disponibilizadas pelo United States Geological Survey (USGS), em novembro de 2022, e em seguida tratadas no programa QGIS versão 3.22.5.

No geoprocessamento das imagens foi feito inicialmente a correção da refletância no topo da atmosfera (reflectância TOA) utilizando o plug-in Semi-Automatic Classification – (SCP), conforme a Equação 01, de acordo com USGS (2022).

$$R = (\text{Add.ref.} + \text{Mult.ref.} \times IB) / \text{sen}(\theta\text{SE}) \quad \text{eq. 01}$$

em que:

R - Reflectância TOA;

Add.ref - Fator de redimensionamento multiplicativo da reflectância ($2,0000 \times 10^{-5}$);

Mult.ref - fator de redimensionamento aditivo da reflectância (-0,10);

IB – Imagem da banda de interesse (B02, B03, B04, B05, B06 e B07);

sen (θSE) - Seno do ângulo de elevação solar local (0,907047055).

Inicialmente se realiza a Configuração inicial do SCP para carregamento da imagem de satélite desejada no formato GeoTIFF, em seguida é feita a Definição da banda de referência (correspondente ao infravermelho próximo). Logo após é feita a Correção atmosférica (usando o método DOS1 para corrigir distorções atmosféricas). Assim, realiza-se o Treinamento de amostras para desenhar as Regiões de Interesse (ROIs) nas áreas de vegetação, solo exposto e água. Posteriormente foi feito a Configuração de classificação escolhendo o método de classificação Maximum Likelihood. Por fim, realiza-se a Execução da classificação, verificando a matriz de confusão e ajuste as ROIs.

Em seguida fez-se a reprojeção das imagens corrigidas a reflectância TOA cujas bandas: azul, verdes, vermelhas, infravermelhos próximo e pancromática, para o DATUM SIRGAS 2000, na Zona 24 Sul. Posteriormente, realizou-se o recorte das imagens pela poligonal do município de Capoeiras. Nos sensores do Landsat 8, as bandas do visíveis e infravermelho próximo foram apresentados na Tabela 01.

Tabela 1 – Comprimentos de onda e suas devidas bandas do satélite Landsat 8.

Banda	Faixa	Comprimento de Onda (μm)
02	Azul	0,45 a 0,51
03	Verde	0,53 a 0,59
04	Vermelho	0,64 a 0,67
05	Infra vermelho proximo	0,85 a 0,88

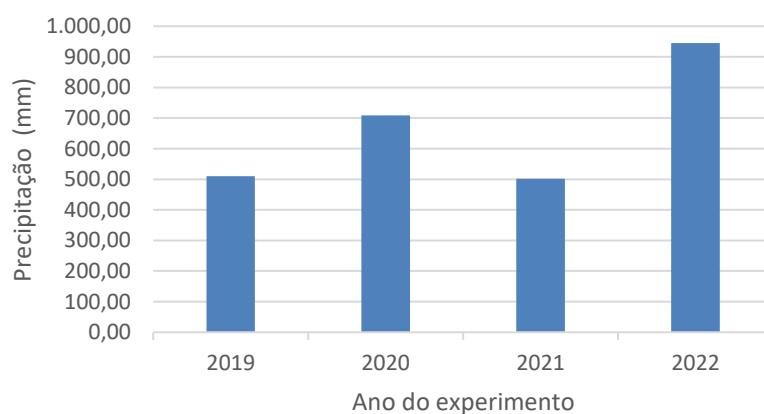
Fonte: Autores (2023).

Para a identificação da assinatura espectral foi utilizada a captura de vários pixels de cultivo da palma forrageira, vegetação nativa, pastagem e água pelo plug-in Semi-Automatic Classification – (SCP) do QGIS, a palma foi identificada nos pixels das seis áreas que foram selecionadas no presente estudo e que estão em destaque na Figura 07. Já a pastagem, vegetação nativa e água foram identificados nos pixels contidos na poligonal do município de Capoeiras-PE, que também se encontra na Figura 2.

Foi realizado uma análise de componentes principais (PCA) para reduzir a dimensionalidade de dados multivariados utilizados neste trabalho como: precipitação, palma forrageira, vegetação nativa e reflectâncias. Inicialmente, as variáveis foram normalizadas para remover escalas diferentes e garantir comparabilidade, em seguida os componentes principais foram selecionados com base na variância explicada. A interpretação dos resultados envolveu análise das cargas fatoriais para identificar quais variáveis têm maior influência em cada componente. No contexto agrícola, o PCA pode revelar padrões de integração entre as variáveis, auxiliando na compreensão de como a precipitação afeta a vegetação e a produtividade da palma forrageira em diferentes condições espetrais.

3. Resultados e discussão

A variação na precipitação entre os anos de 2019 e 2022 foi empregada como elemento de análise nesta pesquisa para avaliar sua associação com as reflectâncias por meio das técnicas de análise multivariada de componentes principais e de agrupamento. A média de precipitação durante esse período foi registrada em 666,42 mm, conforme demonstrado na Figura 03.



*Figura 03 – precipitação anual para os quatros anos de pesquisa.
Fonte: Autores (2023).*

A Figura 04 se refere a assinatura espectral da palma, em que se observa curva ascendente, variando de 0,02 a 0,19 de reflectância, compreendendo as bandas do visível e do infravermelho próximo, com os comprimentos de onda variando de 0,48 μm banda 02 (azul); 0,56 μm banda 03 (verde); 0,66 μm banda 04 (vermelho) e 0,87 μm banda 05 (infravermelho próximo).

Ao realizar a comparação da curva espectral da palma forrageira com outras vegetações como a pastagem e a vegetação nativa, observou-se que a palma apresenta refletância menor do que a pastagem, no comprimento de onda do infravermelho próximo, com variação de 15%, provavelmente, porque a palma armazena água em suas estruturas celulares (Lima et al., 2003). A vegetação nativa, por sua vez, exibe um comportamento espectral que se assemelha mais à palma forrageira. Essa semelhança pode ser atribuída possivelmente à presença de reservas de água nas células vegetais, conforme ilustrado na Figura 04.

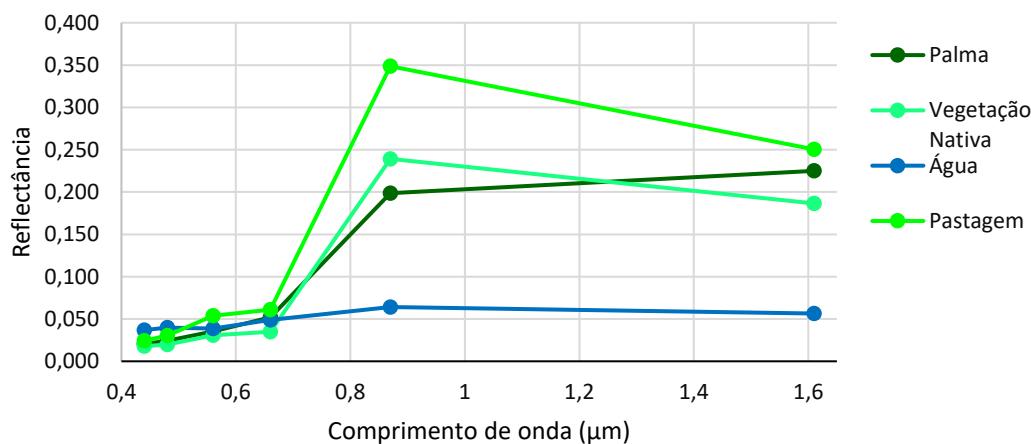


Figura 04 – Gráfico das assinaturas espetrais da pastagem, vegetação nativa, palma e água obtida na imagem do satélite Landsat 8.

Fonte: Autores (2023).

Em concordância com os mesmos parâmetros de reflectância, Batista et al. (2018) utilizando imagens do SENTINEL-2A, verificaram que as plantas de Paricá (*S. Parahyba*, var. *amazonicum*) possui valores baixos de reflectância na região do visível: azul (Banda 02), verde (Banda 03) e vermelho (Banda 04) abaixo de 5%; e altos valores, acima de 20% na região do infravermelho próximo (Banda 08). Em comparação com satélite desse trabalho (Landsat) as bandas azul, verde e vermelho, também, estão abaixo de 5%, porém, a do infravermelho próximo apresentou valor em torno de 19%, provavelmente devido ao acumulo de água nas células da palma ser maior do que na cultura de Paricá.

Pedrali et al. (2016) estudando o comportamento espectral de seis espécies arbóreas presentes na Universidade Federal de Santa Maria/RS, por meio do espetrorradiômetro FieldSpec 3, eles notaram que no comprimento de onda do infravermelho próximo as reflectâncias dessas seis espécies foram altas, variando de 47 a 58%, valores esses superiores ao dessa pesquisa, provavelmente, devido a uma menor quantidade de água em suas estruturas celulares.

Na análise estatística multivariada por componentes principais (Figura 05), verifica-se a influência da precipitação na refletância, estabelecendo assim uma relação clara entre essas variáveis. Nos anos de 2022 e 2020, em que as precipitações foram superiores (945 e 708 mm, respectivamente) em relação à média (666,42 mm), observou-se uma correlação positiva com a palma forrageira e a vegetação nativa. Em contrapartida, nos anos de 2019 e 2021, com precipitações mais reduzidas (510,36 e 501,89 mm, respectivamente), a relação foi negativa com a palma forrageira e a vegetação nativa.

Na componente principal (PC1) da porção esquerda, tem-se que os parâmetros: palma, vegetação nativa e as reflectâncias dos anos mais chuvosos (2020 e 2022) juntamente com o parâmetro precipitação. Em contrapartida, no lado direito no mesmo eixo, encontram-se os parâmetros de todas as bandas desta pesquisa: reflectância da banda do azul (R_B01 e R_B02), reflectância da banda o verde (R_B03), reflectância da banda do vermelho (R_B04), reflectância da banda do infravermelho próximo (R_B05) e reflectância da banda do infravermelho médio (R_B06 e R_B07) juntamente com os anos menos chuvosos (2019 e 2021). Isso mostra a variação da reflectância em função da precipitação, evidenciando que nos anos menos chuvosos as reflectâncias são maiores (Figura 05B).

Ainda na Figura 05A, tem-se que a reflectância medida no ano de 2020 para a área 3 com um ano de plantio (correspondente ao 2020.1) que deveria estar agrupado com os anos mais chuvosos, no entanto, encontra-se em lado oposto, podendo ter recebido alguma influência da área 3 (tipo de solo, declividade, profundidade de solo, etc).

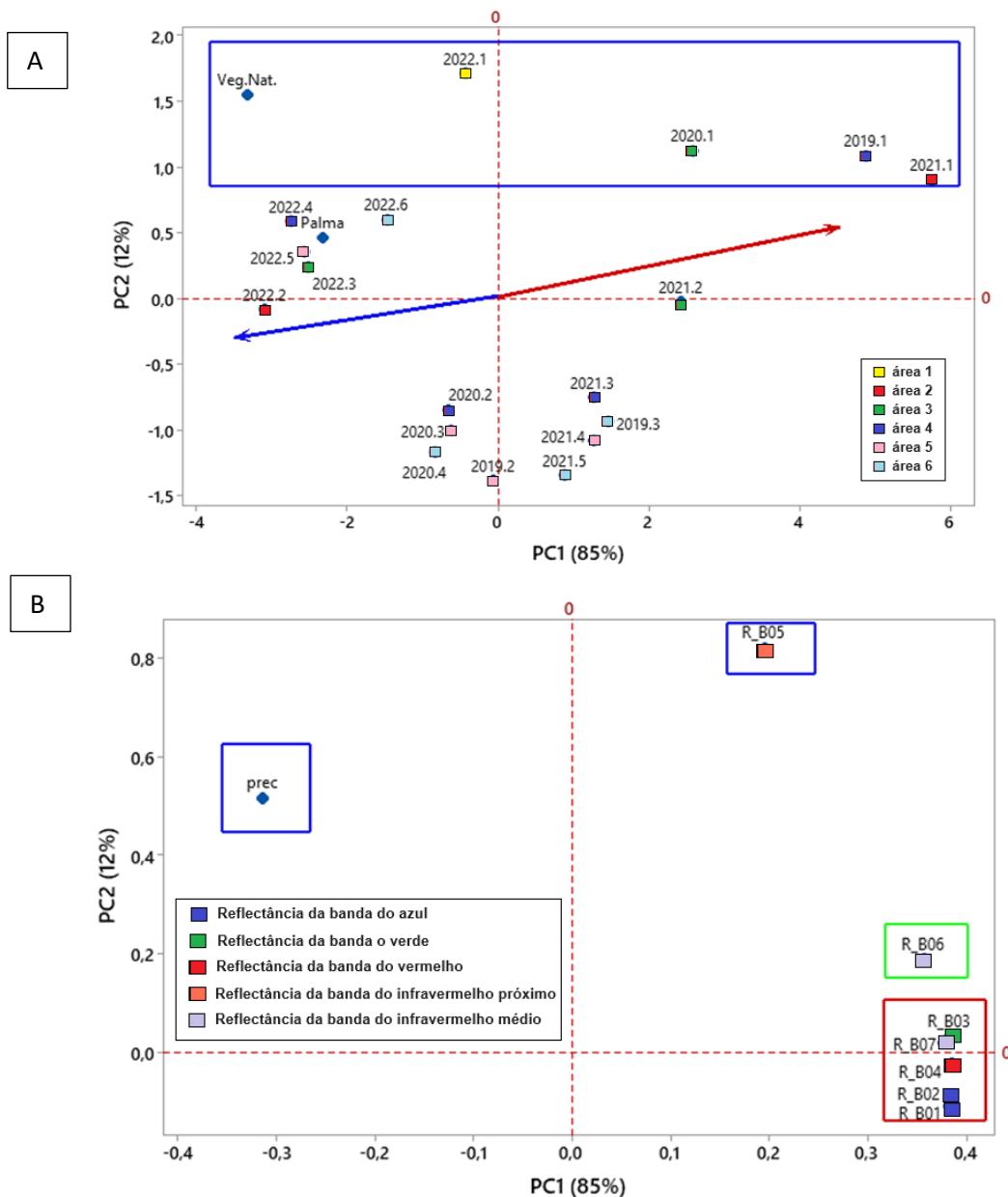


Figura 05 – Gráfico da análise multivariada por componentes principais.

* Veg. Nat. – Vegetação Nativa, prec. – precipitação.

Fonte: Autores (2023).

Na componente principal (PC2) da porção superior ou positiva, encontra-se o agrupamento do primeiro ano de plantio de todas as áreas (2019.1, 2020.1, 2021.1 e 2022.1), também se observa que a reflectância da vegetação nativa e o comprimento de onda do infravermelho próximo (R_B05) estão agrupados nesse componente principal. Isso sugere que

as áreas com apenas um ano de plantio e, consequentemente, ainda num estágio de desenvolvimento inicial, é predominantemente influenciada pela vegetação nativa e solo exposto em relação à palma (Figura 05B).

Ribeiro et al. (2019) ao analisarem a influência das estações do ano na vegetação do cerrado, observaram que o comportamento espectral é melhor de ser avaliado por meio dos comprimentos de onda das regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, corroborando a presente pesquisa, em que os autores notaram que no período chuvoso a vegetação se apresenta fotossinteticamente ativa, pelo fato da vegetação se encontrar mais verde.

Damasceno et al. (2020) analisaram a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Arcoverde (Pernambuco), concluindo que a precipitação influenciou positivamente no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), em que este índice é a subtração da banda do infravermelho próximo (NIR) e banda do vermelho dividido pela soma dessas duas bandas, ou seja, maior precipitação maior reflectância da banda do NIR.

Conforme o dendrograma apresentado na Figura 06, é perceptível o agrupamento dos anos 2019, 2020 e 2021, abrangendo as áreas 2, 3, 4, 5 e 6 plantadas. Por outro lado, o ano de 2022, juntamente com a palma forrageira e a vegetação nativa, forma outro agrupamento distinto.

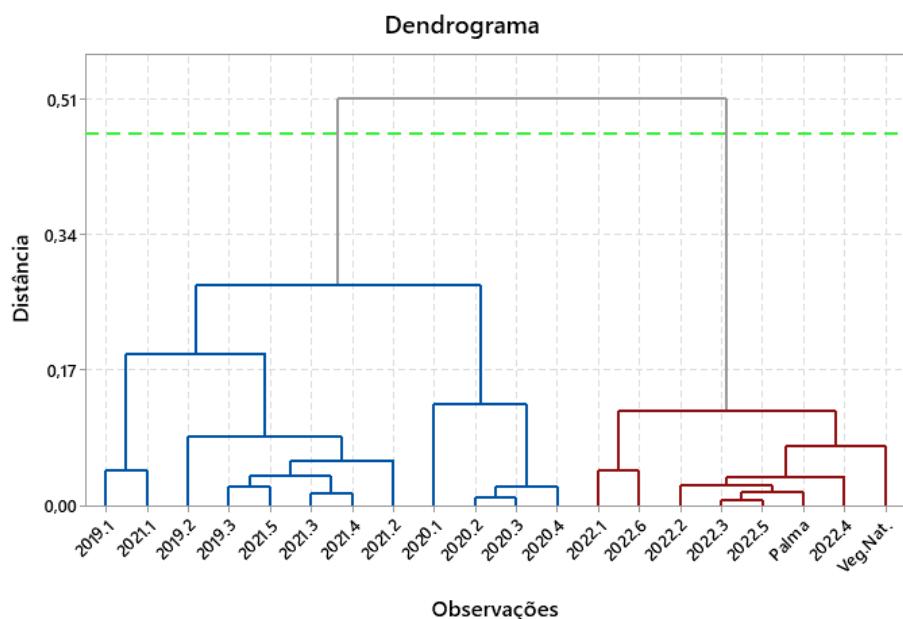
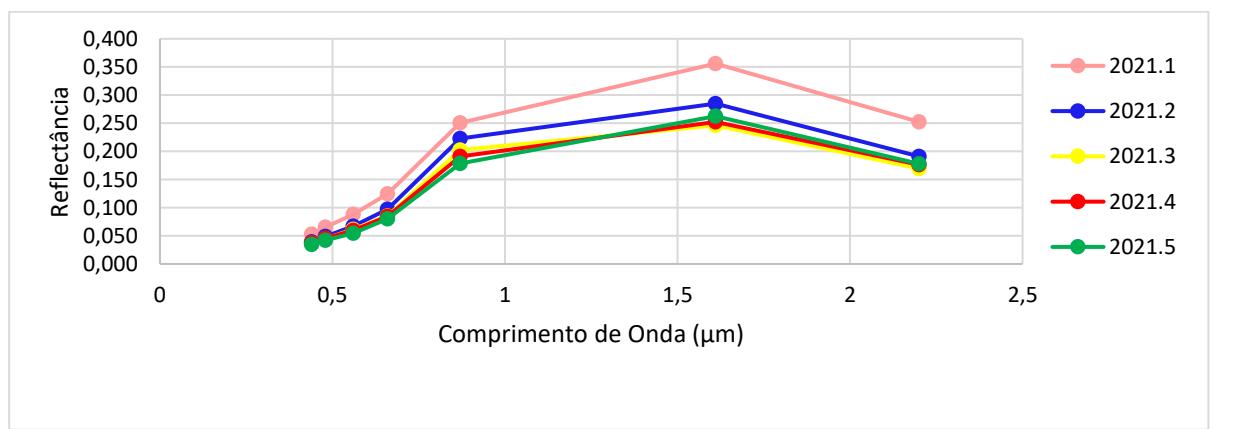
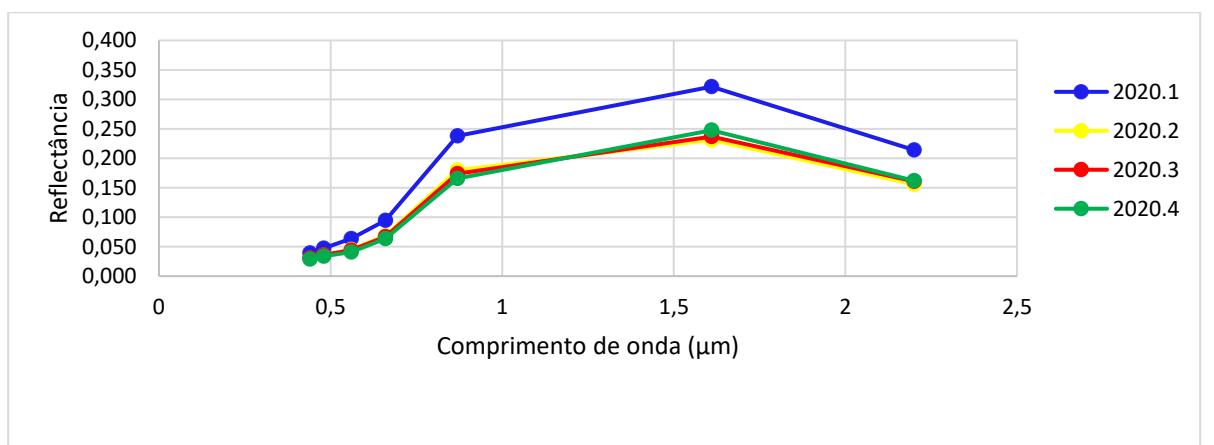
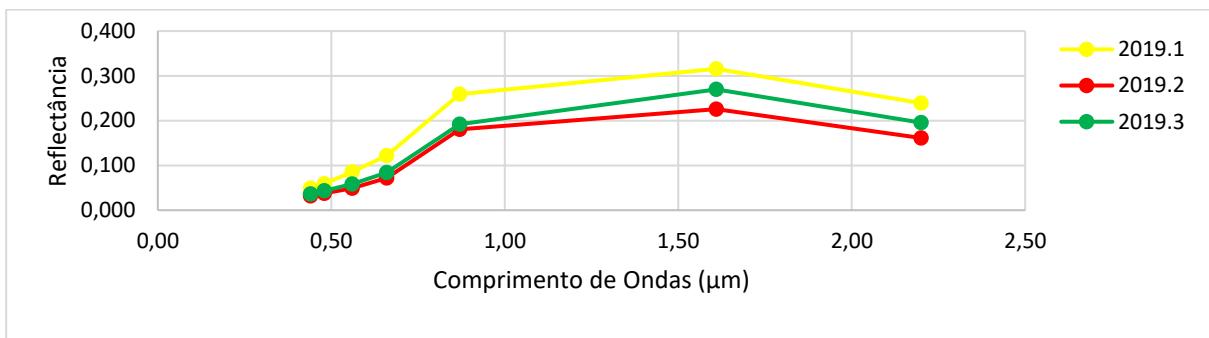


Figura 06 – Gráfico da análise multivariada de agrupamento de observação das seis áreas no período de quatro anos.
Fonte: Autores (2023).

Observando às assinaturas espectrais das quatros imagens adquiridas para as diferentes áreas de plantio (figuras 07, 08, 09 e 10), percebe-se que os valores das reflectâncias, no comprimento de onda que comporta a banda do infravermelho próximo, praticamente não apresenta diferença entre si, no segundo ano de plantio em diante. Apenas no primeiro ano de plantio as áreas apresentam curva da reflectância se distanciando dos demais anos de plantio, variando de 2 a 8% deste afastamento, pois essa dispersão pode estar relacionada com a precipitação ou com as características da área que foi realizado o plantio.

Pesquisando a assinatura espectral de alvos agrícolas (cana-de-açúcar) detectados em imagens do satélite WorldView-2, constatou-se uma pequena diferença entre as curvas espectrais da cana-de-açúcar sadia e com manchas na lavoura, esse comportamento pode ser resultado da mínima alteração estrutural da planta em consequência da infestação dessa doença (Ferreira Sobrinho e Alves, 2013). Esse resultado é importante na interpretação da assinatura espectral, uma vez que a mudança da coloração da cultura influenciara na curva da assinatura espectral.



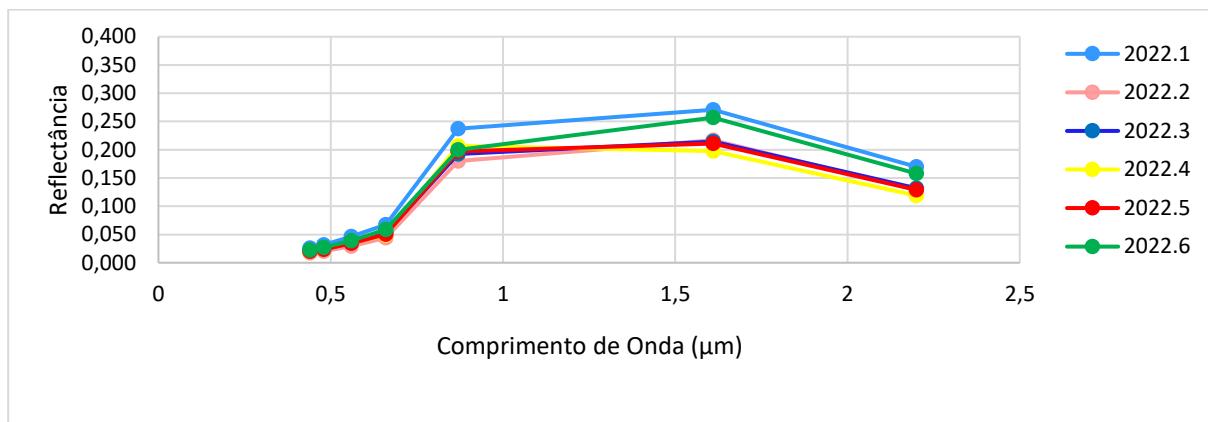


Figura 10 – Assinatura espectral da palma realizado no ano 2022.

* 2021.1 (área 1, um ano de plantio), 2021.2 (área 2, dois anos de plantio), 2021.3 (área 3, três anos de plantio), 2021.4 (área 4, quatro anos de plantio), 2021.5 (área 5, cinco anos de plantio) e 2021.6 (área 6, seis anos de plantio).

Fonte: Autores (2023).

As técnicas de sensoriamento remoto apresentam diversas limitações que podem impactar a precisão e a interpretação dos resultados. No presente estudo, desafios incluem a resolução espacial do sensor Landsat 8, que pode não capturar variações em áreas menores de cultivo. Além disso, a correção da refletância no topo da atmosfera (TOA) depende de condições atmosféricas no momento da aquisição, que podem introduzir erros caso não sejam devidamente modeladas. Outro fator é a disponibilidade de imagens com baixa cobertura de nuvens, o que pode limitar a periodicidade da análise. A determinação da assinatura espectral da palma forrageira também é influenciada pelas variações nas idades das plantas e no manejo agrícola entre áreas, dificultando a padronização. Por fim, o uso de dados multitemporais requer calibração cuidadosa para garantir a comparabilidade entre os anos, considerando mudanças na iluminação solar e características sazonais que podem confundir os resultados.

Assim, a assinatura espectral da palma forrageira, constitui uma ferramenta promissora no manejo agrícola, permitindo monitorar indicadores como teor de clorofila, umidade e vigor das plantas em tempo real. E esses dados obtidos por sensores multiespectrais ou hiperespectrais, auxiliam os produtores a identificar áreas com deficiência hídrica e podem priorizar a irrigação de maneira mais eficiente, reduzindo custos e desperdícios.

4. Considerações finais

As técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento contribuíram para determinar a assinatura espectral da palma nos seis anos de plantio e associar essas informações ao tipo de cultura, quantidade de água na célula e a idade da cultura. Em que a assinatura espectral da palma forrageira, devido a grande quantidade de água na estrutura celular, apresentou a curva de reflectância abaixo da curva de reflectância da pastagem e uma curva de reflectância bem próxima da vegetação nativa. Já analisando a assinaturas espectrais nos seis anos de plantio, foi possível identificar que o primeiro ano de plantio apresenta um intervalo maior de reflectância comparando com os demais anos.

Nas análises estatísticas multivariadas houve diferença nos anos com maior precipitação, apresentando valores de reflectância menores do que os anos de menor precipitação, indicando os períodos de menor adensamento da palma em relação a vegetação nativa. Tal dinâmica pode sugerir aos gestores públicos, que o uso dessas ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto podem subsidiar tomadas de decisão no que concerne às áreas utilizadas para monitoramento da palma com diferentes graus de crescimento e técnicas de plantio.

Referências

- APAC, Agência Pernambucana de Água E Clima – Histórico de chuvas. Disponível em <<http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>> Acesso em janeiro de 2023.
- BATISTA, F. J. et al. Comportamento Espectral de Paricá (*Schizolobium Parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) em Plantios com Diferentes Idades. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 82 – 95p. Vol. 4. 2018.

- BEZERRA, S.A.F., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., Moura, M.S.B., Moraes, J.E.F., Diniz, W.J.S., Queiroz, M.G., 2015. Demanda hídrica bruta da Palma Forrageira em cenários futuros de mudanças climáticas no Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 1628– 1643. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150092>
- CASTRO, I. N., Santos, S. R., Kondo, M. K. Maia, V. M. e Santos, C. C. R. Desempenho agronômico e eficiência no uso de água de cultivares de palma irrigada. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 33, n. 2, 2020.
- CRUSIOL, L. G. T. et al. Obtenção de assinatura espectral de cultivares de soja. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Reunião de pesquisa de soja, 37., 2019, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2019. (Embrapa Soja. Documentos, 413.), 2019.
- CRUSIOL, L. G. T. et al. Assinatura espectral de cultivares de soja submetidas a diferentes níveis de disponibilidade hídrica. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso. In: Congresso brasileiro de soja, 8., 2018, Goiânia. Inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.
- DAMASCENO, M. L., Pereira, J. A. S. e Schuler, C. A. B. Análise espaço temporal da cobertura vegetal do município de Arcoverde (Pernambuco). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.1, n.1, 2020.
- REIS FILHO, Raimundo José Couto; Oliveira, Francisco Zuza. Opções de produção de alimentos para a pecuária de Pernambuco-Uso das áreas irrigadas. 2014.
- EPIFÂNIO, N. M. L. S. Descritores morfológicos e indicador de metabolismo fotossintético em clones de Palma forrageira. 2019. 84 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.
- FORMAGGIO, Antonio Roberto; Sanches, Ieda Del'Arco. Sensoriamento remoto em agricultura. Oficina de Textos, 2017.
- GAMARRA, N. L. R., Corrêa, M. de P. e Targino, A. C. de L. Utilização de Sensoriamento Remoto no Estudo do Uso do Solo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, n.4, Londrina, 2014.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Trimestral do Leite. Captação de Leite Brasileira. 2022. Disponível em <[www. https://cidades.ibge.gov.br](https://cidades.ibge.gov.br)>. Acesso em Fev. 2023.
- LIMA, R. M. B., Ferreira, M. A. Brasil, L. H. A., Araújo, P. R. B., Verás, A. S. C., Santos, D. C., Cruz, M. A. O. M., Melo, A. A. S., Oliveira, T. N. e Souza, I. S. Substituição do milho por palma forrageira: comportamento ingestivo de vacas mestiças em lactação. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, Maringá, v. 25, p. 347-353, 2003.
- LIRA, M. A.; Santos, M. V. F.; Dubeux, J. C. B.; Farias, I.; Cunha, M. V.; SANTOS, D. C. In: Meio século de pesquisa com a palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) - ênfase em manejo. In: Guim, A.; Verás, A. S. C.; Santos, M. V. F. Zootec, 4., 2006, Recife. Anais... Recife: ABZ, 2006. CD Rom.
- MATTOS, Jorge Luiz Schirmer de; Gomide, José Alberto; Martinez Y Huaman, Carlos Alberto. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria*, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, p. 746-754, 2005.
- MONTEIRO, A. A., Tamanini, R., Silva, L. C. C., Mattos, M. R., Magnani, D. F., Ovidio, L., Nero, L. A., Barros, M. A. F., Pires, E. M. F., Paquereau, B. P. D. e Belotti, V. Características da produção leiteira da região do agreste do estado de Pernambuco, Brasil. *Ciências Agrárias*, Londrina, v. 28, n. 4, p. 665-674, 2007.
- RIBEIRO, R. C., Oliveira, F. e Anjos, C. S. Análise da resposta espectral da vegetação nativa do bioma cerrado nas diferentes estações do ano. In: INPE, 2019, Santos. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2019.
- SANTOS, J. A.; SILVA, R. B.; PEREIRA, L. F. Monitoramento espectral aplicado à palma forrageira: avanços e perspectivas. *Revista Brasileira de Agricultura Sustentável*, v. 15, n. 3, p. 45-62, 2023.
- SETTE, Gabriel; Ximenes, Leandro Ronchini. Técnicas de processamento de imagens multiespectrais de satélite para a discriminação e monitoramento de crescimento de plantas. *Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP*, n. 26, 2018.

SILVA, T. A.; OLIVEIRA, M. C.; ALMEIDA, P. R. Estratégias para a gestão alimentar em regiões áridas: o papel do sensoriamento remoto na pecuária sustentável. Ciência Rural, v. 54, n. 7, p. 125-140, 2024.

UGSG - United States Geological Survey. EarthExplorer. 2022. Disponível em <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em novembro de 2022.

TEIXEIRA, C. A., Oliveira, E. M e Silva, J. P. Software QGIS na produção de mapas temáticos para análise da microrregião de Boquira-BA. Geopauta, v. 2, n. 3, p. 35-44, 2018.

TELES, M. M.; Santos, M. V. F.; Dubeux Junior, J. C. B; Bezerra Neto, E.; Ferreira, R. L. C.; Lucena, J. E. C; Lira, M. A. Efeito da adubação e de nematicida no crescimento e na produção da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) cv. Gigante. Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, n.1, p.52-60, 2002.

ZANOTTA, D.C.; Ferreira, M.P. e Zortea, M. Processamento de imagens de satélite. Editora Oficina de Textos. São Paulo.2019.