



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ALLEF DE SOUZA SILVA

**SENSORIAMENTO REMOTO SUBORBITAL DE ALTA RESOLUÇÃO NA
DETECÇÃO DA COCHONILHA ROSADA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Saccharicoccus sacchari (COCKERELL, 1895) (HEMIPTERA:
PSEUDOCOCCIDAE)

AREIA
2025

ALLEF DE SOUZA SILVA

**SENSORIAMENTO REMOTO SUBORBITAL DE ALTA RESOLUÇÃO NA
DETECÇÃO DA COCHONILHA ROSADA DA CANA-DE-AÇÚCAR
Saccharicoccus sacchari (COCKERELL, 1895) (HEMIPTERA:
PSEUDOCOCCIDAE)**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. José Bruno Malaquias

Coorientadora: Prof^a. Dra. Valéria Peixoto Borges

AREIA

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586s Silva, Allef de Souza.

Sensoriamento remoto suborbital de alta resolução na detecção da cochonilha rosada da cana-de-açúcar *saccharicoccus sacchari* (Cockerell, 1895) (hemiptera: pseudococcidae) / Allef de Souza Silva. -
Areia:UFPB/CCA, 2024.

44 f. : il.

Orientação: José Bruno Malaquias.

Coorientação: Valéria Peixoto Borges.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Amostragem. 3. Entomologia. 4. Agricultura de precisão. 5. Aprendizagem de máquina. 6. Inteligência artificial. I. Malaquias, José Bruno. II. Borges, Valéria Peixoto. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.3)

ALLEF DE SOUZA SILVA

**SENSORIAMENTO REMOTO SUBORBITAL DE ALTA RESOLUÇÃO NA
DETECÇÃO DA COCHONILHA ROSADA DA CANA-DE-AÇÚCAR
Saccharicoccus sacchari (COCKERELL, 1895) (HEMIPTERA:
PSEUDOCOCCIDAE)**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Agricultura Tropical.

Aprovado em: 06/09/2024

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

JOSE BRUNO MALAQUIAS

Data: 20/03/2025 08:00:48-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Bruno Malaquias (Orientador) - (CCA/UFPB)



Documento assinado digitalmente

VALERIA PEIXOTO BORGES

Data: 18/03/2025 09:47:27-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dra. Valéria Peixoto Borges (Coorientadora) - (CCA/UFPB)



Documento assinado digitalmente

ANGELICA DA SILVA SALUSTINO

Data: 18/03/2025 10:54:02-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dra. Angélica da Silva Salustino - (CCA/UFPB)



Documento assinado digitalmente

ANTONIO ROGERIO BEZERRA DO NASCIMENTO

Data: 19/03/2025 11:48:59-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antônio Rogério Bezerra Nascimento (ESALQ/USP)



Firmado eletronicamente por:
**MILTON FERNANDO
CABEZAS GUERRERO**

Prof. Dr. Milton Fernando Cabezas Guerrero (UTEQ-Ecuador)

Aos meus pais, Gilson Justino da Silva e Elialda de Souza Silva, e ao meu filho Miguel de Souza Farias, por todo carinho e apoio durante todos os momentos da minha vida, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida, por estar sempre ao meu lado, me protegendo de todas as formas e me permitindo ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo desses anos de estudo.

Aos meus pais, Gilson Justino e Elialda Souza, por todo amor incondicional, pelo apoio incansável e pelo incentivo constante à minha formação, ajudando-me de todas as formas possíveis. Ao meu filho, Miguel Farias, e à minha namorada, Maria Eduarda, por todo amor, carinho e compreensão ao longo dessa jornada. À minha irmã, Raquel Souza, e aos meus sobrinhos, Isabela Souza, Mateus Souza e Lucas Souza, por todo carinho e pelos momentos felizes que tornaram essa caminhada mais leve. Aos meus avós, José de Souza, Damiana de Oliveira (*in memoriam*) e Maria da Penha (*in memoriam*), por todos os ensinamentos que carrego comigo. E, de modo geral, a todos os meus familiares que, direta ou indiretamente, contribuíram para essa conquista.

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, minha mais sincera gratidão. Em especial, ao meu orientador, Prof. Dr. José Bruno Malaquias, pelo conhecimento compartilhado, suporte indispensável e amizade. À minha coorientadora, Prof^a. Dra. Valéria Peixoto Borges, pelo incentivo e ensinamentos essenciais para essa conquista.

À banca examinadora, composta pela Prof^a. Dra. Angélica da Silva Salustino, pelo Prof. Dr. Antônio Rogério Bezerra Nascimento e pelo Prof. Dr. Milton Fernando Cabezas Guerrero, expresso minha gratidão pela atenção dedicada à avaliação deste trabalho, pelas contribuições enriquecedoras e pelas valiosas considerações que certamente agregaram muito ao meu crescimento acadêmico.

Ao Prof. Dr. Davi de Carvalho Diniz Melo por toda colaboração para com esse trabalho e a Fazenda Mandaú por todo suporte prestado.

Aos verdadeiros amigos que encontrei ao longo dessa trajetória acadêmica, assim como, todos que compõe o Laboratório de Entomologia do Centro de Ciências Agrárias da UFPB.

À Universidade Federal da Paraíba, o Centro de Ciências Agrárias e o Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade e pelo incentivo à pesquisa.

Minha eterna gratidão a todos que fizeram parte dessa caminhada. Que Deus abençoe imensamente a vida de cada um de vocês. Muito obrigado!

SILVA, A. S. **SENSORIAMENTO REMOTO SUBORBITAL DE ALTA RESOLUÇÃO NA DETECÇÃO DA COCHONILHA ROSADA DA CANA-DE-AÇÚCAR *Saccharicoccus sacchari* (COCKERELL, 1895) (HEMIPTERA: PSEUDOCOCCIDAE).** Areia - Paraíba: Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, setembro, 2024, 45p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

RESUMO

A cana-de-açúcar é amplamente cultivada em todo o mundo, sendo o Brasil o maior produtor e exportador em nível global, e assim, essa cultura desempenha papel fundamental na economia do país movimentando milhões de reais todos os anos com a fabricação de açúcar e etanol. A cana-de-açúcar, como qualquer outra cultura, sofre com ataques de pragas durante todo seu ciclo vegetativo, que prejudicam o desenvolvimento de tal forma que o produtor pode sofrer perdas econômicas expressivas na produtividade se não tomar decisões no tempo indicado e de forma correta. Assim, é evidente a importância do monitoramento preciso e eficiente que é passível de ser realizado com o uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs). Diante disso, o objetivo deste trabalho foi detectar padrões de ocorrência da *S. sacchari* na cultura da cana-de-açúcar utilizando os índices de vegetação NDVI e NDRE. O local escolhido para a realização deste projeto foi uma área de cultivo de cana-de-açúcar com cerca de 1,5 hectares localizada na fazenda Mandaú, no município de Alagoa Grande-PB. Foi conduzido um levantamento da densidade populacional da *S. sacchari* em cana de açúcar no estágio de desenvolvimento do colmo. Foram escolhidos pontos aleatórios com caminhamento em zigue zague na unidade observacional, com amostragem em 10 m², onde foram escolhidas 20 plantas por ponto, 10 plantas na fileira à esquerda e 10 plantas na fileira à direita. As imagens foram tomadas com uma ARP modelo Mavic 3 multispectral da DJI. Em concomitante com as matrizes e redes de correlações foi implementado um modelo supervisionado fatorial de aprendizagem de máquina para analisar a relação infestação [nos níveis: baixa (BNI) e alta (ANI)] com os índices vegetativos NDVI e NDRE. As análises univariadas gaussianas (regressão e correlação) e multivariadas com aprendizagem de máquina não supervisionada, apresentaram paralelismo no que diz respeito ao relacionamento dos índices de vegetação com os índices de infestação. De acordo com análise espacial da disposição dos vetores no biplot do modelo fatorial, mediada pelo cosseno do ângulo θ , evidenciou-se relações negativas (cosseno do ângulo $\theta > 130^\circ = r > 0,60$; $R^2 > 0,70$; $P < 0,05$) entre as variáveis BNI versus NDRE e NDVI versus ANI, bem como baixa relação entre NDVI e BNI e entre NDRE versus ANI (cosseno do ângulo $\theta < 130^\circ = r < 0,60$; $R^2 < 0,70$; $P < 0,05$). Portanto, os resultados desta pesquisa revelam evidências que o sensoriamento remoto suborbital por meio dos índices de vegetação NDVI e NDRE são informações que se complementam para identificação indireta das injúrias ocasionadas por *S. sacchari* na cultura da cana-de-açúcar, estando o NDRE mais fortemente relacionado com baixas infestações, e o NDVI relacionando-se com altas infestações.

Palavras-chave: amostragem; entomologia; agricultura de precisão; aprendizagem de máquina; inteligência artificial.

SILVA, A. S. SUB-ORBITAL HIGH-RESOLUTION REMOTE SENSING FOR DETECTION OF THE PINK SUGARCANE MEALYBUG *Saccharicoccus sacchari* (COCKERELL, 1895) (HEMIPTERA: PSEUDOCOCCIDAE). Areia - Paraíba: Center for Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba, September, 2024, 45p. Dissertation (Master's in Agronomy). Graduate Program in Agronomy.

ABSTRACT

Sugarcane is widely cultivated worldwide, with Brazil being the largest global producer and exporter. As such, this crop plays a fundamental role in the country's economy, generating millions of reais annually through sugar and ethanol production. Like any other crop, sugarcane is susceptible to pest attacks throughout its vegetative cycle, which can hinder its development to the extent that, if the producer does not make timely and appropriate decisions, significant economic losses in productivity may occur. Therefore, precise and efficient monitoring is essential and can be conducted using Remotely Piloted Aircraft (RPAs). In this context, the objective of this study was to detect occurrence patterns of *S. sacchari* in sugarcane crops using the NDVI and NDRE vegetation indices. The chosen study site was a 1.5-hectare sugarcane cultivation area located on the Mandaú farm in the municipality of Alagoa Grande-PB. A survey of *S. sacchari* population density in sugarcane at the stalk development stage was conducted. Random sampling points were selected using a zigzag walk pattern within the observational unit, with a sampling area of 10 m². At each point, 20 plants were selected 10 from the row on the left and 10 from the row on the right. Images were captured using a DJI Mavic 3 multispectral RPA. In parallel with correlation matrices and networks, a supervised factorial machine learning model was implemented to analyze the relationship between infestation levels—low (BNI) and high (ANI)—and the NDVI and NDRE vegetation indices. Gaussian univariate analyses (regression and correlation) and multivariate analyses using unsupervised machine learning showed consistency in the relationship between vegetation indices and infestation levels. According to the spatial analysis of vector disposition in the biplot of the factorial model, mediated by the cosine of angle θ , negative relationships were observed ($\cosine\ of\ angle\ \theta > 130^\circ = r > 0.60$; $R^2 > 0.70$; $P < 0.05$) between the variables BNI vs. NDRE and NDVI vs. ANI, as well as weak relationships between NDVI and BNI and between NDRE and ANI ($\cosine\ of\ angle\ \theta < 130^\circ = r < 0.60$; $R^2 < 0.70$; $P < 0.05$). Therefore, the results of this study provide evidence that suborbital remote sensing using the NDVI and NDRE vegetation indices offers complementary information for the indirect identification of injuries caused by *S. sacchari* in sugarcane crops. NDRE was found to be more strongly associated with low infestations, while NDVI was related to high infestations.

Keywords: sampling; entomology; precision agriculture; machine learning; artificial intelligence.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estádios de desenvolvimento da cana.....	16
Figura 2 - Localização da área de estudo.	23
Figura 3 - Amostragem da <i>S. sacchari</i> (A); Colônia de <i>S. sacchari</i> (B).....	24
Figura 4 -Mavic 3 Multiespectral.	26
Figura 5 - Ortomosaico do Índice de Vegetação de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE) da área de estudo. Imagens capturadas pela ARP M3M na fazenda Mandaú localizada em Alagoa Grande – PB em plantio de cana de açúcar no 3º estágio de desenvolvimento.....	30
Figura 6 - Ortomosaico do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da área de estudo. Imagens capturadas pela ARP M3M na fazenda Mandaú localizada em Alagoa Grande – PB em plantio de cana de açúcar no 3º estágio de desenvolvimento.	31
Figura 7 - Correlação entre o do Índice de Vegetação de Borda Vermelha de Diferença (NDRE) obtidos através de imagens multiespectrais e o baixo nível de infestação (BNI) de <i>S. sacchari</i> em plantas de cana-de-açúcar no 3º estágio de desenvolvimento localizadas na fazenda Mandaú, Alagoa Grande – PB. $R^2= 0,80$; $F= 3.7892$; $P= 0.08$	32
Figura 8 - Correlação entre o do Índice de Vegetação de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE) obtidos através de imagens multiespectrais e o alto nível de infestação (ANI) de <i>S. sacchari</i> em plantas de cana-de-açúcar no 3º estágio de desenvolvimento localizadas na fazenda Mandaú, Alagoa Grande – PB. $R^2= 0,53$; $F= 3,42$; $P=0,10$	32
Figura 9 - Correlação entre o do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) obtidos através de imagens multiespectrais e o baixo nível de infestação (BNI) de <i>S. sacchari</i> em plantas de cana-de-açúcar no 3º estágio de desenvolvimento localizadas na fazenda Mandaú, Alagoa Grande – PB. $R^2= 0,55$; $F= 3,78$; $P=0,08$	33
Figura 10 - Correlação entre o do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) obtidos através de imagens multiespectrais e o alto nível de infestação (ANI) de <i>S. sacchari</i> em plantas de cana-de-açúcar no 3º estágio de desenvolvimento localizadas na fazenda Mandaú, Alagoa Grande – PB. $R^2= 0,67$; $F= 6,04$; $P=0,03$	33
Figura 11 - Rede de correlação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Vegetação de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE), ambos obtidos através de imagens multiespectrais, e índices de infestação baixo (BNI) e alto (ANI) em plantas de cana-de-açúcar no 3º estágio de desenvolvimento localizadas na fazenda Mandaú, Alagoa Grande – PB.....	34

Figura 12 - Cargas dos autovetores das variáveis Alto Nível de Infestação (ANI), Baixo Nível de Infestação (BNI), Índice de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) associadas aos componentes principais PC1, PC2, PC3 e PC4..... 35

Figura 13 - Análise fatorial das variáveis Alto Nível de Infestação (ANI), Baixo Nível de Infestação (BNI), Índice de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). 35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva da proporção de plantas infestadas nos níveis baixos (BNI) e altos (ANI), e índices vegetativos NDVI e NDRE.....	29
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas
ANI	Alto Nível de Infestação
ARPs	Aeronaves Remotamente Pilotadas
BDIA	Banco de Informações Ambientais
BNI	Baixo Nível de Infestação
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DSM	Modelo Digital de Elevação
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NDRE	Índice de Borda Vermelha de Diferença Normalizada
NDVI	Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada
SCBV	Vírus Baciliforme da Cana

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	Breves considerações a respeito da cana-de-açúcar	14
2.2	Desafios agrícolas e a cochonilha rosada da cana-de-açúcar (<i>Saccharicoccus sacchari</i>)	16
2.3	Aeronaves remotamente pilotadas e imagens multiespectrais	18
2.4	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	19
2.5	Índice de Vegetação de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE)	21
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	Área de estudo	23
3.2	Monitoramento da <i>S. sacchari</i>.....	24
3.3	Voos com ARP	25
3.4	Processamento das imagens.....	26
3.5	Obtenção dos valores de NDVI e NDRE das plantas analisadas em campo.....	27
3.6	Análise estatística	27
4	RESULTADOS	29
5	DISCUSSÃO	36
6	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (híbridos interespecíficos de *Saccharum*) é amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, sendo socioeconomicamente relevante (Shang et al., 2023). O Brasil, maior produtor e exportador global, impulsiona sua economia com a fabricação de açúcar, etanol e outros produtos, movimentando bilhões anualmente. Na safra 2023/24, foram colhidos 8,4 milhões de hectares, resultando em 713,2 milhões de toneladas (Conab, 2024). No entanto, a produtividade tem sido afetada por ataques de pragas ao longo do ciclo vegetativo.

As pragas prejudicam a cana-de-açúcar de tal forma que o produtor pode chegar a perder grande parte da produção da sua plantação se não agir rapidamente e corretamente, evidenciando-se a importância do monitoramento preciso e eficiente dentro da lavoura para o controle das pragas (Silva; Cavichioli, 2022). Dentre as pragas da cana-de-açúcar, destaca-se a cochonilha rosada da cana-de-açúcar *Saccharicoccus sacchari* (Cockerell, 1895) (Hemiptera: Pseudococcidae), que pode ocasionar danos diretos e indiretos a cultura. Como danos diretos, pode-se citar a morte de brotos, retardamento no crescimento da planta, diminuição no diâmetro e no peso dos colmos, assim como, no teor de sacarose (Jayanthi et al., 2016). Enquanto nos danos indiretos tem-se a transmissão de patógenos como fungos e vírus, a exemplo da possível transmissão do vírus baciliforme da cana *Sugarcane baciliform virus* (SCBV) através da cochonilha, contaminação por *honeydew*, dentre outras injúrias que também contribuem com a diminuição da qualidade e da produção da cana-de-açúcar (Monteiro et al., 2022).

Diante disso, surge a necessidade de um monitoramento eficaz durante todo o ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar com o propósito de diminuir a incidência dessas e de outras pragas na cultura. Nessa perspectiva, um dos princípios preconizados na agricultura 5.0 tem sido a amostragem e mapeamento de alta precisão com uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs).

As ARPs, popularmente conhecidas como drones, desempenham diversas funções na agricultura, como a aplicação de defensivos agrícolas, monitoramento das condições de desenvolvimento das culturas, assim como, detecção de possíveis problemas que estejam interferindo no ciclo vegetativo. O imageamento com ARP permite gerar índices que auxiliam na tomada de decisão por parte do agricultor, como por exemplo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) e o Índice de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (Normalized Difference Red Edge Index - NDRE) (Amarasingam et al., 2022).

O NDVI utiliza as bandas espectrais do infravermelho próximo e do vermelho, e isso permite a avaliação da mudança do vigor vegetativo, que pode ocorrer em decorrência de algumas situações, como, déficit hídrico e ataque de pragas e doenças (Crato et al., 2018). No caso do NDRE, utiliza-se as bandas do Red Edge (borda do vermelho) e NIR (infravermelho próximo) para seu cálculo e, assim como o NDVI, tem seus valores entre -1 e 1, sendo os valores de 0,0 e 0,2 atribuídos a solo exposto ou área urbanas e, quanto mais próximo de 1,0 for o valor dos índices, maior a atividade fotossintética e a densidade vegetal (Zhang et al., 2019). A banda espectral da borda do vermelho encontra-se numa região do espectro onde se tem uma maior absorção da clorofila e onde a luz penetra mais profundamente nas plantas, sendo assim, o NDRE é indicado em culturas de maior porte, com uma maior densidade de dossel (Pereira et al., 2020).

Diante da contextualização apresentada o presente trabalho teve como objetivo detectar padrões de ocorrência da *S. sacchari* na cultura da cana-de-açúcar utilizando os índices de vegetação NDVI e NDRE. Testou-se a seguinte hipótese alternativa principal: baixos índices de NDVI e NDRE são reflexos da elevada incidência da cochonilha rosada da cana-de-açúcar *S. sacchari*, tendo através dessa relação, a possibilidade de identificar, de forma indireta, a severidade do ataque deste inseto, subsidiando tomadas de decisões visando seu manejo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Breves considerações a respeito da cana-de-açúcar

Historicamente falando, a cana-de-açúcar foi descoberta na Oceania, passando a ser comercializada pela Europa e, posteriormente, expandindo-se por todo o mundo. Nesse período expansivo, a planta doce, como também era chamada, chegou ao solo português, haja vista a sua localização estratégica nas negociações que ocorriam em toda a Europa. Portugal estava sempre cheio de novidades mercantis, sendo uma delas a cana-de-açúcar (Tuta, 2013).

Com a chegada dos portugueses ao território brasileiro, a planta foi trazida em meio a tantas outras mercadorias que eram colocadas no solo do país e foi exatamente nesse período que a planta começou a sua história com o Brasil. De acordo com Nogueira (2016), foi em meados do século XVI que a cana começou a ser cultivada no solo brasileiro, sendo produzida, inicialmente, onde hoje está localizado o Estado de São Paulo, no ano de 1532. Para a escolha do solo, foram levados em conta as condições que o clima oferecia aos cultivos, constatando-se que aquelas características climáticas facilitavam a boa produtividade da planta.

Mesmo já plantando a cana por mais de 100 anos, somente por volta de 1650 o Brasil passou a ser reconhecido mundialmente como um grande cultivador da planta, havendo uma liderança na lista de produtores mundiais. Após esse primeiro reconhecimento, a indústria canavieira passou por uma verdadeira evolução, angariando forças no mercado mundial e trazendo ao Brasil o título consagrado de maior produtor de cana-de-açúcar do globo (Vian, 2022).

No que diz respeito a importância socioeconômica da cana-de-açúcar para o Brasil, nota-se, após uma breve análise dos números atuais, que a planta tem grande relevância. Isso porque a geração de empregos e renda e a movimentação econômica que ela traz para os pequenos, médios e grandes produtores é real. O agronegócio brasileiro, hoje, conta com recordes na produção e na exportação de açúcar, e grande contribuição para a produção de combustão de carros por meio de etanol, e geração de energia por meio do bagaço da cana (Silva, 2019).

Além disso, é possível apontar que o território brasileiro oferece boas condições de clima e geografia para o cultivo da planta, e, apesar de não estarem consolidados no mercado externo, na comercialização interna é possível citar diversos produtos que vêm da planta – além

do açúcar, do etanol e do bagaço —, como: aguardente, rapadura e mel, subprodutos que variam de acordo com a cultura de cada localidade (Epifanio, 2023).

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), bastante conhecida e cultivada no Brasil, é considerada uma planta alógama, com forma de polinização cruzada. A cana faz parte da divisão *Magnoliophyta*, da Classe *Liliopsida*, da subclasse *Commelinidae*, da ordem *Cyperales*, da família *Poaceae*, da tribo *Andropogonae* e da subtribo *Saccharininae*. Atualmente, são utilizados principalmente híbridos de algumas espécies, como *S. robustum*, *S. sinensis*, *S. Barberi*, *S. spontaneum*, e *S. officinarum*, cada uma destas tendo suas próprias características (Alves, 2023).

Guimarães (2017) aponta que a planta é essencialmente tropical, contudo, tem grande potencial de adaptação aos diversos climas brasileiros. A planta em questão tem um ciclo prolongado, podendo durar de 12 a 18 meses, assim, é importante que ela tenha boa adaptabilidade às diferentes estações do ano e nos diferentes climas do território nacional. Assim, considerando que a temperatura, o clima e a umidade atuam diretamente na produtividade da cana, o produtor deve se preparar através de tecnologias disponíveis na atualidade, para que o seu canavial não sofra com as mudanças climáticas.

No que tange à morfologia da planta, aponta-se que ela é composta por raízes, colmo, nó, gema, anel de crescimento, cicatriz foliar, zona radicular, entrenó, folha, lâmina foliar, bainha, inflorescência, flor e frutos. Além disso, vale ressaltar que a cana se desenvolve em forma de touceira. Na parte aérea, estão localizados os colmos, o caule, as folhas, as inflorescências e os frutos; enquanto na parte subterrânea estão as raízes e os rizomas (Guimarães, 2017).

Quanto à fenologia da planta, observa-se na cana-de-açúcar quatro estádios fenológicos: a brotação e a emergência, onde a cana brota no solo; o perfilhamento, onde ocorrem o início do perfilhamento, a formação da touceira e o auge do perfilhamento; o desenvolvimento dos colmos, onde há o crescimento radicular vigoroso e a definição da população final de colmos; e, a maturação dos colmos, onde há a maturação inicial, a do terço médio, a final e a colheita (Embrapa, 2022).

Na figura 1, é possível observar detalhadamente o desenvolvimento da cana-de-açúcar e o acontecimento de cada um dos seus estádios (emergência, perfilhamento, crescimento da parte aérea e maturação).

Fonte: Yara Brasil (2016).

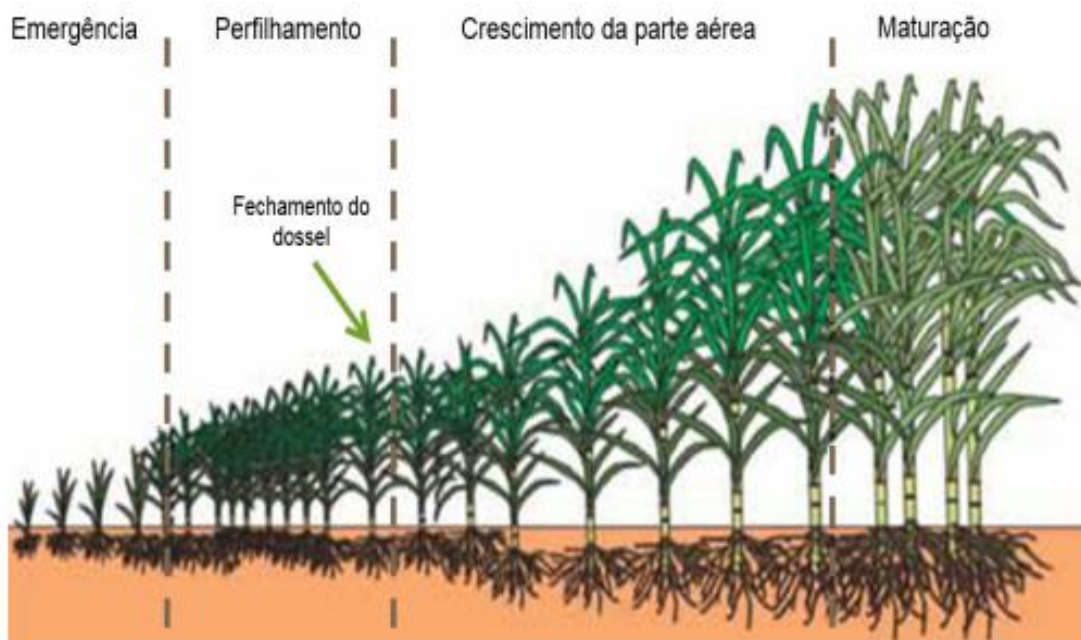


Figura 1 - Estádios de desenvolvimento da cana.

2.2 Desafios agrícolas e a cochonilha rosada da cana-de-açúcar (*Saccharicoccus sacchari*)

A agricultura lida com inúmeros desafios, e não é diferente com o plantio canavieiro. Três fatores podem ser apontados como atuantes nos níveis de produtividade da planta, como: fatores agrônômicos (pragas, doenças, nutrição etc.), fatores ambientais (água, temperatura, radiação, umidade etc.) e fatores fisiológicos (fenologia, fisiologia, genética etc.) (Barbosa, 2019). Assim, aprender a lidar e vencer esses fatores são fundamentais para obter um plantio saudável e com boa produtividade, sem prejuízos e perdas.

Insetos sugadores do tipo cochonilhas e pulgões dispõem de um aparelho bucal sugador labial tetraqueta que se caracteriza pela junção de quatro estiletes. Em seu comportamento alimentar está a presença de seiva das plantas, contudo, os estiletes percorrem um espaço intercelular com seus estiletes. Quando as cochonilhas entram em contato com as plantas, fazem a perfuração de prova, que é a introdução dos estiletes sobre o tecido vegetal a fim de observar se o ambiente é ideal para a sucção. A partir deste momento, se a localidade for favorável, o inseto continuará sugando a seiva e retirará os líquidos, e posteriormente secretam uma substância adocicada chamada de *honeydew* (Alliaume et al., 2018).

As cochonilhas registradas no Brasil como parasitas da cana-de-açúcar são: *Aclerda takahashii*, *Saissetia oleae*, *Diaspis bromeliae*, *Duplachionaspis divergens*, *Hemiberlesia*

musae, *Melanaspis saccharicola*, *Melanaspis smilacis*, *Mycetaspis apicata* Newstead, 1920 e *Odonaspis saccharicaulis*, *Eurhizococcus brasiliensis*, *Margarodes sp.* e *Margarodes carvalhoi* e *Dysmicoccus boninsis*, *Dysmicoccus brevipes*, *Planococcus citri*, *Pseudococcus sp.*, *S. sacchari* e *Trionymus sp.* (Pseudococcidae) (Monteiro, 2022).

A cochonilha rosada da cana-de-açúcar (*Saccharicoccus sacchari*), de acordo com Zhang, B. Wu e S. Wu (2018), é uma espécie que não tem sua origem conhecida, tendo seus primeiros registros em Trinidad e Tobago e estando presente em aproximadamente 80 países em todo o mundo e infestando plantas das famílias Arecaceae, Caricaceae e *Saccharum* L. Sturza, Peronti e Nava (2022) apontam que em território brasileiro, o pseudocócídeo foi encontrado em diversos Estados, sendo eles Amazonas, Pará, Paraíba, Pernambuco, Minas Gerais, Mato Grosso, Rio de Janeiro, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Nesse sentido, cabe salientar que a disseminação do inseto se dá por meio de rizomas da planta que estão infestadas.

A respeito do desenvolvimento biológico da cochonilha rosada da cana-de-açúcar, Monteiro (2022) aponta que estudos no continente asiático afirmam um comportamento ovovíparo da espécie advém de partenogênese. Os ovos são depositados por vários dias, sucessivamente, sendo nesse período reprodutivo, encontradas apenas fêmeas da espécie. Enquanto em países específicos como Egito e Austrália, constatou-se um processo reprodutivo sexuado da cochonilha, onde a cópula entre os insetos dura em média de 25 a 40 minutos, havendo a possibilidade do macho fertilizar mais de um fêmea (Lautha; Bautista, 2020).

Os prejuízos e danos econômicos causados por essa espécie de cochonilha na cana-de-açúcar são apontados em todo o mundo. Dentre os principais prejuízos e danos diretos que são provocados à planta estão: suscetibilidade maior aos fatores bióticos e abióticos, retardo no desenvolvimento da planta, atrofiamento e mortificação dos brotos, diminuição do diâmetro e da massa dos colmos, teor de sacarose reduzidos, diminuição do número de nós e entrenós. No caso de plantas infestadas pelo psicocócídeo, há dificuldade de filtração e clareamento do caldo da cana-de-açúcar proveniente do processamento, consequente diminuição na qualidade e no peso do caldo, problemas no processo de cristalização e na pureza do açúcar, além de interferência direta no açúcar bruto e diminuição da sacarose (Lautha; Bautista, 2020; Monteiro, 2022); além do amarelecimento das folhas, transmissibilidade de fungos e vírus, contaminação por *honeydew*, deficiência na produtividade da planta, diminuição da extração da sacarose, perda de açúcar e álcool e diminuição de açúcares redutores (Qin et al., 2017).

A formação de colônias de *S. sacchari* é favorecida pela evolução ontogenética das plantas de cana-de-açúcar. Caso existam plantas não infestadas, destaca-se que é possível que os pseudococcídeos se dispersem de forma passiva por meio de formigas, que é capaz de sobreviver em até 30 cm adentrando o solo (Monteiro, 2022). É interessante apontar que, de acordo com Jayanthi e Goud (2001), as espécies de híbridos são mais passíveis à contaminação por pseudococcídeo do que as soqueiras congêneres, assim como as cultivares que têm folhas soltas e folgadas.

Por fim, é interessante apontar que cultivares da cana que têm folhas empilhadas atrapalham a contaminação populacional da cochonilha rosada da cana-de-açúcar. Dentre as cultivares tolerantes à agressão do inseto estão a Co 740, a Co 6806, a Co 8014, a CoC 671 e a CoA 7601. Enquanto as cultivares resistentes à infestação por parte do pseudococcídeo são CoBLN 9101, 9102, 9103, Co 6806, C0Jor-1, C0Jor-2, Co 740, C 46-117, Co 237, Co 290, Co 997, CP 31-294, CP 34-38 e CP 52- 43. Além dessas, há destaque também para as cultivares 84136, 84134, Giza 96/74, Ph 8013, Q 63 e Co 6501, que também demonstram pouca densidade populacional de *S. sacchari* (Monteiro, 2022; Jayanthi; Goud, 2001; Tohamy; El-Raheem; El-Rawy, 2008).

2.3 Aeronaves remotamente pilotadas e imagens multiespectrais

As inovações tecnológicas vêm tomando espaço nos mais diversos ambientes de estudos. Na agricultura, por exemplo, a expansão tecnológica trouxe consigo inúmeros benefícios para os produtores, nas possibilidades de melhoramento genético, produtos de controle de doenças e pragas, irrigação de melhor qualidade, e até observância à distância do plantio (Castanho; Teixeira, 2017).

Dentre as inúmeras contribuições tecnológicas, passou-se a observar, então, o uso de aeronaves, em 1911, para fins agrícolas. No Brasil isso ocorreu pela primeira vez em 1947. No entanto, tal inserção tecnológica no meio agrícola passou a ser mais bem percebida a partir da década de 60, atuando no controle de doenças e pragas, na semeadura e na fertilização (Furtado; Hoff, 2017).

A partir desse primeiro uso de sucesso, a demanda aumentou e as ARPs, que têm menor custo quando comparado com aviões agrícolas, e, conseqüentemente, maior acessibilidade, passaram a ser aplicadas no ambiente agrícola. Essas, por sua vez, precisaram da sua legalização, que ocorreu por meio da Portaria do Ministério da Agricultura, Pecuária e

Abastecimento – MAPA nº 298, de 22 de setembro de 2021, publicada no Diário Oficial da União, e tem o objetivo regular a operação das ARPs na aplicação de defensivos, fertilizantes, inoculantes etc. (Brasil, 2021).

Por meio das ARPs, como também de outros equipamentos, é realizado o sensoriamento remoto suborbital, o qual consiste numa técnica de observação da Terra que utiliza plataformas localizadas a altitudes entre a superfície terrestre e a órbita baixa da Terra. As ARPs, por sobrevoarem a uma menor altitude, possibilitam a obtenção de imagens com uma maior resolução espaço-temporal quando comparadas às plataformas orbitais, e dessa forma, esses equipamentos quando equipados com câmeras multiespectrais podem capturar imagens detalhadas das plantações, permitindo o monitoramento da saúde das culturas, a identificação de pragas e doenças, e a avaliação da necessidade de irrigação e fertilização. Isso resulta em uma gestão mais eficiente e sustentável das áreas agrícolas (Zhang; Kovacs, 2012).

Câmeras multiespectrais são instrumentos sofisticados que capturam imagens em diversas faixas do espectro eletromagnético, além da luz visível. Essas câmeras são projetadas para registrar informações em bandas específicas, permitindo a análise de características que não são perceptíveis a olho nu. De acordo com Vivone (2023), elas são essenciais para a aquisição de dados em sensoriamento remoto, pois ampliam a gama de informações disponíveis para análise.

Na agricultura, por exemplo, câmeras multiespectrais são usadas para avaliar o vigor das culturas e identificar estresses causados por doenças ou deficiências nutricionais. Segundo Stow e Zilinskas (2020), essas câmeras permitem a criação de índices de vegetação, como o NDVI, que é fundamental para monitorar de forma indireta o estado fisiológico das plantas e otimizar o uso de recursos.

O processamento das imagens capturadas por câmeras multiespectrais é realizado com o auxílio de software especializado. Vivone (2023) detalha como essas ferramentas permitem a análise e interpretação das imagens, fornecendo informações valiosas sobre a condição dos alvos. As imagens são analisadas para gerar mapas e relatórios que auxiliam na tomada de decisões em vários setores.

2.4 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Os índices de vegetação vêm ganhando cada vez mais destaque por ser um dos principais indicadores para análise da vegetação em lugares e períodos determinados (Barros; Farias; Marinho, 2020). O “Normalized Difference Vegetation Index” (sigla em inglês NDVI) é comumente utilizado desde que foi apresentado por Rouse et al. (1973), afinal, por meio dele, há possibilidade de detectar mudanças na coloração das plantas, além dele obter a distribuição e evolução delas no espaço e no tempo, respectivamente (Francisco et al., 2020). Os valores desse índice são obtidos através de um cálculo aritmético que utiliza as bandas do infravermelho próximo – NIR (750 a 1400 nm) e do vermelho - RED (600 a 700 nm), de modo que, esse cálculo é realizado em cada pixel e resulta em valores que variam de -1 a 1. Segundo Gomes (2019), os pigmentos fotossintetizantes possuem a característica de absorver alguns espectros como o vermelho, o que causa uma baixa refletância das folhas nessa região do espectro da luz, enquanto as estruturas celulares causam alta refletância na região do infravermelho próximo.

O cálculo do NDVI é realizado através da seguinte fórmula:

$$\text{Refletância} = \frac{\lambda_{NIR} - \lambda_{RED}}{\lambda_{NIR} + \lambda_{RED}}$$

- λ : Comprimento de onda.
- NIR: Refletância no infravermelho próximo.
- RED: Refletância no vermelho.

A partir de formulados valores do NDVI, é possível alcançar fazer inferências em relação ao estado fisiológico das plantas presentes em um agroecossistema. No estudo de Crusiol et al. (2018), em cultivo de soja, observaram através do NDVI a necessidade hídrica da plantação; para Candeias, Souza e Barros (2018), esse índice foi explorado para identificar falhas nas fileiras das plantas; Suzin (2022) analisou, por meio de imagens de ARPs o NDVI para relacionar a ocorrência de pragas.

Silveira et al. (2020) utilizaram as imagens geradas por ARPs para monitorar o estado hídrico das plantas por meio da utilização do NDVI. No estudo, os autores conseguiram observar tal estresse hídrico em lugares específicos do plantio de maneira rápida, eficaz e não destrutiva, o que possibilita ao produtor rural uma facilidade na tomada de decisões, quando houver problemas que possam gerar prejuízos futuros ao seu cultivo.

Choosumrong et al. (2023) utilizaram imagens multiespectrais oriundas de ARPs para monitorar doenças e infestações de insetos-praga na cultura da banana. O NDVI apresentou

resultado satisfatório, com 88,95% de precisão no monitoramento desses problemas, o que demonstra a importância desse índice quando se diz respeito a tomada de decisões otimizadas.

2.5 Índice de Vegetação de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE)

O NDRE (em inglês “Normalized Difference Red Edge Index”) é um índice de vegetação que pode ser utilizado em vegetação de grande porte e em maturidade fisiológica. Assim possibilita o produtor analisar o vigor vegetativo de um determinado cultivo, além de permitir a identificação e diferenciação de regiões com vegetação e sem cobertura vegetal, o reconhecimento da concentração de clorofila, do ataque de pragas e doenças, da captação de nitrogênio e a necessidade de fertilizantes (Dias et al., 2019). O cálculo para obtenção desse índice utiliza as bandas do infravermelho próximo - NIR e da borda vermelha (700 a 750 nm), tendo como resultado valores que variam entre -1 a 1.

O cálculo utilizado para chegar ao NDRE é:

$$\text{Refletância} = \frac{\lambda_{\text{NIR}} - \lambda_{\text{REDEGE}}}{\lambda_{\text{NIR}} + \lambda_{\text{REDEGE}}}$$

- λ : Comprimento de onda.
- NIR: Refletância no infravermelho próximo.
- REDEGE: Refletância na borda do vermelho.

É interessante observar a informação de que a utilização do NDRE possibilita uma análise mais assertiva da transição entre as plantas mais e menos saudáveis do cultivo, uma vez que o NDRE é mais sensível que o NDVI a mudanças na concentração de clorofila (Thompson et al., 2019).

No estudo de Tao et al. (2022) eles utilizaram diversas técnicas para identificar a infestação da lagarta-do-cartucho na cultura do milho. Dentre as técnicas, a utilização do NDRE e do NDVI, se mostrou eficiente para detectar os locais onde apresentavam injúrias ocasionadas pela praga, mostrando-se assim, uma ferramenta útil na tomada de decisão mais precisa e efetiva.

Zhang et al. (2021) utilizaram o NDRE em sua pesquisa e verificaram que as mudanças temporais nesse índice e na cobertura do dossel, a partir da data de amostragem inicial, foram influenciadas pelas injúrias causadas pelo pulgão-da-cana-de-açúcar (*Melanaphis sacchari*) na silagem de sorgo, apresentando coeficientes de determinação (R^2) de 0,68 e 0,79, respectivamente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O local escolhido para a realização deste estudo foi uma área de plantação de cana-de-açúcar com cerca de 1,5 hectares localizada na fazenda Mandaú (7°02'0.47"S, 35°6'2.82"O), no município de Alagoa Grande-PB (Figura 2).

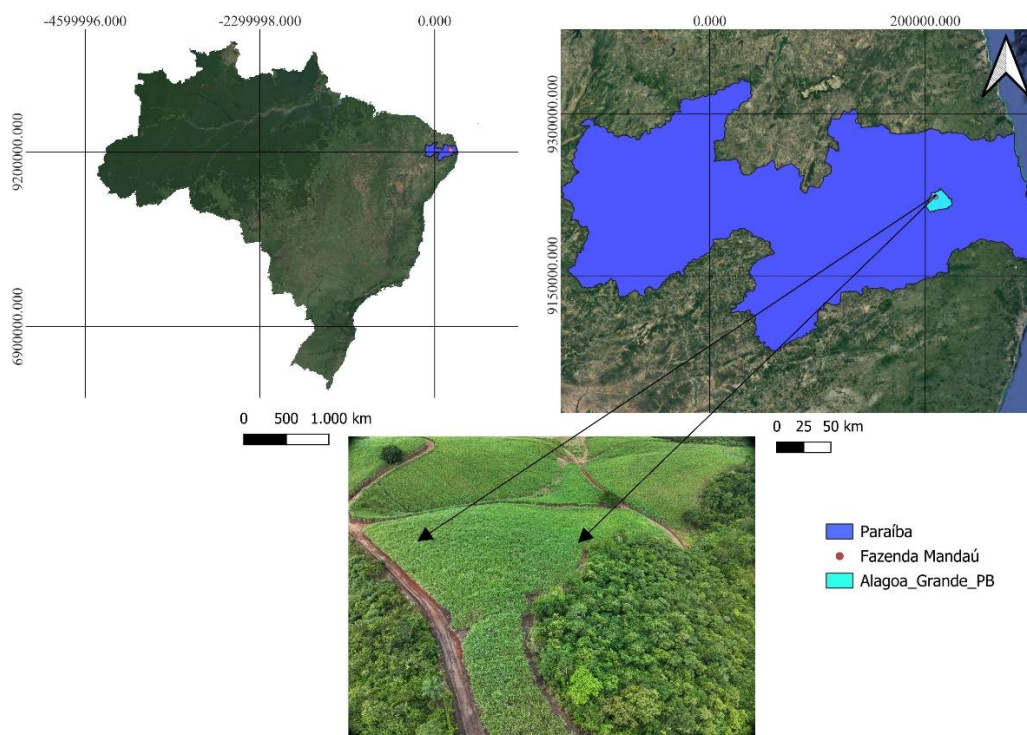


Figura 2 - Localização da área de estudo.

O solo da área de estudo é classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico (IBGE; BDIA, 2023). O município de Alagoa Grande tem seu clima, segundo Koppen, classificado como As, com chuvas no período outono – inverno (Francisco; Santos, 2017). A temperatura e a precipitação média anual nesta localidade é de aproximadamente 25,5 °C e 950 mm respectivamente (AESAs, 2023).

A variedade cultivada na referida área é a RB 86 7515 e no período de estudo estava no seu primeiro ciclo de cultivo (cana-planta). O manejo da cultura consistiu na aplicação de herbicida pré-emergente e pós-emergente. A adubação foi realizada à base de Fósforo e Potássio, assim como, a aplicação dos bioprodutos Canindé®, que contém *Trichoderma* e Carcará®, que contém *Beauveria bassiana*, ambos fabricados pela empresa VSF Agricultura Sustentável e Comércio.

3.2 Monitoramento da *S. sacchari*

Foi conduzido um levantamento da densidade populacional de ninfas e adultos de *S. sacchari*, sendo esses levantamentos realizados nos meses de novembro e dezembro de 2023, com duas amostragens em cada mês. Nesse período de levantamento, a cana encontrava-se no estágio de desenvolvimento do colmo com aproximadamente 7 meses após data de plantio. Os levantamentos consistiram no caminhar aleatório e em zigue-zague pela área previamente escolhida no intuito de se encontrar sintomas que caracterizam a praga, como por exemplo, o amarelecimento das folhas causado pela cochonilha. Dada a resolução da câmera utilizada e do tamanho da área, foi necessário escolher 9 pontos dentro da unidade observacional.

Cada ponto amostral consistiu em um perímetro de 10 m², onde foram escolhidas de forma aleatória 20 plantas de forma espelhada, ou seja, 10 plantas na fileira à esquerda e 10 plantas na fileira à direita, onde foram realizadas as análises e identificações da ocorrência da praga em questão (Figura 3A). Em cada planta foi considerado a proporção de infestação pela cochonilha nas intensidades: Baixo Nível de Infestação (BNI) por planta, ou seja, quantidade inferior a 20 indivíduos (ninfas ou adultos) por planta e Alto Nível de Infestação (ANI), quantidade superior a 20 indivíduos/planta, o que se caracterizava a ocorrência colônia de insetos (Figura 3B).



Figura 3 - Amostragem da *S. sacchari* (A); Colônia de *S. sacchari* (B).

O nível de infestação da *S. sacchari* foi definido através da proporção de insetos encontrados nas 20 plantas de cada ponto. Em seguida, as coordenadas do local foram tomadas por meio de um dispositivo GPS para que através dessa localização fosse possível saber o local exato de cada ponto em sua respectiva parcela, e a partir das imagens da ARP, se fazer a observação das características que as plantas atacadas possuem em relação às plantas sadias.

3.3 Voos com ARP

Os voos foram realizados com Aeronave Remotamente Pilotada modelo Mavic 3 multiespectral da DJI (Figura 4). A mesma possui um conjunto de 5 câmeras, sendo uma RGB com sensor CMOS 4/3 e 20MP, e outras multiespectrais que possuem quatro sensores CMOS de banda única de 1/2,8 polegadas, capazes de tirar fotos de 5 MP com distância focal equivalente a 25 mm e abertura de f/2,0, podendo obter imagens nas bandas: Verde (G): 560 ± 16 nm, Vermelho (R): 650 ± 16 nm, Borda vermelha (RE): 730 ± 16 nm e Infravermelho próximo (NIR): 860 ± 26 nm (DJI, 2023). Esse equipamento também conta com um sensor na sua parte superior que detecta a irradiação solar em tempo real, e isso, combinado com as informações de imagem de cada banda da câmera multiespectral, temos valores de refletância com maior acurácia, o que melhora a consistência dos dados coletados em diferentes regiões, condições climáticas e horários. No total foram realizados 4 voos, ocorrendo de forma simultânea com a amostragem manual, utilizando altura de voo definida em 120 metros, tomando como referência o nível do ponto de decolagem, e programado para distância de amostragem no solo de aproximadamente 4,3 cm/pixel, e sobreposições frontais e laterais de 80% e 70% respectivamente.



Figura 4 -Mavic 3 Multispectral.

3.4 Processamento das imagens

Os processamentos das imagens multiespectrais foram realizados no programa Pix4d. As imagens multiespectrais foram carregadas no software e em seguida, se deu início ao processamento que consiste em basicamente três etapas: Processamento inicial, no qual o programa identifica entre as imagens pontos análogos para que assim ocorra a junção das imagens, assim como, calibrar os parâmetros internos, como por exemplo, a distância focal. Na segunda etapa foi gerado a nuvem de pontos e malha. Por fim, na terceira e última etapa, se obtém o modelo digital de elevação (DSM), o ortomosaico e os índices.

Com o processamento das imagens, foram obtidos os seguintes índices: NDVI e o NDRE. Conforme mencionado anteriormente, com esses índices foi possível realizar a observação indireta e avaliação da atividade fotossintética das plantas através de um cálculo aritmético que utiliza as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (Red), no caso do NDVI, e as bandas da borda vermelha (RedEdge) e do vermelho (Red) para o NDRE. Através da obtenção desses dois índices foi possível também se fazer uma comparação do grau de relação de cada um na identificação da cochonilha rosada na cultura da cana.

3.5 Obtenção dos valores de NDVI e NDRE das plantas analisadas em campo

A obtenção dos valores de NDVI e NDRE das plantas infestadas foi realizado do software QGIS na sua versão 3.34.0. Após a realização do processamento das imagens e obtenção dos ortomosaicos em formato tif, eles foram adicionados ao QGIS, e posteriormente foram adicionados também os pontos de GPS obtidos em campos nos locais de amostragem das pragas. Através desses pontos, criou-se um *buffer* de cada um deles com o intuito de se fazer a delimitação de uma determinada área, que no caso da presente pesquisa foi de 2 m². Por fim, foi utilizada a função estatísticas zonais, que é utilizada para calcular estatísticas sobre os valores de um raster (imagem ou grau de valores) dentro de regiões definidas por um vetor (*buffer*), e assim, obtivemos os valores de média de aproximadamente 3600 pixels por área. Os dados dos índices de vegetação foram obtidos para o dia 08/12/2023, tendo em vista que essa foi a data que apresentou o maior pico populacional da *S. sacchari*.

3.6 Análise estatística

As análises estatísticas foram todas realizadas através do R Studio, uma interface gráfica do software R[®] na versão 4.4.1 (R CORE TEAM, 2023). Foi realizada uma análise descritiva dos dados de infestação com o intuito de se obter os valores de médias, desvio padrão, e intervalos de confiança desses dados. Foi gerada uma matriz de correlações para relacionar as seguintes variáveis: proporção de plantas infestadas nos níveis alta (ANI), baixa (BNI); NDVI e NDRE. A matriz de correlações foi criada através da função *rcorr*, e logo após, foi gerado o gráfico de rede de correlações a partir da função *network_plot*.

Os gráficos de dispersão foram criados a partir da função *ggscatter*, a qual permite variar diversos parâmetros a depender do resultado desejado. Para adicionar o coeficiente de correlação com valores de *P* ao gráfico de dispersão foi utilizada a função *stat_cor*, onde, nessa função foi definido o método de Pearson para análises dos dados do presente trabalho. Nesse tipo de correlação, se obtém como resultado o coeficiente de correlação de Pearson (*r*), que nada mais é do que uma medida adimensional que pode assumir valores no intervalo entre -1 e +1 e mede a intensidade e a direção de relações lineares, onde a intensidade diz respeito ao grau de relacionamento entre duas variáveis, ou seja, quanto mais próximo dos extremos do intervalo (-1 e +1) forem os valores de *r*, mais forte é a correlação entre essas variáveis, enquanto que, quanto mais próximo do centro do intervalo (0), mas fraca é a correlação linear.

Dois modelos não supervisionados de *machine learning* foram programados em linguagem R para o presente estudo, sendo de um dos modelos o de componentes principais e o outro um modelo de análise fatorial, em virtude da ocorrência de coeficientes de correlação relativamente elevados. Para essas análises foi calculado um índice multivariado que pudesse captar o comportamento conjunto dos valores originais das variáveis infestação em baixo e alto nível. Tomou-se como referência os valores de infestação BNI e ANI, juntamente com os valores dos índices NDRE e NDVI e a variância compartilhada por cada fator da análise de componentes principais. Os resultados multivariados foram expressos em um biplot.

4 RESULTADOS

Na tabela 1 são apresentados os valores médios de proporção de plantas infestadas nos níveis BNI (baixa), ANI (alta), NDVI e NDRE, assim como, suas respectivas medidas de variabilidade (Desvio Padrão (DP) e/ou Intervalos de Confiança (IC_{95%}). Para BNI das plantas, temos valores médios de infestação absoluta variando de 0,55 (IC_{95%} = 0,43 - 0,66 e DP = 0,51 a 0,85 (IC_{95%} = 0,74-0,93 e DP = 0,36). No caso do ANI, houve uma variação entre 0,10 (IC_{95%} = 0,03 - 0,16 e DP =) e 0,65 (IC_{95%} = 0,54 - 0,75 e DP =). Para o NDVI as médias dos dados variaram de 0,56 a 0,70, apresentando em todos os pontos analisados uma baixa variabilidade (DP = 0,05; 0,06 respectivamente). Enquanto o NDRE apresentou médias variando de 0,29 a 0,39 ecom valores de DP variando entre 0,02 a 0,03.

Tabela 1 - Estatística descritiva da proporção de plantas infestadas nos níveis baixos (BNI) e altos (ANI), e índices vegetativos NDVI e NDRE.

Ponto	Média±DP (IC _{95%})		Média±DP (IC _{95%})	
	BNI	ANI	NDVI*	NDRE*
1	0,85±0,36 (0,76-0,93)	0,25±0,44 (0,15-0,34)	0,66±0,06	0,37±0,03
2	0,80±0,41 (0,70-0,89)	0,65±0,48 (0,54-0,75)	0,56±0,06	0,29±0,03
3	0,85±0,36 (0,76-0,93)	0,40±0,50 (0,28-0,51)	0,67±0,06	0,32±0,03
4	0,55±0,51 (0,43-0,66)	0,35±0,48 (0,24-0,45)	0,70±0,05	0,39±0,03
5	0,65±0,48 (0,54-0,75)	0,10±0,30 (0,03-0,16)	0,67±0,05	0,37±0,02
6	0,55±0,51 (0,43-0,66)	0,30±0,47 (0,19-0,40)	0,69±0,06	0,39±0,02
7	0,85±0,36 (0,76-0,93)	0,40±0,50 (0,28-0,51)	0,67±0,06	0,35±0,03
8	0,75±0,44 (0,65-0,84)	0,25±0,44 (0,15-0,34)	0,70±0,05	0,37±0,02
9	0,75±0,44 (0,65-0,84)	0,25±0,44 (0,15-0,34)	0,65±0,05	0,34±0,03

Média: média aritmética. DP= desvio padrão. IC_{95%}= intervalos de confiança com probabilidade 95%.

BNI: baixo nível infestação, infestação com menos de 20 insetos. **AIN**: alto nível de infestação, infestação com mais de 20 insetos. **NDVI**: índice de vegetação por diferença normalizada. **NDRE**: índice de borda vermelha de diferença normalizada.

*Intervalos de confiança não estimados em virtude da baixa variabilidade.

Na Figura 5 apresenta-se o ortomosaico de NDRE com sua respectiva escala de valores. Os valores tiveram variação de 0,21 a 0,49, sendo atribuídos esses valores as áreas de menor e maior atividade fotossintética, respectivamente. As áreas que possuíam os menores valores do índice foram as que apresentaram a infestação de *S. sacchari*, mostrando uma possível influência do inseto-praga na atividade vegetativa da planta.

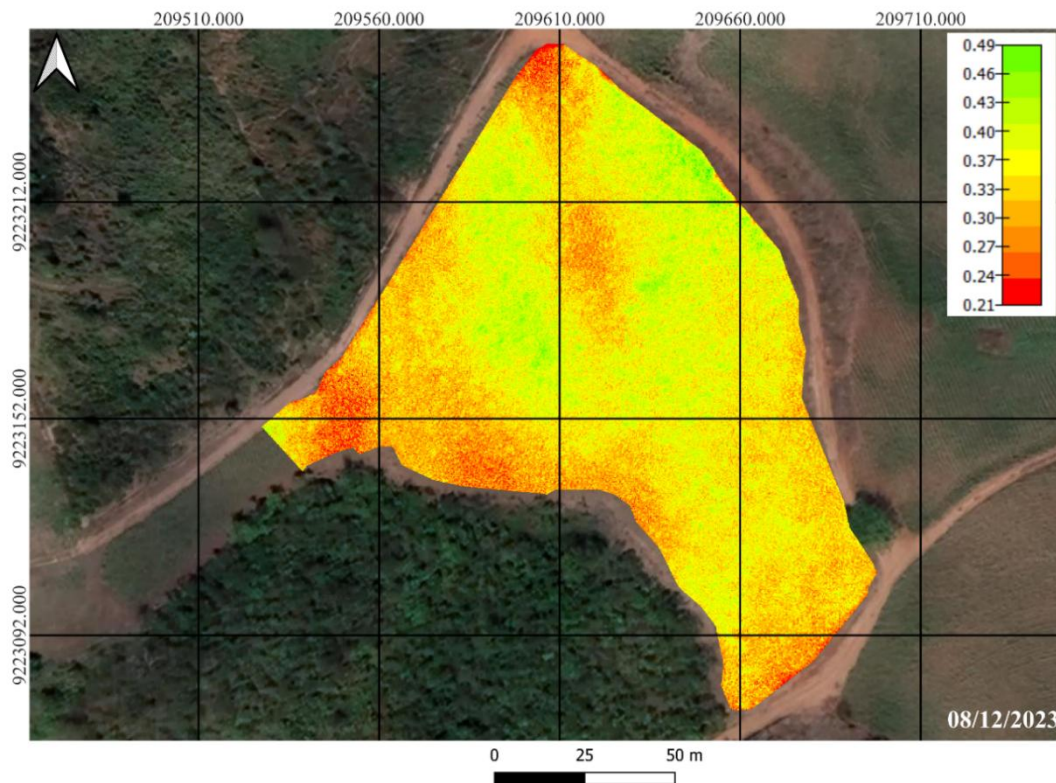


Figura 5 - Ortomosaico do Índice de Vegetação de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE) da área de estudo. Imagens capturadas pela ARP M3M na fazenda Mandaú localizada em Alagoa Grande – PB em plantio de cana de açúcar no 3º estágio de desenvolvimento.

A figura 6 apresenta o ortomosaico do NDVI e sua escala de valores obtidos na área. Os valores variaram de 0,44 a 0,88, representando as áreas de menores e maiores atividade vegetativa do cultivo. É possível observar que o ortomosaico de NDVI apresentou uma maior saturação nos valores do índice quando comparamos com o NDRE. Em concordância com os dados do NDRE, os locais que apresentaram os menores valores de NDVI foram os que apresentaram maior incidência do inseto *S. sacchari*.

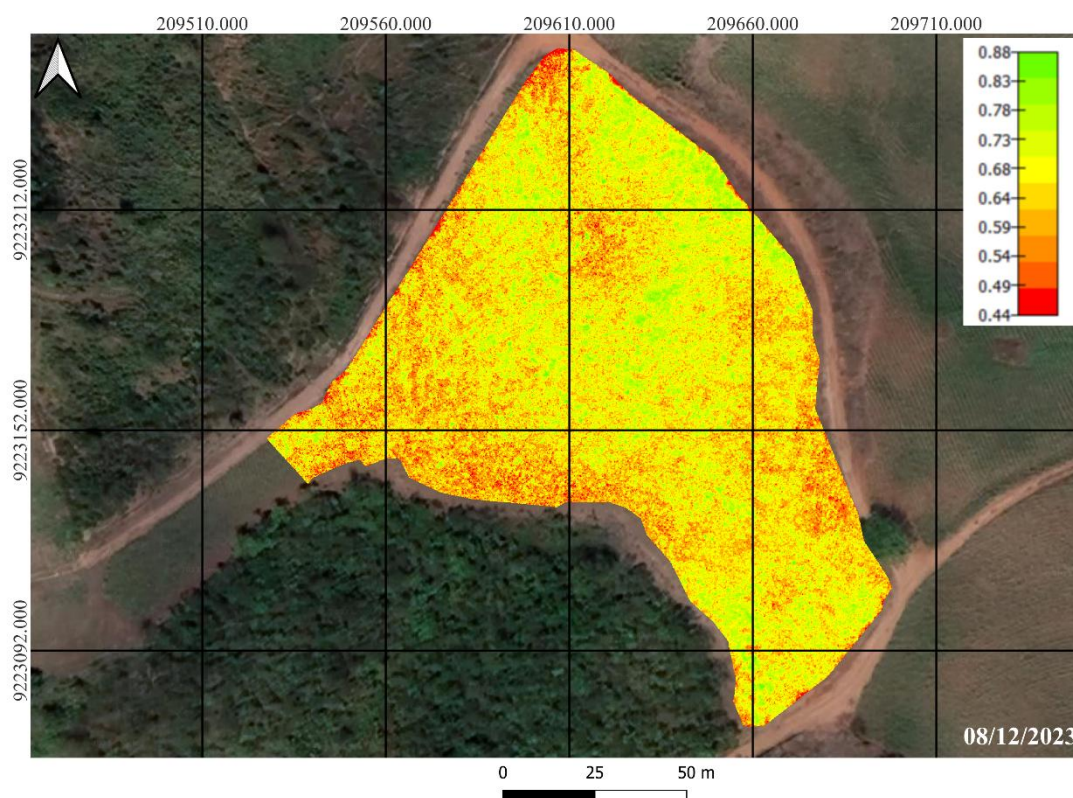


Figura 6 - Ortomosaico do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da área de estudo. Imagens capturadas pela ARP M3M na fazenda Mandaú localizada em Alagoa Grande – PB em plantio de cana de açúcar no 3º estágio de desenvolvimento.

Relacionando os dados de infestação com os dados dos índices de vegetação, foi possível observar que as maiores proporções de BNI estiveram relacionadas com os mais baixos níveis de NDRE, ocorrendo resultado semelhante entre ANI e NDVI (Tabela 1). De fato, quando se observa na Figura 7, houve uma correlação entre o NDRE e o BNI, a correlação encontrada entre essas duas variáveis foi forte e negativa ($r = -0,72$), ou seja, elas são inversamente proporcionais. O valor de P foi significativa ($<5\%$) de 0,028, mostrando assim que existe significância nessa correlação.

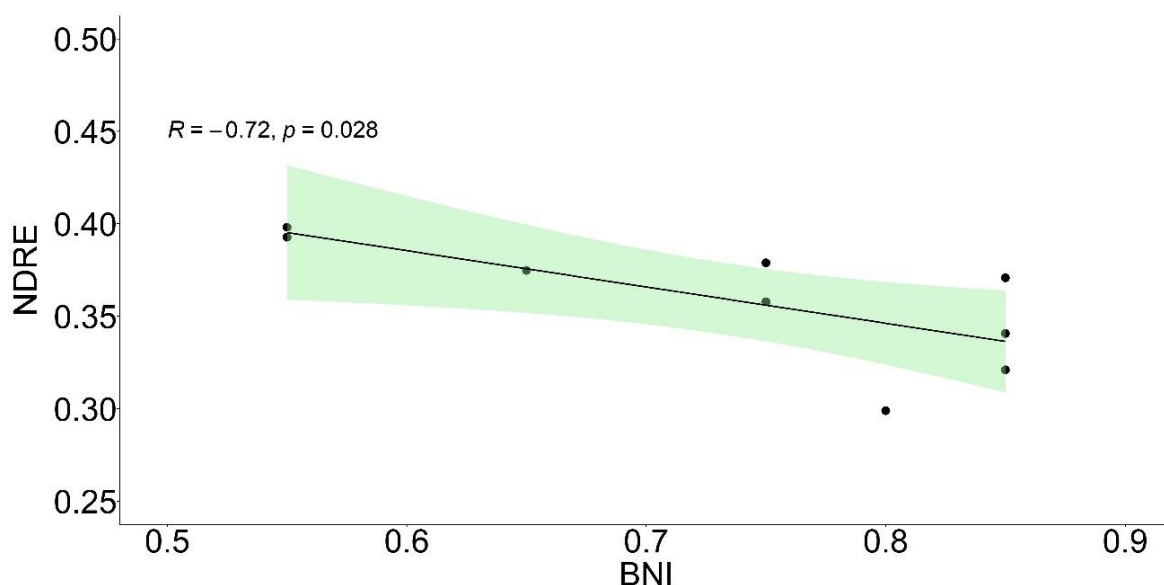


Figura 7 - Correlação entre o do Índice de Vegetação de Borda Vermelha de Diferença (NDRE) obtidos através de imagens multiespectrais e o baixo nível de infestação (BNI) de *S. sacchari* em plantas de cana-de-açúcar no 3º estágio de desenvolvimento localizadas na fazenda Mandaú, Alagoa Grande – PB. $R^2 = 0,80$; $F = 3.7892$; $P = 0.08$.

Na Figura 8, observa-se a correlação entre o NDRE e o ANI. Essa análise apresentou uma correlação de -0.55 e um valor de P de $0,13$ ($>5\%$), isso significa que as duas variáveis também são inversamente proporcionais; porém, não houve significância nessa correlação, o que nos mostra que o NDRE não apresenta relação efetiva na detecção indireta de colônias.

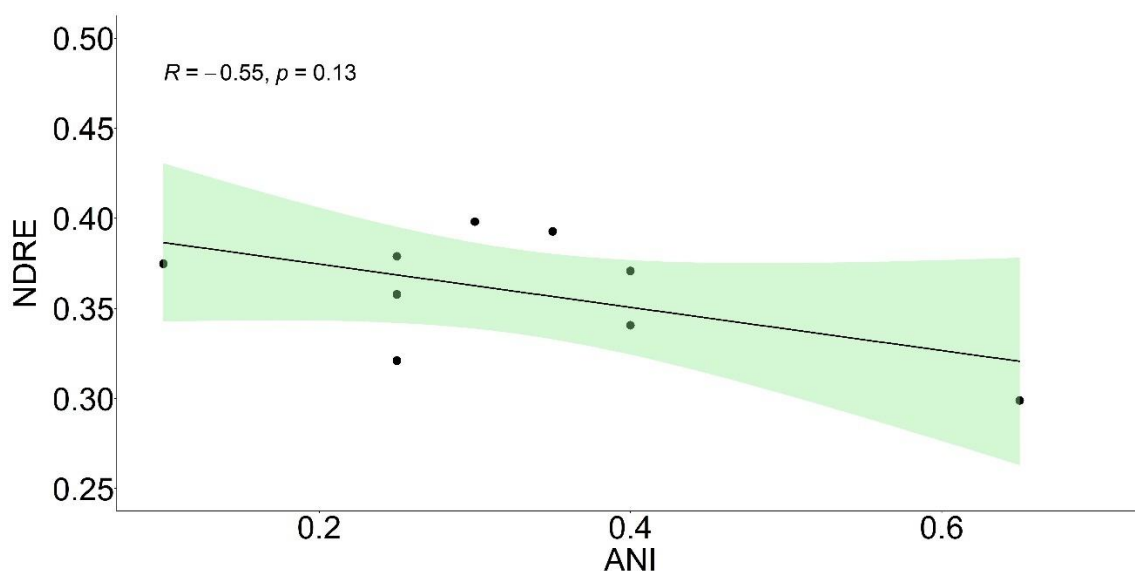


Figura 8 - Correlação entre o do Índice de Vegetação de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE) obtidos através de imagens multiespectrais e o alto nível de infestação (ANI) de *S. sacchari* em plantas de cana-de-açúcar no 3º estágio de desenvolvimento localizadas na fazenda Mandaú, Alagoa Grande – PB. $R^2 = 0,53$; $F = 3,42$; $P = 0,10$.

Na Figura 9 encontra-se a representação gráfica da correlação entre o NDVI e o BNI. Observa-se na figura que a correlação foi negativa (-0.55), indicando que as duas variáveis são

inversamente proporcionais, mas, devido ao valor de P ser maior que 5 % (0.17 ou 17%), essa análise não possui significância estatística.

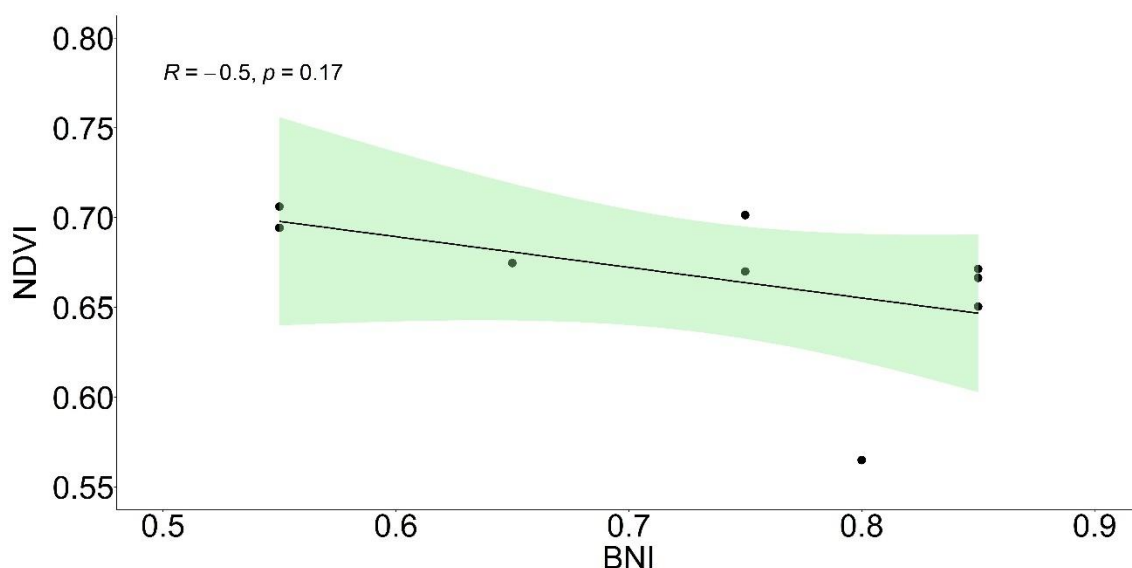


Figura 9 - Correlação entre o do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) obtidos através de imagens multiespectrais e o baixo nível de infestação (BNI) de *S. sacchari* em plantas de cana-de-açúcar no 3º estágio de desenvolvimento localizadas na fazenda Mandaú, Alagoa Grande – PB. $R^2 = 0,55$; $F = 3,78$; $P = 0,08$.

De forma contrária à relatada anteriormente, houve uma correlação significativa ($P < 0,05$) entre as variáveis NDVI e o ANI. Observa-se que o valor de r nessa análise foi de $-0,77$, revelando, portanto, uma relação forte e expressiva (Figura 10).

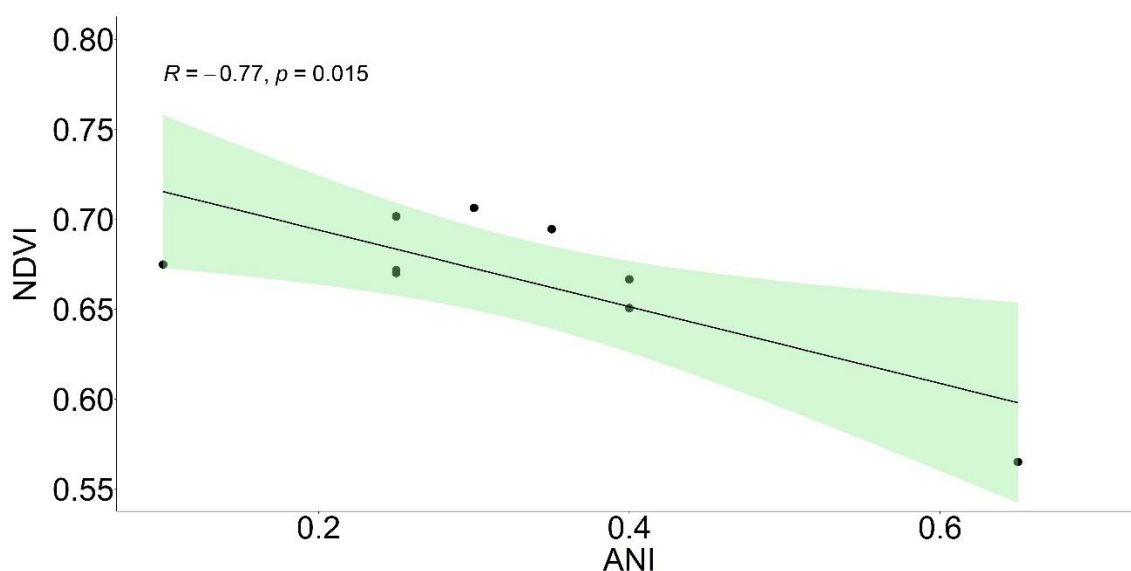


Figura 10 - Correlação entre o do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) obtidos através de imagens multiespectrais e o alto nível de infestação (ANI) de *S. sacchari* em plantas de cana-de-açúcar no 3º estágio de desenvolvimento localizadas na fazenda Mandaú, Alagoa Grande – PB. $R^2 = 0,67$; $F = 6,04$; $P = 0,03$.

Na figura 11 observa-se a representação gráfica de uma rede de correlações multivariada, em que a partir da escala de cores podemos observar o comportamento de cada variável e sua relação com as demais. A figura representa uma correlação entre os índices NDVI e NDRE, revelando um comportamento diretamente proporcional, ou seja, os dois possuem características similares. Os índices BNI e ANI também apresentam a característica de serem diretamente proporcionais; porém, observa-se que a correlação entre essas variáveis está próxima ao 0, portanto, trata-se de uma correlação fraca. A rede de correlações enfatiza os resultados mencionados anteriormente, pois os índices de vegetação NDVI e NDRE são inversamente proporcionais quando correlacionados com ANI e BNI, respectivamente (Figura 11).

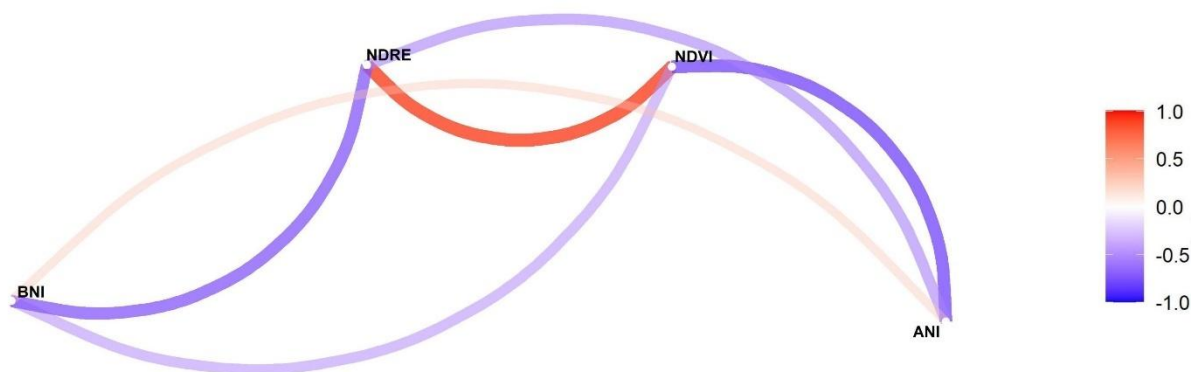


Figura 11 - Rede de correlação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Vegetação de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE), ambos obtidos através de imagens multiespectrais, e índices de infestação baixo (BNI) e alto (ANI) em plantas de cana-de-açúcar no 3º estágio de desenvolvimento localizadas na fazenda Mandaú, Alagoa Grande – PB.

Em outra perspectiva multivariada os dados foram também analisados por métodos não supervisionados de Machine Learning, nesse caso, PCA e fatorial. No primeiro caso, foi observado que dois componentes explicaram 89,56% da variação dos dados, sendo que o primeiro componente explicou 71,17% ($\lambda = 0,7117$) dessa variação, apresentando maiores cargas de autovetores para os índices vegetativos NDVI ($v = 0,5293$) e NDRE ($v = 0,5689$). Por outro lado, as variáveis BNI e ANI apresentaram maiores relações com o segundo componente principal, com cargas de autovetores (v) de -0.8308 e 0.4902, respectivamente (Figura 12).

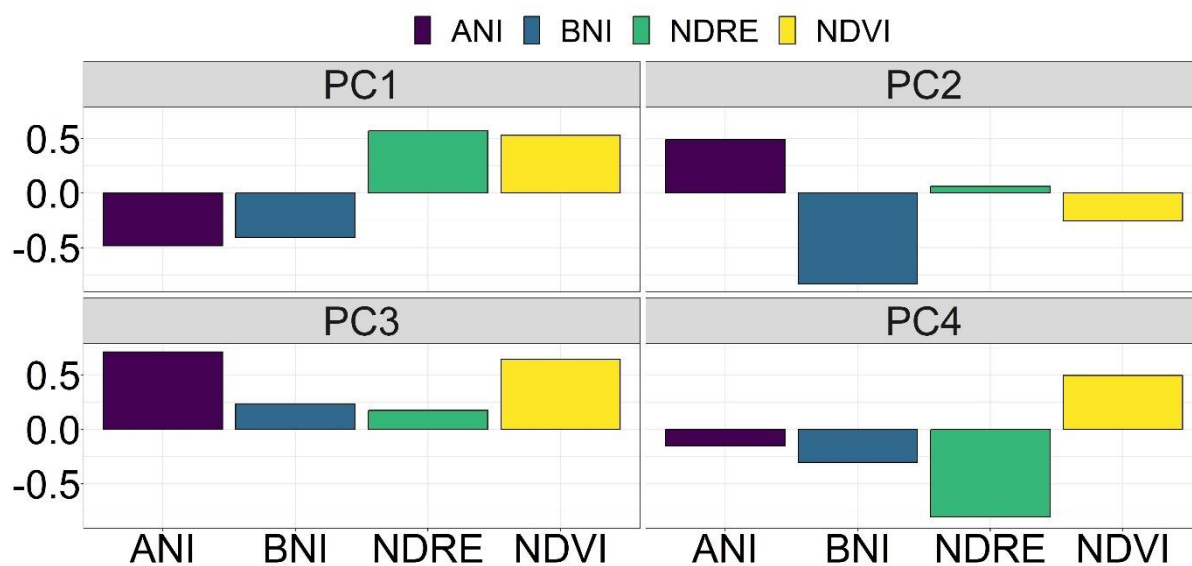


Figura 12 - Cargas dos autovetores das variáveis Alto Nível de Infestação (ANI), Baixo Nível de Infestação (BNI), Índice de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) associadas aos componentes principais PC1, PC2, PC3 e PC4.

De acordo com análise trigonométrica da disposição dos vetores no biplot da análise fatorial, mediada pelo cosseno do ângulo θ , reforça-se relações negativas (cosseno do ângulo $\theta > 130^\circ = r > 0,60$) entre as variáveis BNI *versus* NDRE e NDVI *versus* ANI, bem como baixa relação entre NDVI e BNI e entre NDRE *versus* ANI (cosseno do ângulo $\theta < 130^\circ = r < 0,60$) (Figura 13).

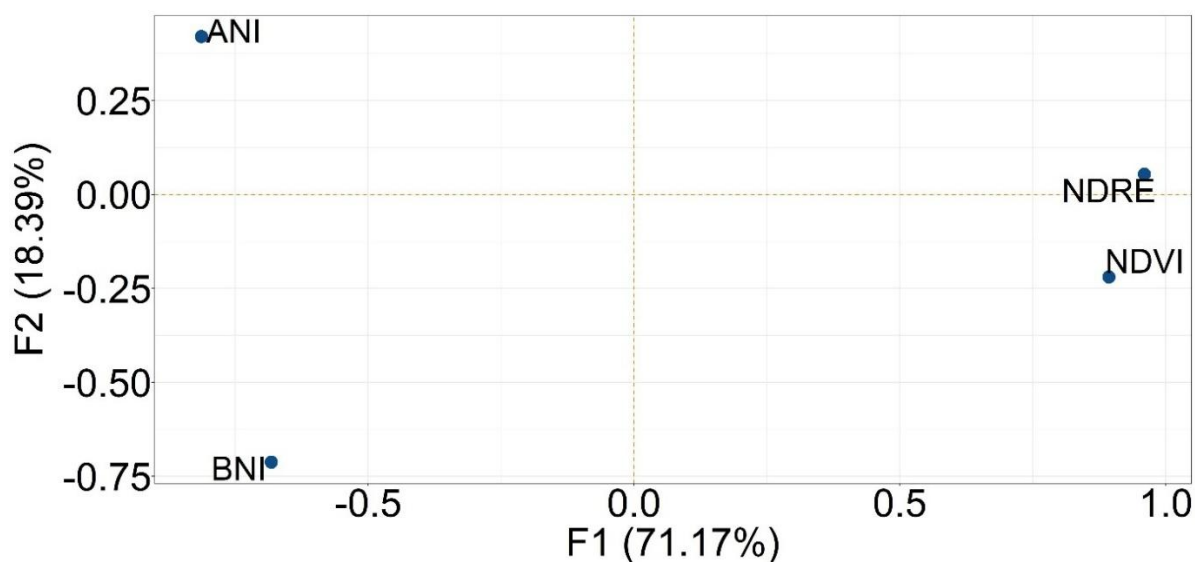


Figura 13 - Análise fatorial das variáveis Alto Nível de Infestação (ANI), Baixo Nível de Infestação (BNI), Índice de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

5 DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa indicaram que dependendo da intensidade de infestação de *S. sacchari*, existem evidências de diferenças nas refletâncias de cada banda espectral que é utilizada no cálculo dos índices de vegetação. Baseado nas cargas da análise fatorial juntamente com o percentual de explicação de cada componente (F1 e F2) é possível construir futuramente um índice multivariado para estimar de forma múltipla o índice de infestação conjunto (alta e baixa infestação), bem como índices vegetativos NDRE e NDVI.

As análises univariadas e multivariadas foram suficientes para revelar que existem relações negativas entre as variáveis BNI *versus* NDRE e NDVI *versus* ANI, bem como a baixa relação entre NDVI *versus* BNI e entre NDRE *versus* ANI. Em seu trabalho, Dash et al. (2017), implicam que as características do índice NDRE, onde, a banda espectral borda vermelha (red edge), utilizada no cálculo do NDRE, encontra-se numa região limite entre as bandas do vermelho (red) e do infravermelho próximo (NIR), sendo assim, o red edge faz parte do espectro onde a refletância aumenta acentuadamente da zona de absorção vermelha para a zona de reflexão do NIR, e por isso, o índice NDRE é muito sensível às mudanças que ocorrem na concentração de clorofila.

No presente estudo, verificou-se que o NDRE foi eficiente na detecção de aéreas que apresentavam um baixo nível de infestação de cochonilhas (< 20 cochonilhas/planta), enquanto na identificação de áreas que apresentavam colônias do inseto (> 20 cochonilhas/planta) o índice não foi efetivo na identificação. Dessa forma, seguindo o raciocínio apresentado por Dash et al. (2017), entende-se que quando a planta estava sofrendo com o ataque de apenas algumas cochonilhas, as injúrias causadas pelo inseto, a exemplo da diminuição da clorofila da planta e consequentemente a mudança de coloração das folhas, ainda eram sutis, e assim, o NDRE foi eficaz na identificação dessas injúrias iniciais justamente pela característica deste índice ser bastante sensível a pequenas mudanças nos níveis de clorofila da planta.

Seguindo o mesmo raciocínio, a identificação de colônias de cochonilhas não foi tão eficiente com o NDRE pois uma maior quantidade de insetos tem como característica causar injúrias mais graves às plantas, como por exemplo uma drástica diminuição do teor de clorofila das folhas e até mesmo diminuição no crescimento vegetativo da planta, fazendo com que o resultado do índice não seja tão assertivo quando comparado a mudanças mais sutis.

Analisando o índice NDVI, observamos que ele foi efetivo para a identificação dos locais com infestação de colônias, enquanto, na identificação de pontos com ataque de apenas

algumas cochonilhas, ou seja, baixa densidade populacional, ele não foi efetivo. Da mesma forma que ocorreu no NDRE, o comportamento do NDVI pode ser explicado através das características do próprio índice. Arapostathi et al. (2023) citam em seu trabalho algumas características do NDVI, como, em caso de concentrações muito elevadas de clorofila, esse índice possui a particularidade de saturar, de modo que o seu valor não se altera com mudanças sutis na concentração de clorofila.

Essa característica do NDVI que foi citada por Arapostathi et al. (2023) e corrobora com os resultados do presente trabalho, sendo que, nos locais que tínhamos ataque apenas de algumas cochonilhas, e os danos causados pela praga não eram severos, o índice não foi efetivo na identificação justamente por essas plantas apresentarem mudanças sutis na concentração de clorofila de suas folhas, o que em contrapartida não aconteceu com as plantas que estavam sofrendo com o ataque de colônias de *S. sacchari*, e que por apresentar uma maior quantidade do inseto-praga, as injúrias nessas plantas eram maiores, a exemplo da diminuição acentuada da clorofila das folhas e um menor desenvolvimento vegetativo da cultura, e isso colaborou para a identificação desses locais através do NDVI.

Bárta et al. (2022), em seu trabalho sobre comparação de técnicas de pesquisa de campo e sensoriamento remoto para detecção de árvores infestadas por besouros da casca descobriram que a região da borda vermelha é a parte mais impactada do espectro das árvores infestadas pelo besouro, sendo, os índices de vegetação relacionados a essa parte do espectro, por exemplo o NDRE, capazes de detectar a infestação mais cedo do que índices que trabalham com informações espectrais do infravermelho próximo como é o caso do NDVI. Esses resultados demonstram a capacidade que o NDRE tem em identificar de forma mais precoce, quando comparado com o NDVI, mudanças vegetativas nas culturas, e isso se dá justamente pela característica da banda espectral borda vermelha ser mais sensível.

Os resultados que Bárta et al. (2022) encontram na sua pesquisa podem ser comparados com os encontrados na presente pesquisa, isso porque, o NDVI se mostrou eficiente apenas na detecção de áreas que apresentavam uma maior quantidade de insetos, ou seja, quando já se tinha uma mudança mais acentuada na atividade vegetativa da cana, onde, no caso do NDRE, essa detecção ocorreu quando se tinha uma menor infestação da *S. sacchari*, e consequentemente, mudanças mais sutis na atividade fotossintética das plantas.

Embora os índices NDRE e NDVI tenham mostrado utilidade na detecção de infestações de *S. sacchari*, uma limitação importante é que as injúrias causadas pela praga podem ser

confundidas com sintomas provocados por outras pragas, patógenos ou estresse hídrico. Dessa forma, o monitoramento em campo é imprescindível para confirmar a causa dos danos e validar os padrões espectrais associados a *S. sacchari*.

Os resultados reforçam o potencial dos índices de vegetação para subsidiar estratégias de manejo integrado de pragas na cultura da cana-de-açúcar. A capacidade do NDRE de detectar infestações iniciais pode auxiliar no monitoramento preventivo, enquanto o NDVI pode ser utilizado em estágios mais avançados, quando os danos são mais severos. O uso dessas ferramentas possibilita tomadas de decisão mais assertivas e oportunas, contribuindo para uma gestão mais eficiente da lavoura.

Estudos futuros poderiam ampliar o período de monitoramento e incluir uma maior quantidade de amostras para fortalecer a validação dos resultados. Além disso, recomenda-se investigar a relação entre os índices de vegetação e outras variáveis fisiológicas, como o teor de água nas folhas e a taxa de fotossíntese, para obter uma compreensão mais abrangente dos impactos da infestação de *S. sacchari* e melhorar a precisão dos diagnósticos por sensoriamento remoto.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se com a presente pesquisa que o sensoriamento remoto suborbital aliado aos índices de vegetação NDVI e NDRE, são efetivos para a identificação de padrões relacionados com as injúrias ocasionadas por *S. sacchari* na cultura da cana-de-açúcar, se mostrando uma ferramenta eficaz para o monitoramento deste inseto-praga.

Recomenda-se a utilização conjunta dos dois índices para detectar a ocorrência de *S. sacchari*, pois eles se complementam na identificação da intensidade de infestação. O NDVI apresenta uma relação mais forte em níveis elevados de infestação, enquanto o NDRE se mostra mais eficiente no estágio inicial, quando os danos ainda são pouco expressivos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DA PARAÍBA – AESA PB. **Meteorologia – Chuvas**. 2023. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=2024-03-12&produto=municipio&periodo=anual>. Acesso em 15 mai. 2024.
- ALLIAUME, A. et al. Mouthparts morphology of the mealybug *Phenacoccus aceris*. **Bulletin of Insectology**, v. 71, n. 1, 2018.
- ALVES, E. M. C. **Desenvolvimento vegetativo de cana-de-açúcar sob a fixação biológica em associação de algas no brejo paraibano**. TCC - Agronomia - Universidade Federal da Paraíba - UFPB. 2023, 45f.
- ALVES, M. S. **Aeronaves remotamente pilotadas na agricultura: estudo comparativo e métodos de manejo**. Trabalho de conclusão de curso - Ciências Aeronáuticas. Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC Goiás. 2021, 28f.
- AMARASINGAM, Narmilan et al. Uma revisão de plataformas, sensores e aplicativos de UAV para monitoramento de lavouras de cana-de-açúcar. **Aplicações de Sensoriamento Remoto: Sociedade e Meio Ambiente**, v. 26, p. 100712, 2022.
- ARAPOSTATHI, Evaggelia et al. Early Detection of Potential Infestation by *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera: Buprestidae), in Stone and Pome Fruit Orchards, Using Multispectral Data from a UAV. **Agronomy**, v. 14, n. 1, p. 20, 2023.
- BARBOSA, A. M. **Manejo varietal em cana-de-açúcar**. 2019. Disponível em: <http://alexandriusmb.blogspot.com/2019/02/manejo-varietal-em-cana-de-acucar.html> Acesso em 2 mai. 2024.
- BARROS, A.; FARIAS, L.; MARINHO, J. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.13, n.06, p. 2885-2895, 2020.
- BÁRTA, Vojtěch et al. Comparison of field survey and remote sensing techniques for detection of bark beetle-infested trees. **Forest Ecology and Management**, v. 506, p. 119984, 2022.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **PORTARIA Nº 298**. Estabelece regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 24 setembro 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mapa-n-298-de-22-de-setembro-de-2021-347039095> . Acesso em: 11 mai. 24.
- CAMPBELL, James B.; WYNNE, Randolph H. **Introduction to remote sensing**. Guilford press, 2011.
- CANDEIAS, A. L.; SOUZA, J. E.; BARROS, J. E. **EXTRAÇÃO DE FALHAS EM PLANTIO DE CANA-DE-AÇÚCAR USANDO O ATRIBUTO COR EM IMAGEM DE VANT**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO- UFPE - CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS- CTG CARTOGRÁFICA, RECIFE - PE, 2018.

CASTANHO, R.; TEIXEIRA, M. A evolução da agricultura no mundo: da gênese até os dias atuais. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 8, n. 1, p. 136-146, jan./jun. 2017.

CHOOSUMRONG, Sittichai et al. Bananas diseases and insect infestations monitoring using multi-spectral camera RTK UAV images. **Spatial Information Research**, v. 31, n. 4, p. 371-380, 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acomp. safra brasileira de cana-de-açúcar, Brasília, v11 – Safra 2023/24, n.4 - Quarto levantamento, p. 1-52, Abril 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em 20 mai. 2024.

CRATO, Jorgiana Kamila Teixeira do et al. **Deteção em multiescala de bicho-mineiro em lavoura cafeeira utilizando imagens multiespectrais**. 2018.

CRUSIOL, L.G.T. et al. NDVI E IMAGEM TERMAL OBTIDOS POR VANT APLICADOS AO MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO HÍDRICA DA CULTURA DA SOJA. **VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA**. Goiânia, p. 296-298, 2018.

DASH, Jonathan P. et al. Assessing very high resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 131, p. 1-14, 2017.

DIAS, R. C. S. et al. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA EM MAMOEIRO. **XXVI Congresso Brasileiro de Fruticultura**. Juazeiro e Petrolina, p. 1.491-1.494, 2019.

DJI. **Manual do usuário Dji Mavic 3M v1.2**. 2023. Disponível em: https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mavic_3_Enterprise/20230531/DJI_Mavic_3M_UM-pt-br_v1.2.pdf. Acesso em 16 mai. 2024.

EMBRAPA. **Pragas e doenças da cana estão entre os desafios para as usinas**. 2016. Disponível em: [https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/15770435/pragas-e-doencas-da-cana-estao-entre-os-desafios-para-as-usinas#:~:text=integrado%20de%20pragas-,Sphenophorus%20levis%20\(bicudo%20da%20cana%2Dde%2Da%C3%A7%C3%BAcar\)%2C,a%20identifica%C3%A7%C3%A3o%20correta%20dessas%20pragas](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/15770435/pragas-e-doencas-da-cana-estao-entre-os-desafios-para-as-usinas#:~:text=integrado%20de%20pragas-,Sphenophorus%20levis%20(bicudo%20da%20cana%2Dde%2Da%C3%A7%C3%BAcar)%2C,a%20identifica%C3%A7%C3%A3o%20correta%20dessas%20pragas). Acesso em: 28 mai. 2024.

EPIFANIO, H. R. **A IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR NO BRASIL: REVISÃO SOBRE OS ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICO-AMBIENTAIS DO PROCESSO PRODUTIVO DO AÇÚCAR NO BRASIL**. 2023. Graduação - Engenharia Química. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023, 61f.

FRANCISCO, C. N. et al. Análise do impacto da correção atmosférica no cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada a partir de Imagem Landsat 8/OLI. **Revista Brasileira de Geografia Física**. N. 13. v. 13.1, p. 076- 086, 2020.

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna; SANTOS, Djail. **Climatologia do estado da Paraíba**. 2017.

FURTADO, R.; HOFF, R. PÁTIO DE DESCONTAMINAÇÃO DE AERONAVES AGRÍCOLAS EVOLUÇÃO TÉCNICA E LEGAL. **REVISTA DE POLÍTICA AGRÍCOLA**, V. 26, N. 2, 2017.

GOMES, W.C. **Índice de vegetação Red Edge nas bandas B05, B06 E B07 do Sentinel-2**. 2023. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022.

GUIMARÃES, D. **Produtividade e qualidade do caldo de cultivares de cana de cana-de-açúcar em arranjos de espaçamentos entre fileiras no Cerrado**. Monografia - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Brasília, 2017.

IBGE. BANCO DE DADOS E INFORMAÇÕES AMBIENTAIS – BDIA. 2023. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em 16 mai. 2024.

JAYANTHI, R.; GOUD, Y.S. Phenolic content in sugarcane stem as related to infestation by Coccoids. **Indian Journal of Agricultural Research**, v. 35, p. 198-201, 2001.

JAYANTHI, R.; SRIKANTH, J.; SUSHIL, SN Cana-de-açúcar. **Cochonilhas e seu Manejo em Culturas Agrícolas e Hortícolas**, p. 287-296, 2016.

LATHA, T.; BAUTISTA, K. Preliminary investigation on insect pests of sugarcane in the northern sugar belt region of Belize. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 8, p. 1334-1340, 2020.

MONTEIRO, G.G. **Desenvolvimento biológico, danos diretos e indiretos da cochonilha rosada da cana-de-açúcar *Saccharicoccus sacchari* (Cockerell, 1895) (Hemiptera: Pseudococcidae) no estado de São Paulo**: biossistemática da cochonilha rosada da cana-de-açúcar. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2022 95 p.

MONTEIRO, Gabriel Gonçalves; PERONTI, Ana Lúcia Benfatti Gonzalez; MARTINELLI, Nilza Maria. Presence of pink sugarcane mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) increases probability of red rot on sugarcane. **Scientia Agrícola**, v. 79, p. e20200373, 2021.

NOGUEIRA, H. M. C. M. **VIABILITY OF CULTIVATION OF CANE SUGAR IRRIGATED FOR ETHANOL PRODUCTION**. 2016. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

PEREIRA, Karina Maraschi et al. Variabilidade espacial e correlação de micronutrientes catiônicos do solo e NDRE da soja. 2020.

QIN, Z.Q.; WEI, J.J.; SONG, X.P.; LUO, Y.W.; LIU, L.; DENG, Z.Y. Efficacy of the ladybird beetle *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant for control of *Saccharicoccus sacchari* (Cockerell). **Sugar Tech**, v. 19, p. 599-603, 2017.

R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing [Software]. R Foundation for Statistical Computing.

SANTOS, A. F. **Método não destrutivo para predição da maturação de amendoim (*Arachishypogaea* L.) utilizando Sensoriamento Remoto**. 2019. 107 f. Tese (Doutorado) -

Curso de Agronomia (produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista (unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, Jaboticabal, 2019.

SHANG, Xian-Kun et al. Sugarcane Insect Pests in China: Species, Distribution and Population Dynamics. *Sugar Tech*, p. 1-13, 2023.

SILVA, Bruna Fernanda; CAVICHIOLI, Fábio Alexandre. O uso de veículos aéreos não tripulados para detecção de pragas e doenças na cultura da soja. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, n. 1, p. 236-247, 2022.

SILVA, W. K. M. **Influência das mudanças climáticas no cultivo da cana-de-açúcar no Estado da Paraíba**. Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba - UFPB. 2019.

SILVEIRA, J. M. de C.; CANDIDO, B. M.; SILVA, A. L. B. de O.; PAVÃO, G. C. .; XAVIER, M. A. .; PIRES, R. C. de M. USO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS E TERMOGRÁFICAS PARA MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES HÍDRICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR. **IRRIGA**, [S. l.], v. 25, n. 4, p. 689–696, 2020.

STURZA, V.S.; PERONTI, A.L.B.G.; NAVA; D.E. First record of *Dysmicoccus boninsis* Kuwana, 1909 (Hemiptera: Pseudococcidae) on sugarcane in the state of Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p. 1-2, 2022.

SUZIN, Vilmar. **Avaliação e estimativa de correlação espectral de variáveis biofísicas e bioquímicas causada por fitonematoides na cultura do milho**. 2022. 106. Trabalho de Conclusão de Curso Dissertação de Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2022.

TAO, Wancheng et al. Monitoring the damage of armyworm as a pest in summer corn by unmanned aerial vehicle imaging. **Pest Management Science**, v. 78, n. 6, p. 2265-2276, 2022.

THOMPSON, C. N. et al. Using Normalized Difference Red Edge Index to Assess Maturity in Cotton. **Crop Science**. V. 59, n. 5 p. 2167-2177, 2019.

TOHAMY, T.H.; EL-RAHEEM, A.A.A.; EL-RAWY, A.M. Role of the cultural practices and natural enemies for suppressing infestation of the pink sugarcane mealybug: *Saccharicoccus sacchari* (Cockerell) (Hemiptera: Pseudococcidae) in sugarcane fields at Minia Governorate, Middle Egypt. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 18, p. 177-188, 2008.

TUTA, N. F. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar no ciclo da cana - planta com aplicação de efluente de esgoto tratado via gotejamento subsuperficial**. Dissertação de mestrado, UNICAMP. Campinas, SP, 2013.

VIAN, C. E. F. **Séries históricas: Cana**. Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pre-producao/socioeconomia/estatisticas/series-historicas#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20atualmente%20o,maior%20exportador%20mundial%20de%20a%C3%A7%C3%BAcar>. Acesso em: 16 jul. 2024.

VIVONE, Gemine. Multispectral and hyperspectral image fusion in remote sensing: A survey. **Information Fusion**, v. 89, p. 405-417, 2023.

ZHANG, Chunhua; KOVACS, John M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision agriculture**, v. 13, p. 693-712, 2012.

ZHANG, J.T.; WU, B.; WU, A.S. A review of the genus *Saccharicoccus* Ferris, 1954 (Hemiptera: Coccoomorpha: Pseudococcidae) in China, with description of a new species. **Zootaxa**, v. 4375, p. 127-135, 2018.

ZHANG, Jing et al. Assessing spatio-temporal patterns of sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae) infestations on silage sorghum yield using unmanned aerial systems (UAS). **Crop Protection**, v. 146, p. 105681, 2021.

ZHANG, Liyuan et al. Mapping maize water stress based on UAV multispectral remote sensing. *Remote Sensing*, v. 11, n. 6, p. 605, 2019.