

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VILMAR SUZIN

**AVALIAÇÃO E ESTIMATIVA DE CORRELAÇÃO ESPECTRAL DE VARIÁVEIS
BIOFÍSICAS E BIOQUÍMICAS CAUSADA POR FITONEMATOIDES NA CULTURA
DO MILHO**

MEDIANEIRA

2022

VILMAR SUZIN

**AVALIAÇÃO E ESTIMATIVA DE CORRELAÇÃO ESPECTRAL DE VARIÁVEIS
BIOFÍSICAS E BIOQUÍMICAS CAUSADA POR FITONEMATOIDES NA CULTURA
DO MILHO**

**Evaluation and estimation of spectral correlation of biophysical and
biochemical variables caused by phytonematoides in corn culture**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção de título de mestre em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, do programa de Pós graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologias Computacionais Aplicadas à Produção Agrícola e Agroindustrial.

Orientador: Prof. Dr. André Sandmann

Coorientador: Prof. Dr. Cláudio Leones Bazzi

**MEDIANEIRA
2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Medianeira



VILMAR SUZIN

**AVALIAÇÃO E ESTIMATIVA DE CORRELAÇÃO ESPECTRAL DE VARIÁVEIS BIOFÍSICAS E
BIOQUÍMICAS CAUSADA POR FITONEMATÓIDES NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Computacionais Para O Agronegócio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologias Computacionais Aplicadas À Produção Agrícola E Agroindústria.

Data de aprovação: 29 de Julho de 2022

Dr. Andre Sandmann, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Claudio Leones Bazzi, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Fabiana Costa De Araujo Schutz, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Luciana Del Castanhel Peron Da Silva, Doutorado - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 03/08/2022.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. André Sandmann, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória. Não menos importante ao coorientador pelo esforço e dedicação no auxílio na aquisição dos dados de campo.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, minha esposa Josiani e os meus filhos Mateus e Jhonatan pois acredito que sem o apoio deles seria muito mais difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

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.

O milho é uma das culturas agrícola mais importante do mundo, a única cuja produção já ultrapassou a marca de 1 bilhão de toneladas. sendo a principal fonte de energia dentro do processo de nutrição animal na indústria alimentícia e de bebidas, além de ser também uma importante matriz energética na produção de biocombustíveis como o etanol como fonte de energia renováveis. O objetivo foi avaliar a correlação biofísica e bioquímica da cultura de milho de segunda safra utilizando imagens espectral para diagnosticar variabilidade espacial na interação de fitopatógenos da ordem dos nematoides através do uso de sensor multiespectral embarcado em uma plataforma aerotransportada - VANT em semeadura de híbridos de milho em três locais. Aplicando os índices vegetativos Normalized Difference Vegetation Index – NDVI, Normalized Difference Red Edge – NDRE e Wide Dynamic Range Vegetation Index - WDRVI. O estudo foi realizado no Município de Serranópolis do Iguaçu, onde foram realizados voos utilizando um VANT modelo Spectral 2 equipado com sensores multiespectral modelo ALTUM da MicaSense, fazendo a leitura RGB, NIR, Red Edge e TIR. As imagens foram obtidas automaticamente pelo plano de voo com o programa computacional NControl, posteriormente georreferenciadas, ortorretificadas e derivados os mapas temáticos dos índices de vegetação pelo programa computacional MapperPIX4D 4.6.4. Para determinar os IVs, os voos foram realizados em três épocas distintas. Constatou-se que a magnitude da variância da interação entre os híbridos de milho avaliados na condição com presença de nematoides e sem presenças nematoides foi significativa entre os parâmetros estimados. O uso do mapa termal associado ao NDVI apresentou forte correlação na seleção de regiões com populações de nematoides com efeito negativo a cultura do milho. O índice de vegetação NDRE expressou um período maior de investigação nesta pesquisa, da biomassa fotossinteticamente ativa em relação ao NDVI. Tanto o híbrido de milho do ambiente 1 - HIB1, ambiente 2 - HIB2 e o ambiente 3 - HIB3 os IVs foram ferramentas eficazes para coletar dados sobre a variabilidade espacial e correlação dos efeitos causado pela a ação de nematoides.

Palavras-Chaves: VANT; agricultura de precisão; índice de vegetação; sensoriamento remoto; multiespectral; milho.

ABSTRACT

SUZIN, Vilmar. Evaluation and estimation of spectral correlation of biophysical and biochemical variables caused by Phyto nematodes in corn. 2022. 106. Final Course Work Master's Dissertation in Computational Technologies for Agribusiness – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2022.

Corn is one of the most important agricultural crops in the world, the only one whose production has already surpassed the 1-billion-ton mark. being the main source of energy within the process of animal nutrition in the food and beverage industry, in addition to being an important energy matrix in the production of biofuels such as ethanol as a source of renewable energy. The objective was to evaluate the biophysical and biochemical dynamics of the second-crop corn crop using spectral images to diagnose spatial variability in the interaction of phytopathogens from the order of nematodes through the use of a multispectral sensor embedded in an airborne platform - UAV in sowing corn hybrids in three locations. Applying the Normalized Difference Vegetation Index - NDVI, Normalized Difference Red Edge - NDRE and Wide Dynamic Range Vegetation Index - WDRVI. The study was carried out in the municipality of Serranópolis do Iguaçu, where flights were performed using a UAV model Spectral 2 equipped with multispectral sensors model ALTUM by MicaSense, reading RGB, NIR, Red Edge and TIR. The images were automatically flown through the flight plan with the computational program NControl, later georeferenced, orthorectified and derived from thematic maps of vegetation indices by the computational program MapperPIX4D 4.6.4. To determine the IVs, the flights were performed at three different times. It was found that the magnitude of the variance of the interaction between the maize hybrids with certainty in the condition with the presence of nematodes and without the presence of nematodes was significant among the estimated parameters. The use of the thermal map associated with the NDVI showed strong control in the selection of regions with nematode recipients with a negative effect on the corn crop. The NDRE vegetation index expressed a longer period of investigation in this research, of the photosynthetically active biomass in relation to the NDVI. Both environment 1 - HIB1, environment 2 - HIB2 and environment 3 - HIB3 maize hybrid IVs were effective tools to collect data on spatial variability and transformative effects caused by nematode action.

Keywords: UAV; precision agriculture; vegetation index; remote sensing; multispectral; corn.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relações entre a porcentagem de cobertura verde (algodão) e a reflectância (A) no vermelho e (B) no infravermelho próximo (NIR) para cinco solos diferentes: Superstition sand (seco) (O), Avondale loam (seco) (◇), Whitehouse-BSCCL (seco) (△), Cloversprings loam (seco) (□) e Claversprings loam (úmido) (●).	23
Figura 2 - Série histórica da produtividade paranaense de milho, na Safra de Verão e na Safrinha. Fonte: CONAB (2022), adaptado pelo autor.	25
Figura 3 - Série histórica da área cultivada e médias nacionais de produtividade Brasileiras de milho na Safra de Verão e na Safrinha.....	26
Figura 4 - Imagem de satélite (Google Earth) dos ambientes 1, 2 e 3 das lavouras de plantio com os seus ambientes de estudo delimitados e destacados com as suas devidas coordenadas.....	42
Figura 5 - Layout das parcelas para coleta das informações biofísicas: altura de plantas, volume de raiz, diâmetro de colmo, massa seca total, massa de grãos por espiga (2021).....	46
Figura 6 - Imagens processadas e aplicado o índice NDVI para determinar feições para cada ambiente estudado. Considerando índices $\geq 0,6$ (SEMNEMA) caracterizando baixa ou ausência de nematoides e $\leq 0,3$ (COMNEMA) com alta presença de nematoides.....	48
Figura 7 - Sistematização para alocar as parcelas virtuais com emprego do índice vegetativo NDVI nas imagens processadas dos ambientes de estudos das imagens de campo feitas com o VANT no período de 20 de março de 2021 do Ambiente 1.....	49
Figura 8 - Exemplo da sistematização para determinação da seleção das parcelas virtuais com emprego do índice vegetativo NDVI nas imagens processadas dos ambientes de estudos das imagens de campo feitas com o VANT no período de 20 de março de 2021.....	50
Figura 9 - Imagem termal do dia 20/03/2021, nos três ambientes (1, 2 e 3) de pesquisa. Autor: Autoria própria.	64
Figura 10 - Perfis temporais dos índices de NDVI, NDRE e WDRVI na caracterização da incidência de fitonematoides do dia 20/03/2021 nos três ambiente (1, 2 e 3) pesquisados.Fonte: Autoria própria.....	73
Figura 11 - Informações caracterizando as reboleiras com ação dos nematoides e em destaque (Data 15/04/2021) o efeito acometido pela ação de populações destes parasitas. (A) Imagem do Ambiente 2 COMNEMA na data 31/03/21 e 15/04/2021 e (B) Imagem do Ambiente 2 SEMNEMA na data 31/03/2021 e 15/04/2021.	74
Figura 12 - Perfis temporais dos índices de NDVI, WDRE e WDRVI na caracterização da incidência de fitonematoides do dia 27/04/2021 nos três ambiente (1, 2 e 3) pesquisados.Fonte: Autoria própria.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho.	45
Tabela 2 – Resultados dos atributos químicos avaliados nos Ambientes 1, 2 e 3 de estudos.	52
Tabela 3 – Desdobramento dos tratamentos nos atributos biofísicos de três híbridos (HIB) de milho na condição com presença (COMNEMA) e sem presença (SEMNEMA) de nematoides.....	54
Tabela 4 – Resultado da análise nematológicas das parcelas estudadas nos ambientes (1, 2 e 3) com a união de 2 extratos de parcelas para cada resultado tanto de raiz ® e solo (S) (2022).	58
Tabela 5 – Detalhamento da composição das amostras de raízes com solo para avaliação nematológicas nos três ambientes estudados relacionando com NDVI das parcelas.....	60
Tabela 6 – Referência dos níveis populacionais de espécies de nematoides segundo alguns autores para <i>Meloidogyne ssp.</i> (das galhas), <i>Pratylenchus ssp.</i> (das lesões) e <i>Heterodera glycines</i> (do cisto).	61
Tabela 7 – Índices de vegetação (IV) que foram utilizados, seguido por suas siglas, equações e referências.....	63
Tabela 8 – Intervalos de interações do dossel da cultura do milho com sensores termais aos 35 dias (DAE) na condição de segunda época (safrinha) de semeadura da cultura do milho.	65
Tabela 9 – Resultado da leitura espectral do infravermelho do sensor termal (Lwir 11.000 nm) dos ambientes estudados do dia 20/03/21 gerado com Software MapperPix4D 4.6.4.....	66
Tabela 10 – Resultado do índice vegetativo NDVI dos ambientes estudados do dia 20/03/21 gerado pelo Software MapperPix4D 4.6.4.	69
Tabela 11 – Intervalos de coeficientes de correlação e interpretação de NDVI.	71
Tabela 12 – Médias do IV (NDVI) das parcelas dos extratos de coleta dos atributos biofísicos analisados para os três híbridos (HIB) na condição de SEMNEMA e COMNEMA nos ambientes de pesquisa.	75

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ALP	Altura de planta
B	Boro
COV	Porcentagem de cobertura do solo
COMNEMA	Presença de alta população de nematoides
Cu	Cobre
Cwa	Subtropical Mesothermal Water
DAF	Distribuição de ângulos foliares
DAS	Dias após a semeadura
DCM	Diâmetro de colmo
EVI	Enhanced Vegetation Index
Fe	Ferro
GPS	Global positioning system
HIB1	Híbrido P 4285 LEPTRA
HIB2	Híbrido P 2970 VYHR
HIB3	Híbrido AS 1844 PRO3
IAF	Índice de área foliar
IV	Índice da área foliar
K	Potássio
MDS	Modelo digital do solo
MID	Manejo Integrado de Doenças
Mg	Magnésio
MGE	Massa de grãos de cada espiga
MIP	Manejo integrado de pragas
Mn	Manganês
NDVI	<i>Normalized difference vegetation index</i>
NDREI	<i>Normalized Difference Red Edge Index</i>
NIR	<i>Near infrared</i>
NPK	Nitrogênio/Fósforo/Potássio
pH	Potencial de hidrogênio
REM	Radiação eletromagnética
RGB	<i>red/Green/Blue</i>

SAVI	Soil-adjusted Vegetation Index
SEMNEMA	Baixa presença ou ausência de nematoide
VANT	unmanned aerial vehicles
VNIR	<i>visible/near infrared</i>
VR	Volume de raiz.
WDRVI	Index the Wide Dynamic Range Vegetation Index
UA	Unidade amostral
UTM	Normalized Difference Red Edge Index (NDREI)

LISTA DE SIGLAS

SEAB	Secretaria da Agricultura e Abastecimento.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
CONAB	Companhia Nacional Brasileira
SBN	Sociedade Brasileira de Nematologia

LISTA DE ACRÔNIMOS

NASA	National Aeronautics and Space Administration
INPI	International Plant Nutrition Institute
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
CONAB	Companhia Nacional Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Nematoides que infestam a cultura do milho.....	17
2.2	Comportamento e interações espectrais de culturas agrícolas	19
2.3	Variáveis biofísico as das culturas agrícolas.....	22
2.4	O cultivo de milho de segunda safra no oeste do Paraná	24
2.5	Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão.....	27
2.6	Informações coletadas com sensores em plataformas de VANT	29
2.7	Aplicabilidade dos índices vegetativos na agricultura de precisão.....	31
3	METODOLOGIA.....	42
3.1	Descrição do ambiente pesquisado.....	42
3.1.1	Características do cultivo de milho nos ambientes de pesquisa	43
3.2	Classificação do tipo de solo dos ambientes de pesquisa.....	44
3.3	Coleta de dados dos ambientes de pesquisa com VANT	44
3.4	Coleta de dados biofísicos dos ambientes de pesquisa	45
3.5	Hardwares e softwares utilizados no processamento dos dados.....	48
3.6	Configuração das parcelas virtuais	48
4	RESULTADOS E DISCUSÕES.....	51
4.1	Avaliação dos atributos químicos do solo dos ambientes de pesquisa .	51
4.2	Avaliação dos componentes de produção e produtividade	53
4.3	Identificação de fitonematoides nos ambientes pesquisados	57
4.4	Sensoriamento remoto na caracterização da variabilidade espacial de ataque de nematoides.....	62
	CONCLUSÕES	80
	REFERÊNCIAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

Dentre os fatores limitantes à produção do milho no Brasil e no mundo, destacam-se os fitonematoides, que são considerados o grupo de metazoários mais abundantes na biosfera. As ações desses microrganismos impedem o crescimento e a nutrição, das plantas de interesse sendo assim, menos produtivas (KIMATI et al., 2005). O potencial de dano que é causado por um determinado nematoide está relacionado com a sua população nas raízes e no solo (ALFENAS et al., 2007).

Segundo a Sociedade Brasileira de Nematologia (SBN) (2017) plantas atacadas por esses nematoides apresentam diversos sintomas como desnutrição, queda de folhas ou depauperamento geral nas lavouras. Dependendo da cultivar plantada, espécie e raça do parasito e condições de cultivo, podem ocorrer galhas ou lesão radicular, redução na absorção de nutrientes e translocação de água, implicação na tolerância ao stress hídrico, clorose, desfolhamento da parte aérea, redução de produtividade e morte (GOELDI, 1892, apud SANTOS, 2000).

Na maioria das culturas as infestações geram os sintomas que normalmente manifestam-se como manchas ou reboleiras. (TULLIO, 2018). Assim para se obter um controle deve-se observar o sistema radicular das plantas para detectar os sintomas específicos, sendo galhas arredondadas, engrossamentos, descascamento, necrose, lesão e redução do sistema radicular, tornando assim possível fazer a separação entre plantas saudáveis e infectadas (SALGADO et al., 2011).

Assim, a técnica de sensoriamento remoto, aliado a sensores aerotransportados (VANTs) ou em plataformas orbitais, possibilita o mapeamento da distribuição espacial do parasita como na cultura cafeeira, pelo fato do mesmo apresentar uma baixa mobilidade temporal e um padrão geométrico típico sobre o dossel da vegetação verificado no estudo de Martins (2016).

Para se diagnosticar plantas infectadas por nematoides em grandes áreas, estimando sua população e os seus níveis de infecção, os trabalhos são onerosos e nem sempre viáveis, pelo fato da necessidade de uma análise laboratorial com um grande número de amostras tanto de solo como de raízes das plantas, demandando tempo e um alto recurso financeiro (RUDORFF; MOREIRA; ALVES, 2002).

Desta forma, métodos alternativos são requeridos buscando a efetividade para quantificar reboleiras nas áreas de ocorrência de pragas como os nematoides (LANG et al., 2017). Dentre estas ferramentas, o sensoriamento remoto (SR) juntamente com

técnicas de avaliação, podemos obter diversas informações, sendo possível estimar área cultivada, produção agrícola, vigor vegetativo e oferecer subsídios para o manejo agrícola em diversos níveis (INPE, 2017).

No âmbito da agricultura de precisão, o uso dessa ferramenta (SR) possibilita controle e análise dos dados agrícolas, orientando na tomada de decisão e na aplicação de insumos nas áreas infectadas por parasitas. No intuito de tornar essa ferramenta cada vez mais viável, criaram-se satélites como WorldView 2, Sentinel 2 e o RapidEye que utilizam a banda Vermelho Limítrofe, a qual é específica para o monitoramento da atividade fotossintética da vegetação, permitindo a separação de espécies e o monitoramento da sanidade da vegetação (FERREIRA, 2010).

Ora posto, destacou-se a necessidade do desenvolvimento da presente pesquisa com o intuito de identificar moléstias na cultura do milho segunda safra na região Oeste Paranaense; tais dados corroboram para a atuação local apenas em reboleiras das áreas afetadas, minimizando disseminação de pragas, reduzindo custos, ensejando-se uma maior produtividade.

A pesquisa tem como objetivo explorar efeitos biofísicos e bioquímicos na cultura do milho causados por fitonematoides com auxílio de imagens espectral aerotransportadas em VANT com o princípio de evidenciar com maior precisão a ocorrência das reboleiras afetadas por nematoides que causam danos a cultura do milho. No entanto, as hipóteses levantadas estão relacionadas com a possibilidade de identificar e correlacionar populações de fitonematoides através de técnicas de imageamento na construção de índices vegetativo.

Para tanto é necessário criar uma correlação entre imagens oriundas do sensoriamento remoto com a presença de nematoides em lavouras de milho, visando agilidade e minimização de custos no tratamento dessa praga. Uma das tarefas mais importante é avaliar os intervalos espectrais mais favoráveis à detecção do ataque do nematoide na cultura, bem como, o melhor estágio de desenvolvimento da cultura para caracterizar os efeitos negativos do ataque dos nematoides e relacionar com um padrão espacial com resultados de índices vegetativos (IV) de maior perceptibilidade.

A disponibilidade de ferramentas poderosas de processamento de imagens vá auxilia o pesquisador na avaliação de problema recorrente, por exemplo, nutricional, pragas e doenças, estresse hídricos, além de outros. Com tudo, sendo justificável o contexto desta pesquisa na busca de ferramentas que auxilie na identificação e

caracterização de reboleiras na cultura de milho causadas por fitonematoides viabilizando o manejo da praga.

A popularização e estímulo do uso de VANTS pelas diversas funcionalidades possíveis de serem exploradas no segmento computacional no uso na agricultura local que apesar de todo avanço tecnológico nesta área é muito pouca acessada. Com isso, objetivando e auxiliando na formação de profissionais capacitados a atuar no âmbito da pesquisa e desenvolvimento de tecnologias, bem como buscar soluções inovadoras para o agronegócio da região Oeste do Paraná.

Para tanto estudar a relação entre o comportamento espectral da cultura do milho de segunda safra na identificação de sintomas (reboleiras), locais onde o solo não produz com tanta qualidade, tem-se como um dos objetivos o estudo de múltiplas áreas de aplicação de ferramentas de sensoriamento remoto, e que, profissionais que atuam possam fazer o melhor uso possível da vasta gama de informações geradas utilizando um VANT com sensores embarcados na construção de mapas temáticos correlacionando-os com dados biofísicos e bioquímicos na caracterização de padrões na associação com nematoides, facilitando o reconhecimento e quantificação da extensão de influência por estes parasitas.

É nesse importante contexto que se insere a presente pesquisa, cujo objetivo é fornecer as bases teóricas e práticas para que estudantes, pesquisadores e profissionais que atuam em múltiplas áreas do conhecimento do sensoriamento remoto, despertem o interesse e importância da influência dos fitonematoides na produção da cultura do milho de segunda safra, além da conscientização da gravidade do problema com fitonematoides entre agricultores.

Além de, a pesquisa vem preencher uma lacuna de estudos científicos, dada a relativa ausência de referências com a problemática de nematoides atacando a cultura do milho de segunda safra na região do extremo Oeste paranaense, possibilitando para aqueles que desejam aprofundar os conhecimentos na área.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico será apresentado conceitos de estudos que fundamentam a pesquisa abordando parâmetros técnicos científicos sobre a cultura do milho, a problemática com nematoides coabitando as raízes da cultura, entendimento do uso de ferramentas dispostas em plataformas aerotransportadas (VANT), geração de imagens.

2.1 Nematoides que infestam a cultura do milho

A cultura do milho é suscetível a vários parasitos, sendo os nematoides um dos principais. Em várias regiões produtoras do mundo, os danos à produtividade causados por nematoides são crescentes, em função da monocultura e intenso uso do solo. Contudo, as espécies-chave variam de região para região (FERRIS; FERRIS, 1998). De fato, isso tem preocupado os produtores de grãos com o aumento da incidência e severidade de danos por nematoides, gerando uma maior expectativa de novas tecnologias de identificação e manejo (INOMOTO, et al., 2007).

Para um manejo eficiente no controle de fitonematoides é necessário entender sobre a complexibilidade deste grupo de microrganismos, pois, de acordo com estudos realizados pela Embrapa Milho e Sorgo (2014), mais de 40 espécies distribuídos em 12 gêneros têm sido observadas nas raízes do cultivo do milho por todo o mundo. Dentre os diversos gêneros de fitonematoides que atacam a cultura do milho os que se destacam economicamente no Brasil são: *Criconemella* spp., *Helicotylenchus* spp. E *Xiphinema* spp.

Se consideradas as culturas anuais agrícolas de maior expressão no que diz respeito à área cultivada e produção no Brasil, as cinco espécies de nematoides mais frequentemente envolvidas com perdas na produção são: os nematoides das galhas *Meloidogyne incognita* (KOFOID e WHITE, 1919); *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood (1949); o nematoide de cisto da soja *Heterodera glycines* Ichinoe, Chitwood (1949); o nematoide reniforme *Rotylenchulus reniformis*, Linford e Oliveira, (1940); e o nematoide das lesões radiculares *Pratylenchus brachyurus* (GODFREY, 1929) Filipjev e Sch. Stekhoven, 1941 (DIAS et al., 2010; GALBIERI et al., 2012).

As espécies *Pratylenchus brachyurus* e *Pratylenchus Zeae* são fitonematoides que parasitam às culturas e têm importância devido a sua

patogenicidade, distribuição e densidade populacional (SANTOS, 2020). Atualmente, existem 70 espécies do gênero *Pratylenchus* que estão distribuídos em todo mundo, parasitando dezenas de espécies vegetais.

No Brasil, as espécies mais importantes do gênero são *P. brachyurus*, *p. zaeae* e *P. coffeae*, considerando as perdas econômicas e os danos causados, a distribuição geográfica e o número de plantas hospedeiras (DE QUEIRÓZ et al., 2014).

Considerando os impactos econômicos mundiais para diferentes culturas agrícolas, o gênero *Pratylenchus* ocupa o segundo lugar em importância entre todos os fitonematoides (GOULART, 2008). O *P. brachyurus* é um nematoide muito comum no Centro-Oeste brasileiro, devido à região possuir clima e solo favoráveis ao seu desenvolvimento.

É um nematoide polífago que se alimenta entre outras culturas da soja, braquiárias, sorgo, milho e milho (NEVES, 2013). Entretanto a cultura do milho vem sofrendo com ataques de fitonematoides, dentre eles o *Pratylenchus brachyurus* (EDUCA; URUTA, 2020).

O sistema radicular do milho parasitado por fitonematoides é bem menos eficiente na absorção de água e nutrientes e, por isso, as plantas podem apresentar sintomas como porte reduzido, deficiências minerais, murcha durante os períodos mais quentes do dia, espigas pequenas e má formação, e conseqüentemente perda de produção (ASMUS et al., 2013). Todos esses sintomas dão à cultura do milho a aparência irregular, podendo ocorrer em pequenas reboleiras ou em áreas maiores (BRIDA, 2015).

Por outro lado, o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones, permite a obtenção de imagens aéreas de grandes áreas com baixo custo, com maior frequência e com alta resolução (na escala de centímetros), o que viabiliza o uso desta ferramenta em larga escala (SHI et al., 2018).

Com o constante monitoramento da lavoura de cultivos utilizando o drone e o sistema de análise das imagens, o produtor rural pode ter um maior controle da saúde e qualidade da plantação. Sendo possível o imageamento de grandes áreas e o diagnóstico mais precoce da ocorrência da doença na lavoura (DE JESUS et al., 2015).

A análise de imagens permite visualizar a plantação de um ângulo diferente possibilitando, assim, a identificação de anomalias que antes seriam mais difíceis de identificar (DIAS-ARIEIRA; FERRAZ; RIBEIRO, 2009).

2.2 Comportamento e interações espectrais de culturas agrícolas

O sensoriamento remoto apresenta-se, crescentemente como uma tecnologia de potencial no monitoramento dos cultivos agrícolas, fundamentais nas estimativas de parâmetros biofísicos de grande interesse na avaliação da saúde das plantas, além de auxiliar na investigação de fatores bióticos e abióticos relacionados a estresses das culturas de interesse (COHEN et al., 2003; ESCOBAR-LÓPEZ, et al., 2022).

A extração dessas informações é muito relevante nos diagnósticos de anomalias peculiares às espécies em estudo na avaliação do comportamento de refletância desses alvos em distintas regiões do espectro eletromagnético.

Por exemplo, razão pela qual uma folha vegetal parece verde aos olhos humanos é que a clorofila, um pigmento interno das folhas, absorve à radiação eletromagnética (REM) da faixa espectral do visível nos comprimentos de onda azul e vermelho refletindo a verde destacando desta forma aspectos relacionados à variabilidade de comportamentos espectrais apresentados pelas culturas. Isso é possível porque os sensores estão atuando dentro da faixa do visível da REM entre 400 nm e 2500 nm (JARDS, 2015).

O interesse do sensoriamento remoto (SR) é a refletância da energia solar, representada pela razão entre o fluxo de radiação que é refletida por ela. A fonte de radiação do visível e do infravermelho é a de maior interesse da reflexão dos objetos na geração de informações espectrais. Isso é possível pela interação destas ondas curtas, carregam energia, à qual é suficiente para interagir em níveis microscópicos com os materiais, e, assim, podem carregar informações sobre a composição ou a constituição destes materiais. Ondas REM refletidas do solo podem ser relacionadas com seu teor de matéria orgânica ou de óxidos de ferro (FeO), assim como, no caso das folhas vegetais, informações sobre o teor de clorofila ou de umidade interna (ALMEIDA, 2016).

Desta forma, a quantidade de energia absorvida naquele específico comprimento de onda caracterizará uma determina feição espectral de absorção, que

contribuirá para formação da assinatura espectral característica deste objeto (THAYN e PRICE, 2008).

No instante em que a REM com comprimento de onda 1.450 nm, por exemplo, incide na vegetação, ocorre uma absorção decorrente do conteúdo interno de umidade, causando a feição de absorção centrada naquele comprimento de onda (VAN LEEUWEN, et al., 1999).

Na avaliação da absorção centrada no comprimento de onda 2.270 nm indica a existência de íon de carbonato (CO₃) do mineral calcita, ao passo que, a vegetação, a absorção em 650 nm é atribuída ao pigmento clorofila (SAKAMOTO et al., 2010).

Considerando o espectro de refletância de uma folha verde normal no intervalo entre 400 nm e 2.500 nm, ele pode ser dividido em três regiões específicas do espectro, visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas. No visível, ou seja, entre 400 nm (azul) e 700 nm (vermelho), a refletância é muito baixa (WESSELS, et al., 2012).

Em 550 nm ocorre um pico reduzido absorção sendo observado em duas bandas de absorção da clorofila centrada nas bandas 450 nm (azul) e 650 nm (vermelho) no estudo de Hoffer (1978), Todd e Hoffer em 1998.

Os carotenoides e xantofilas presentes nas folhas num teor que entre 6% a 29% respectivamente e correlacionados com a banda de absorção presente no azul, sendo 400 nm e 550 nm do espectro (GATES, 1965). Porém, o pigmento da clorofila é maior a sua presença tem por fim, mascarando a absorção dos pigmentos amarelos. Contudo, na senescência das folhas a clorofila praticamente desaparece, tornando-se então predominante os pigmentos amarelos (JORDAN, 1969).

Nas proximidades de 700 nm, na transição para região do infravermelho próximo, começa um crescimento acentuado da refletância caracterizando o red-edge ou borda vermelha, sendo considerado o limite entre processos de absorção pela clorofila no vermelho (CURRAN, et al., 1991). No estudo da região espectral do infravermelho próximo, compreendido entre 700 nm a 1.300 nm, as folhas verdes e saudáveis apresentam altos valores de refletâncias (45%-50%), alta transmitância (45%-50%) e baixa absortância (menos de 5%), discutido por Bunnik (1978) que atribuindo a sua estrutura interna da folha.

A refletância da vegetação verde por fortes bandas de absorção nos comprimentos em 1.400 nm, 1.900 nm e 2.700 nm sendo fortemente influenciadas pelo conteúdo de umidade nos tecidos foliares presentes nesta região sendo

refletância foliar inversamente relacionada com a quantidade total de água existente nas folhas. As propriedades ópticas das folhas de plantas são também afetadas por vários estresses, incluindo deficiência nutricionais, salinidade e injúrias causados por doenças e pragas (SAKAMOTO, et al., 2006).

A redução na produção de clorofila tem como uma das causas o estresse sofrido pelas culturas, com menor absorção da energia solar, que, conseqüentemente, aumento na refletância no visível, devido a diminuição da clorofila, e, portanto, aumento dos pigmentos amarelos (carotenoides) diminuindo a reflectância na porção do infravermelho próximo (MARTINI, et al., 2006). Entretanto, as mudanças na reflectância em função da umidade não são substanciais enquanto o turgor das folhas apresentar valores superiores a 75% (LI, et al., 2018).

A refletividade da planta depende da reunião de todos os componentes da vegetação acima da superfície do solo denominada de dossel vegetal interferindo nas propriedades de reflectância, assim sendo, as folhas individuais são, evidentemente, fundamentais para o entendimento da refletividade deste dossel (BAUER, et al., 1981). A diferença qualitativa e quantitativa da reflectância de um dossel e consideravelmente menor percentualmente de uma folha (KNIPLING, 1970).

Entre as mais importantes em mais citadas variáveis que influenciam a reflectância dos dosséis estão o índice de área foliar (IAF), a distribuição de ângulos foliares (DAF), a porcentagem de cobertura do solo (COV), a reflectância do solo e as propriedades ópticas das folhas e de outros componentes dos dosséis.

Isso, incluindo diferenças nesses parâmetros causados por variações em fatores culturais e ambientais influenciando na refletividade que permitem discriminar espécies de plantas e tipos de vegetação inferindo as propriedades ópticas da folha e do dossel, e, dessa forma, os padrões de reflectância recebidos pelos sensores remotos representando a integração de soma desses efeitos (LIMA – CUETO, et al., 2019).

Quando utilizamos óptica visível para caracterizar dosséis de culturas agrícolas o domínio espectral ocorre de forma esquemática, em períodos distintos que compreende em três fases fenológicos. Numa primeira fase, que envolve a semeadura, a emergência e o desenvolvimento inicial, e no qual, a cultura não recobre totalmente a superfície do solo com domínio nas interações da radiação eletromagnética (REM) como verificado por Giordano et al. (2014).

Numa segunda fase, a cobertura vegetal verde dominante influência em função da resposta da cobertura espacial interagindo nas interações do REM. Na terceira e última fase do ciclo fenológico a da maturação e senescência das folhas com acentuada queda das mesmas, que expõem novamente o solo e a massa seca do dossel das plantas (MOREIRA, 2001).

Num contexto geral, o tipo de solo, arquitetura de plantas, cobertura espacial do dossel, estruturas do dossel, ângulo de incidência solar e foliar, posicionamento do sensor e horário do dia são alguns parâmetros que influenciam as reflexões dos espectros nas análises de interesse que corroboram com estudos de Araujo (2017) e Haboudane et al. (2004).

2.3 Variáveis biofísico as das culturas agrícolas

A partir deste ponto vamos entender sobre as relações entre as variáveis espectrais e as agrônômicas na geração de índices vegetativo baseados em bandas localizadas no visível e no infravermelho e infravermelho próximo na determinação das variáveis de índice de área foliar (IAF) como indicadores de dosséis com grande interesse nos trabalhos relacionados com sensoriamento remoto multiespectral de culturas agrícolas na mensuração da densidade de cobertura vegetal (DORIGO et al., 2007).

O IAF está fortemente relacionado com a qualidade da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa no acúmulo da matéria seca, sendo este, um indicador do vigor vegetativo. Desta forma, podemos evidenciar através do comportamento do IAF condições influenciadoras como datas de semeadura, cultivares, arranjo espacial das plantas, precipitação pluviométrica, fertilização, além de pragas e doenças, entre outros fatores (JOHNSON e TROUT, 2012).

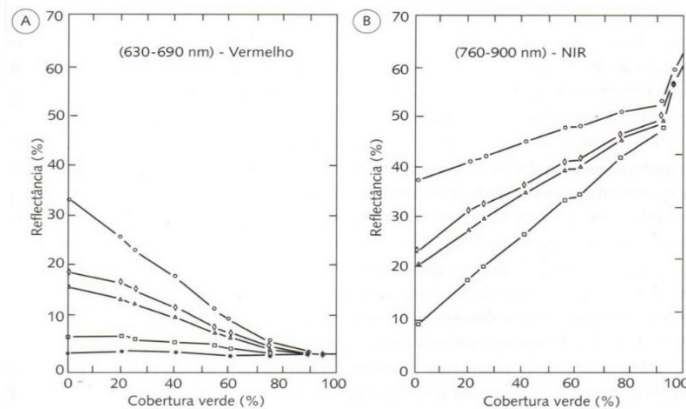
As relações encontradas do espectro infravermelho e infravermelho próximo correlacionam linearmente com as porções verdes fotossinteticamente ativas dos dosséis das plantas (CATUREGLI et al., 2016; XUE et al., 2017). Fan (1980) verificou que o índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized difference vegetation index* – NDVI) apresenta uma tendência curvilínea quando relacionada com o aumento do IAF ao longo do seu ciclo fenológico, o que, geralmente restringe este índice a situações de grande biomassa verde com comportamento assintótica da relação IAF x NDVI (saturação).

Segundo Zanzarini (2013) as relações do NDVI com COV são similares assinalando que as plantações se tornam espectralmente visíveis quando o COV atinge entre 30 % e 35% para a cultura da soja e para cultura do milho entre 20% a 25% até a sua máxima cobertura é atingida quando falamos de variáveis espectrais.

Os níveis de reflectância dos solos também são um fator de influência, conjuntamente com a COV, à medida que o ciclo fenológico aumenta a reflectância composta pelo solo mais a da vegetação converge no vermelho para um valor constante quando a COV chega a 90% passa ser independente da influência do solo (MAAS, 2000).

No caso do infravermelho próximo com desenvolvimento, conseqüentemente ocorre o aumento da vegetação, porém linearmente os valores sobem em níveis baixos até o pico de 90% do COV e deste momento ocorre um súbito aumento da reflectância no NIR para valores superiores a 90% do COV, atribuído a um rápido acúmulo de biomassa verde como observado na figura 1 do estudo de KIMES et al., (1981)

Figura 1 - Relações entre a porcentagem de cobertura verde (algodão) e a reflectância (A) no vermelho e (B) no infravermelho próximo (NIR) para cinco solos diferentes: Superstition sand (seco) (O), Avondale loam (seco) (◇), Whitehouse-BSCL (seco) (Δ), Cloverspprings loam (seco) (□) e Claversprings loam (úmido) (●)



Fonte: KIMES et al., (1981)

O mesmo autor afirma que as relações entre NDVI as fitomassas com o tempo mostra a íntima relação das variáveis de reflectância no vermelho e no infravermelho próximo com o crescimento e desenvolvimento das plantas.

2.4 O cultivo de milho de segunda safra no oeste do Paraná

O Milho (*Zea mays* L.) é um dos principais cereais mais cultivados e estudados do mundo, é de grande importância econômica e estratégica, devido a sua diversidade de uso, como o insumo principal na produção de proteína animal, na alimentação humana e na produção de biocombustíveis (SOARES et al., 2017; SILVA, 2017).

O milho é uma cultura que possui grande importância socioeconômica (LIMA, 2018). Vários fatores afetam sua produtividade, dentre eles se destacam as doenças causadas pelos fitonematoides, onde mais de 60 espécies já foram relatadas na cultura em todo o mundo (NICOL, et al., 2011). Estima-se que as perdas na produtividade da agricultura, ocasionadas pelos nematoides, cheguem a 12,3% em todo o mundo (SINGH, et al., 2013).

No Brasil, tradicionalmente, o milho era uma cultura típica do período de primavera-verão (Milho Verão), com a semeadura das lavouras sendo realizadas entre os meses de agosto a novembro (EMBRAPA, 2012a).

Porém, devido às seguidas frustrações de safras dos agricultores do Paraná com a cultura do café, devido às geadas severas na década de 1970, principalmente a ocorrida em 1975, que dizimou as plantações de café do Estado (PARMENTER, 1976; HAMILTON e TARIFA, 1978; EMBRAPA, 2012b), e atingindo também culturas de inverno como o trigo, o cultivo do milho numa época inapropriada, iniciado em meados da década de 1970, novos adeptos aderiram a ideia, apesar de se tratar de uma atividade de alto risco, em função das condições climáticas que sobressaem no período de outono-inverno (GRODZKI et al., 1996).

Há que considerar, que por ser implantada no final da época normal de semeadura do milho, espécie típica de verão (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000), no período de outono-inverno as plantas tem seus aspectos fitotécnicos afetados pelas restrições climáticas principalmente nos estádios reprodutivos, pela disponibilidade hídrica, de radiação solar e de temperatura (DURÃES et al., 1995; SHIOGA et al., 2012).

Relato de produtores tradicionais no cultivo de milho safrinha que a cultura num primeiro momento foi utilizada com o princípio de cobertura verde do solo, esta condição de vulnerabilidade, decorrente das condições climáticas do período de outono-inverno, levava os agricultores a realizarem mínimos investimentos nas lavouras, empregando baixo nível tecnológico, sendo que na maioria das vezes, eles

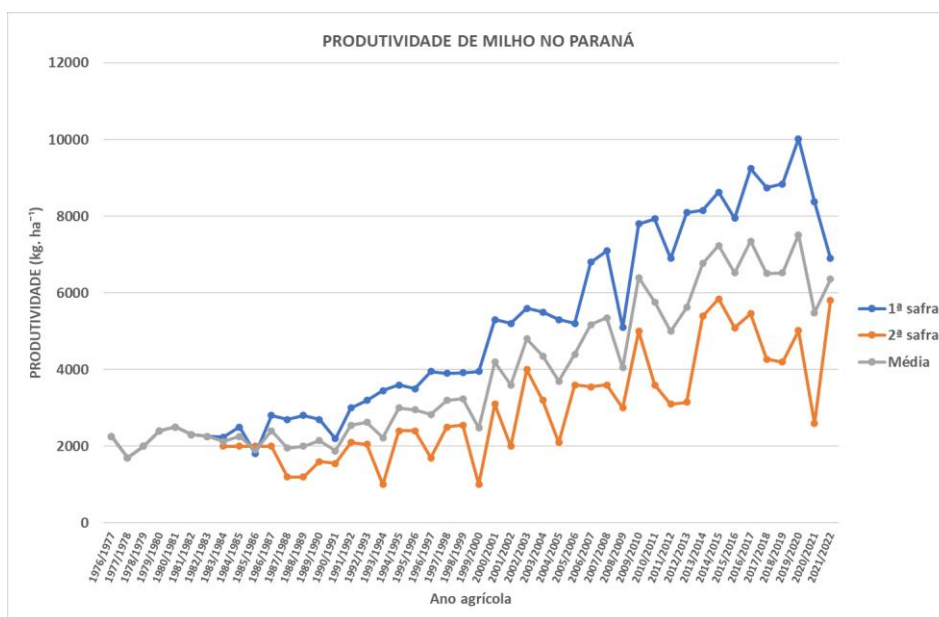
utilizavam sementes de “paiol”, produzida na propriedade na safra anterior com custo muito baixo (MAGALHÕES e DURÃES, 2006).

A safrinha começou por iniciativa dos agricultores, especialmente no Estado do Paraná, na década de 1980, visando a uma opção de sucessão à cultura da soja semeada no verão. Com o decorrer dos anos, a importância dessa prática foi crescente e se estendeu para outros estados, aumentando a adesão, apesar de se tratar de uma atividade de alto risco, em função das condições climáticas que prevalecem no período de outono-inverno (GONÇALVES et al., 2002).

O milho “Safrinha” refere-se ao cultivo extemporâneo do milho, com a semeadura sendo realizada entre os meses de janeiro a abril, após a cultura de verão, geralmente a cultura da soja. O termo “Milho Safrinha” teve origem nas baixas produtividades dos primeiros cultivos deste cereal, iniciados no final da década de 1970 (GERAGE e BIANCO, 1990).

As produtividades eram consideravelmente menores do que aquelas obtidas no período da primavera-verão e com o passar do tempo, mais e mais produtores foram aderindo a esta modalidade de semeadura do cereal e que passa ser registradas a partir do ano agrícola de 1983/1984, conforme levantamento realizado por FRANCO et al., (2013) apresentados na figura 2.

Figura 2 - Série histórica da produtividade paranaense de milho, na safra de verão e na safrinha



Fonte: CONAB (2022), adaptado pelo autor

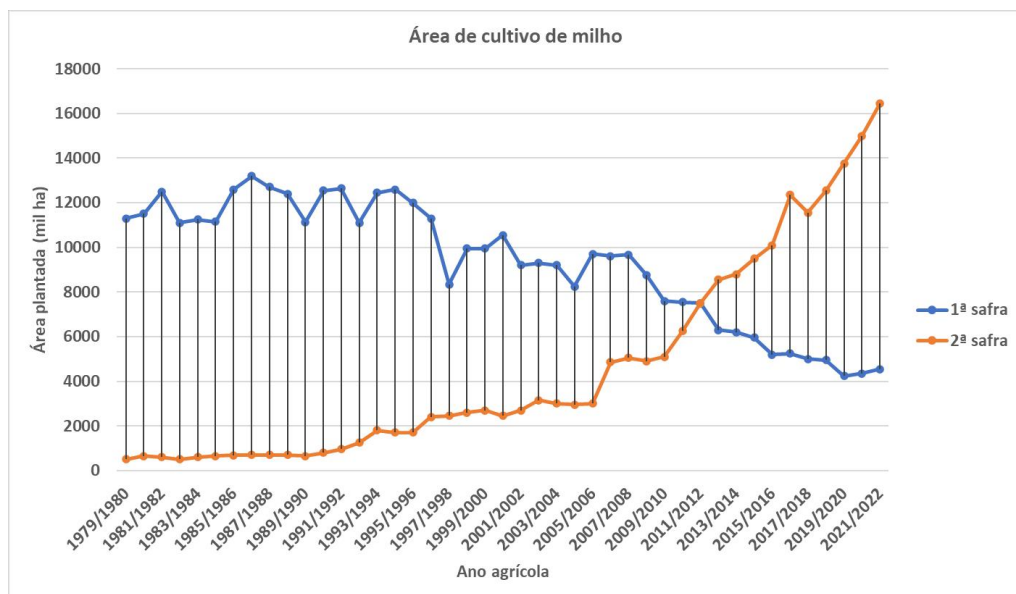
Entretanto, no início da década de 1990, observou-se um grande avanço no nível tecnológico empregado, incluindo a utilização de híbridos simples, de ciclos precoces e adaptados às condições climáticas do período de outono-inverno (FORNASIERI FILHO, 2007). Além do aprimoramento nas técnicas de produção, estímulo na busca de estratégias para contornar as situações desfavoráveis.

No entanto, o maior desafio foi desenvolver tecnologias para o incremento da produtividade e eficiência no uso dos recursos e insumos (GONÇALVES et al. 1999). O milho é um dos principais produtos da cadeia produtiva do agricultor paranaense, que passa por uma transformação do sistema de produção de milho e soja, relatado nos estudos de FRANCO et al., (2013).

Fato que, agora a cultura da soja passou a ocupar áreas utilizadas para a produção de milho de primeira safra, assim naturalmente houve o aumento na área de milho de segunda safra (Figura 3).

Com isso, passa a predominar no Paraná o sistema de sucessão de cultura: soja na primeira época e milho de segunda safra que teve um fator positivo na região Oeste do Paraná, sendo impulsionadas pelas cadeias produtivas de aves e de suínos, uma vez que o milho é um insumo essencial para a alimentação animal (TELLES, 2016).

Figura 3 - Série histórica da área cultivada e médias nacionais de produtividade Brasileiras de milho na Safra de Verão e na Safrinha



Fonte: CONAB (2022), adaptado pelo autor (2022)

Conforme levantamento da SEAB (Secretaria da Agricultura e Abastecimento), na safra 2021/22, a produção total de milho foi de 18,88 milhões de toneladas no Paraná, deste total a região Oeste do Paraná participou com 4,86 milhões de toneladas. Onde, mais de 83% da produção retirada dos campos é com milho safrinha, assim, assumindo como um dos cereais mais importante para os agricultores da região, onde Cruz e Regazzi (1994) já afirmavam a importância do cereal.

2.5 Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão

O Interesse em veículos aéreos não tripulados (VANTs), também denominados de drone, cresce a cada dia, e em especial no Brasil (INAMASU et al., 2011). Imagens tradicionais fornecidas, por exemplo, por sensores RGB e / ou NIR - provaram a sua eficiência em aplicações na área da agricultura de modo geral. Constantes aprimoramentos em sensores oferecem uma grande gama de detalhamento e precisão espectral na definição de variáveis capturadas do dossel das culturas (FERNÁNDEZ-GUISURAGA et al., 2018).

Os sensores hiperespectrais são espectroscopia consideradas de última geração e de alta resolução (PAP; KIRALY; MOLJAK, 2019). Num primeiro momento foram utilizados nos satélites orbitais e mais tarde em aeronaves tripuladas, não tripuladas de grande porte (NÄSI et al., 2018).

Este tipo de tecnologia era restrito o seu uso além de extremamente caras limitando o público de interesse (ZENG et al., 2020). Na atualidade, aeronaves não tripuladas (VANTs) de pequeno porte e leves, cresceu vertiginosamente, tanto no conceito de uso comercial ou simplesmente para lazer (KIRA; SUN, 2020).

A miniaturização dos sensores aumenta a possibilidade de serem embarcados nas plataformas, neste sentido, sensoriamento remoto na agricultura ampliando as suas aplicações (LI et al., 2020). Neste contexto, o uso de VANTs permite monitorar periodicamente as plantas durante seu crescimento à colheita, avaliando condições externas que podem afetar o seu bem estar (BOEHMLER et al., 2018).

O universo de pesquisa passa ser muito maior com o uso de imagens multiespectral e hiperespectral a partir destes veículos (VANT), sendo comuns nas tarefas de sensoriamento remoto (DOS SANTOS et al., 2020). Porém, novos usos

com base nestes dispositivos sensorial que, primeiramente para aplicações industriais e não para VANTs, onde não era considerado o peso, orçamento, energia e conectividade e processamentos mais avançados devido à enorme quantidade de dados capturados que agora passa ser primordial (ZEWDIE, et al., 2017).

A expressão de investigação e monitoramento de campo concentra-se desde avaliação da previsão de rendimentos das culturas ao estado vegetativo que pode ser influenciada por aspectos bióticos e abióticos permitindo a coleta de informações periódicas das lavouras por meio de diferentes tipos de sensores (RANDELOVIC et al., 2020).

O uso de VANTs tem também interesses crescente na coleta de dados de inspeção, vigilância e monitoramento nas áreas de defesa, segurança, proteção ambiental e domínios civis entre outros (ZHANG et al., 2020). O diferencial dessas plataformas aéreas em relação a outros, como satélites ou plataformas aéreas tripuladas, primeiro, representam baixo custo com uma abordagem mais flexível de tempo e uma melhor resolução espacial, temporal e espectral, que permite uma análise de dados mais profunda e com alto grau de precisão (CHAKRABORTY; KHOT; PETERS, 2020).

Há algum tempo os sensores multiespectrais estão sendo utilizados em VANTs na coleta de informações espectrais e na geração de mapas na indicação do estado da cultura, como o índice de vegetação (vigor vegetativo) de diferença normalizada (NDVI) um dos mais conhecido (DAVIS et al., 2020).

Os sensores Multiespectral coletam apenas algumas bandas enquanto os hiperespectral são capazes de detectar centenas de canais espectrais (BAI et al., 2017). O comprimento destes espectros eletromagnéticos alcança centenas de canais entre 400nm a 1000nm garantindo um campo maior de investigação com informações extremamente úteis nas aplicações agrícolas como por exemplo detecção de anomalias (HUANG; SERRA; GARCIA, 2020).

A importância dos sensores espectrais que amplia a capacidade de analisar tendo em vista que a verificação da maioria dos atributos bioquímicos e biofísicos das culturas são obtidos nas faixas do Visível e do Infravermelho Próximo (visible/near infrared - VNIR) como avaliado em trabalhos de pesquisadores (FAWCETT et al., 2020).

2.6 Informações coletadas com sensores em plataformas de VANT

A pesquisa de melhoramento de produção no século XXI é uma combinação de análise de dados computacionais e sensores especializados embarcados em VANTs caracterizando mudança de tecnologia. A inovação em análise de dados computacionais tem sido exponencial, juntamente com avanços como algoritmos para analisar grandes conjuntos de dados e nuvem Informática. Tecnologias emergentes, como automação, sensoriamento, imagem, robótica e redes de alta velocidade (JANG et al., 2020).

Fato importante no sensoriamento remoto que de acordo com a variabilidade de nutrientes do solo e as necessidades específicas de nutrientes da cultura visa aplicações precisas e o uso da espectroscopia no Infravermelho Próximo – NIR tem sido amplamente reconhecida como um dos métodos rápidos para prever várias propriedades do solo sendo comparável à análise de solo convencional para recomendações de fertilizantes (KALLEL, 2020).

Exemplos do uso dos sensores hiperespectral NIR (1300 – 2600nm) e o espectrômetro vis-NIR (350 – 2500 nm) na previsão do carbono orgânico total do solo (ROMERO; CORDON; LAGORIO, 2020). Por outro lado, as plantas reagem aos estresses biótico e abiótico por meio de mudanças biofísicas e bioquímicas, como reduções de biomassa, do teor de clorofila e alterações nas estruturas internas das folhas, facilmente detectadas por meio das diferenças de energia refletida nas regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo (MARIN et al., 2018).

Os índices de vegetação são calculados como razões ou diferenças da reflectância de dois ou mais comprimentos de ondas, nas regiões espectrais do visível, dos infravermelhos próximo e médio (JOINER e YOSHIDA, 2020).

Os índices vegetativos apresentam alta correlação com mudanças na fisiologia e na química das plantas e baixa sensibilidade a fatores responsáveis por dificultar a interpretação de dados obtidos por sensoriamento remoto, por exemplo, sombreamento, cobertura do dossel ou copa da planta, condição e geometria da atmosfera, ângulo solar e fundo do solo (MARIN et al., 2019).

Exemplo disso foi com estudo da cultura do Café (*Coffea arabica*) com o auxílio do índice de vegetação EVI-2, derivado do sensor MODIS, encontraram correlação de ($R^2= 0,81$) entre a umidade no perfil do solo, até 100 cm de profundidade, e o vigor do cafeeiro (HORSTRAND et al., 2019).

Estudos recentes demonstraram correspondência entre o NDVI e os parâmetros do solo, pH e teores de matéria orgânica, areia e argila (YANG et al., 2018).

Segundo YUE et al., (2017), quanto maior o vigor vegetativo das plantas e, conseqüentemente, maior a quantidade de folhas, menor a refletância nas bandas do visível (azul, verde e vermelho) e maior na banda do infravermelho próximo. Além disso, a quantidade de folhas aumenta o teor de água na planta, provocando menor refletância na região do infravermelho médio (KANNING et al., 2018).

Estudos de estruturas computacionais para determinar uma escala apropriada para o desenvolvimento de solo digital como mapas, determinar potencial produtivo das culturas, pontos amostrais de solo em sistemas heterogêneos, dentre outros (ICHAMI et al., 2020).

Algoritmos poderosos e desenvolvimento da tecnologia de detecção robótica com potencial de ser aplicado na automatização de veículos não tripulados de pequeno porte para prever as propriedades do solo usando técnicas de mapeamento digital do solo (MDS) (HUANG et al., 2020). A espectroscopia de raios gama fornece dados das propriedades da superfície do solo como a textura do solo (LOISEAU et al., 2020).

Os grandes avanços tecnológicos são notáveis nos últimos anos, tornado possível o emprego de técnicas computacionais aliados aos VANTs na captura de imagens aéreas, permitindo maior precisão para fins na obtenção de dados do dossel das culturas (TAO et al., 2020). Com este propósito, acrescido da heterogeneidade dos solos na variabilidade em seus atributos químicos e físicos são importantes nas definições de correlações aprimorando a investigação de anomalias de cultivos (HOSS et al., 2020).

Com ajuda de software para criar mapas temáticos na agricultura de precisão, são ferramentas que garantem nesta etapa retorno rápido a interpolação dos dados coletados com menor ruído e estimativas de lugares não visitados passam a ser projetados, desta forma, otimizando a gestão (DA SILVA et al., 2020).

As primeiras avaliações realizadas em laboratórios partiam do princípio da caracterização dos efeitos, avaliando a constituição química de partes dos vegetais, folhas como por exemplo, concentração de proteína, celulose, lignina, amido, clorofila dentre outros (TAVARES et al., 2020).

Popularização do Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) atrelado ao desenvolvimento de novos sensores possibilitou a aquisição de imagens de maior precisão no campo multiespectral e ultimamente hiperespectral com ganho na investigação (ZHOU et al., 2020).

As inovações precedem no desenvolvimento de algoritmos com o conceito investigativo mais apurados gerando resultados de detecção de características de interesse agrônomo que amplia as relações entre bandas espectrais com dificuldades na abordagem da caracterização de anomalias nos cultivos (MARTINS et al., 2021).

Além do mais, atualmente, um grande número de estudos em andamento com base em VANTs embarcados com sensores de última geração para detecção remota de respostas da planta com alta resolução dos dados capturando de 1 a 2 cm dependendo da altura de voo, passa ser uma realidade na agricultura (CHANG et al., 2020).

Comparando os sensores Multiespectral e os dados hiperespectral apresenta maior desempenho na modelagem do conteúdo de clorofila da vegetação, além disso, exploração de índices de banda estreita para modelar temperatura do dossel do terço superior, carotenoides, fluorescência e plantas doentes, bem como o período de crescimento da cultura, estado do solo, fotossíntese líquida e estresse hídrico entre outros parâmetros da vegetação (KAWAMURA et al., 2020b).

Na esfera tecnológica da aplicabilidade cada vez maior de plataformas de VANTs no sistema agrícola, hospedando sensores hiperespectrais como itens de última geração, com tudo, o incremento na taxa de dados coletados está se tornando crítica e a necessidade de uma compressão dos dados com perdas técnicas de informações mínimas passa ser um desafio (GUERRA et al., 2018).

A capacidade dos sensores hiperespectrais de medir centenas de bandas aumenta a complexidade ao considerar a quantidade de dados adquiridos, cuja utilidade depende de etapas adicionais a respeito do processamento de dados hiperespectrais deve ser realizado para a recuperação de informações relevantes, que fornece os verdadeiros benefícios para intervenções assertivas em culturas agrícolas e áreas afins (RAEVA; SEDINA; DLESK, 2019).

2.7 Aplicabilidade dos índices vegetativos na agricultura de precisão

O Interesse em veículos aéreos não tripulados (VANTs), também denominados de drone, termo genérico utilizado para se referir a uma aeronave sem piloto embarcado isso tem sido cada vez mais acessível, e em especial no Brasil (COLOMINA e MOLINA, 2014).

Nos últimos anos, veículos aéreos não-tripulados e aeronaves remotamente pilotadas são cada vez mais adotados em sensoriamento remoto e vários esforços estão em andamento visando integrar as operações com veículos aéreos não-tripulados (VANTs) têm a característica de realizar o sensoriamento remoto em baixa altitude (INAMASU et al., 2011).

Nos VANTS pode-se acoplar diferentes tipos de câmeras para gerar índices de vegetação e mapas térmicos do ambiente de produção (LÓPEZ-GRANADOS, 2014). Esse tipo de plataforma não demanda muito investimento e pode ser utilizado para aquisição de imagens multiespectrais, hiperespectrais e termais (ZHANG e KOVACS, 2012).

Imagens tradicionais fornecidas, por exemplo, por sensores *RGB* e / ou *NIR* provaram a sua eficiência em aplicações na área da agricultura (MENESES e NETTO, 2001). Constantes aprimoramentos em sensores oferecem uma gama maior de detalhamento e precisão espectral na definição de variáveis capturadas do dossel das culturas (FERNÁNDEZ-GUISURAGA et al., 2018).

Os sensores hiperespectrais são espectroscopia considerados de última geração e de alta resolução (PAP; KIRALY; MOLJAK, 2019). Num primeiro momento foram utilizados nos satélites orbital e mais tarde nas aeronaves tripuladas e não tripuladas de grande porte (NÁSI et al., 2018). Este tipo de tecnologia era restrito o seu uso além de extremamente caras limitando o público de interesse (ZENG et al., 2020).

Recentemente, aeronaves não tripuladas (VANTs) de pequeno porte e leves cresceu vertiginosamente, tanto no conceito de uso comercial ou simplesmente para lazer (KIRA; SUN, 2020). A miniaturização dos sensores amplia a possibilidade de serem aerotransportadas nas plataformas de peque porte, ampliando o interesse da utilização suas aplicações no sensoriamento remoto (LI et al., 2020).

Neste contexto, o uso de VANTs permite monitorar periodicamente as plantas durante seu crescimento à colheita, avaliando condições externas que podem implicar o seu bem estar (BOEHMLER et al., 2018). Conceitualmente a pesquisa dos sensores multiespectrais está bem difundida, bem como a sua aplicabilidade e recentemente

sensores hiperespectral também estão sendo embarcado em veículos (VANT) passando a ser mais comuns nas tarefas de sensoriamento remoto (LI et al., 2021).

Porém, novos desafios surgem com base nestes formatos de dispositivos sensorial que foram desenvolvidos primeiramente para aplicações industriais e não para VANTs, onde não era considerado o peso, orçamento, energia e conectividade e processamentos mais avançados devido à enorme quantidade de dados capturados que agora passa ser primordial ferramentas para tratamento destas informações (KAWAMURA et al., 2020a).

A expressão de investigação e monitoramento de campo concentra-se desde avaliação da previsão de rendimentos das culturas ao estado vegetativo que pode ser influenciada por aspectos bióticos e abióticos permitindo a coleta de informações periódicas das lavouras com sensores (MARTYNENKO et al., 2016).

O uso de VANTs tem também interesses crescente na coleta de dados de inspeção, vigilância e monitoramento nas áreas de defesa, segurança, proteção ambiental e domínios civis entre outros (XUE e SU, 2017).

O diferencial dessas plataformas aéreas em relação a outros, como satélites ou plataformas aéreas tripuladas, primeiro representam baixo custo com uma abordagem mais flexível de tempo e uma melhor resolução espacial, temporal e espectral, que permite uma análise de dados mais profunda e com alto grau de precisão (CHAKRABORTY; KHOT; PETERS, 2020).

Há algum tempo os sensores multiespectrais estão sendo utilizados em VANTs na coleta de informações espectrais e na geração de mapas na indicação do estado da cultura, como o índice de vegetação (vigor vegetativo) de diferença normalizada (NDVI) um dos mais conhecido que está associado a concentração de clorofila na folha (DAVIS et al., 2020).

Os sensores Multiespectral coletam apenas algumas bandas enquanto os hiperespectral são capazes de detectar centenas de canais espectrais (ZENG et al., 2017). O comprimento destes espectros eletromagnéticos alcança centenas de canais entre 400nm a 1000nm garantindo um campo maior de investigação com informações extremamente úteis nas aplicações agrícolas como por exemplo detecção de anomalias nas culturas (HUANG; SERRA; GARCIA, 2020).

A importância dos sensores espectrais que amplia a capacidade de analisar tendo em vista que a verificação da maioria dos atributos bioquímicos e biofísicos das

culturas são obtidos nas faixas do Visível e do Infravermelho Próximo (*visible/near infrared - VNIR*) (FAWCETT et al., 2020).

A funcionalidade das plataformas utilizando VANT com sensores espectrais na investigação, parte do pressuposto da avaliação dos danos causados por pragas e doenças nos cultivos, qualidade do plantio como mapeamento de falhas na semeadura, injúrias por granizo e ventáteis e enxurradas, determinação de estresse nutricionais, estimativa de biomassa e produtividade agrícola, detecção de infestação de plantas daninhas e também são capazes de identificar diversas anomalias (JORGE et al., 2014).

Por outro lado, as plantas reagem aos estresses biótico e abiótico por meio de mudanças biofísicas e bioquímicas, como reduções de biomassa, do teor de clorofila e alterações nas estruturas internas das folhas, que podem ser facilmente detectadas por meio das diferenças de energia refletida nas regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo (ORTEGA-FARÍAS et al., 2016).

Os índices de vegetação são calculados como razões ou diferenças da reflectância de dois ou mais comprimentos de ondas, nas regiões espectrais do visível, dos infravermelhos próximo e médio (CAMPS-VALLS et al., 2021).

Os índices vegetativos apresentam alta correlação com mudanças na fisiologia e na química das plantas e baixa sensibilidade a fatores responsáveis por dificultar a interpretação de dados obtidos por sensoriamento remoto, por exemplo, sombreamento, cobertura do dossel ou copa da planta, condição e geometria da atmosfera, ângulo solar e fundo do solo (WONG et al., 2020).

Exemplo disso foi com estudo da cultura do Café (*Coffea arabica*) com o auxílio do índice de vegetação EVI-2, derivado do sensor MODIS, encontraram correlação de ($R^2= 0,81$) entre a umidade no perfil do solo, até 100 cm de profundidade, e o vigor do cafeeiro (BERGERI et al., 2019). Por outro lado, houve correspondência direta na distribuição espacial dos índices de vegetação de macro e micronutrientes, nas folhas, com os teores de Mg, Cu, B e Mn, e correspondência indireta com K e Fe.

Segundo YUE et al., (2017), quanto maior o vigor vegetativo das plantas e, conseqüentemente, maior a quantidade de folhas, menor a refletância nas bandas do visível (azul, verde e vermelho) e maior na banda do infravermelho próximo. Além disso, a quantidade de folhas aumenta o teor de água na planta, provocando menor refletância na região do infravermelho médio (KANNING et al., 2018).

Estudos de estruturas computacionais para determinar uma escala apropriada para o desenvolvimento de solo digital como mapas, avaliar o potencial produtivo das culturas, pontos amostrais de solo em sistemas heterogêneos, dentre outros, tem auxiliado na busca das interações da reflectância com o dossel dos cultivos agrícolas (ICHAMI et al., 2020).

Neste sentido, algoritmos avançados desenvolvidos, parte de tecnologias de detecção robótica tem auxiliado na automação de veículos não tripulados de pequeno porte, com isso, favorecendo técnicas de mapeamento digital de solo (DMS) na detecção mais precisas das propriedades do mesmo (HUANG et al., 2020). Como uso espectroscopia de raios gama LOISEAU et al. (2020) determinou dados das propriedades da superfície do solo como a textura do solo.

Os grandes avanços tecnológicos são notáveis nos últimos anos, tornado possível o emprego de técnica computacionais aliados aos VANTs na captura de imagens áreas, permitindo maior precisão para fins na obtenção de dados do dossel das culturas (TAO et al., 2020). Com este propósito, acrescido da heterogeneidade dos solos na variabilidade em seus atributos químicos e físicos são importantes nas definições de correlações aprimorando a investigação de anomalias de cultivos (HOSS et al., 2020).

Com ajuda de software, a criação de mapas temáticos na agricultura de precisão garante nesta etapa retorno rápido a interpolação dos dados coletados com menor ruído e estimativas de lugares não visitados, podem ser projetados, otimizando a gestão (DA SILVA et al., 2020).

As primeiras avaliações realizadas em laboratórios partiam do princípio da caracterização dos efeitos dos constituintes químicos de partes dos vegetais, folhas como por exemplo, concentração de proteína, celulose, lignina, amido, clorofila dentre outros (TAVARES et al., 2020). Foi um passo importante na construção dos dados de correlação e com popularização do Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) atrelado ao desenvolvimento de novos sensores possibilitou a aquisição de imagens de maior precisão no campo multiespectral e ultimamente hiperespectral com ganho na investigação (ZHOU et al., 2020).

As inovações precedem no desenvolvimento de algoritmos com o conceito investigativo mais apurados gerando resultados de detecção de características de interesse agrônomo, ampliando as relações entre bandas espectrais, onde se tinha

dificuldades na abordagem da caracterização dos efeitos envolvidos no processo (MARTINS et al., 2021).

Estudos com VANTs embarcados com sensores de última geração para detecção remota de respostas da planta com alta resolução dos dados capturando, chegando à precisão de 1 a 2 cm por pixels (CHANG et al., 2020). Mais recente, surgiu os sensores hiperespectrais com capacidade de medir centenas de bandas aumenta a complexidade ao considerar a quantidade de dados adquiridos, cuja utilidade depende de etapas adicionais a respeito do processamento de dados (RAEVA; ŠEDINA; DLESK, 2019).

Comparando sensores Multiespectral, os hiperespectral são mais sensíveis na modelagem de parâmetros como o conteúdo de clorofila da vegetação, temperatura do dossel do terço superior, carotenoides, fluorescência e plantas doentes, período de crescimento da cultura, estado do solo, fotossíntese líquida e estresse hídrico entre outros estudos da vegetação (KAWAMURA et al., 2020b).

Na esfera tecnológica da aplicabilidade cada vez maior de plataformas de VANTs no sistema agrícola, hospedando sensores hiperespectrais como itens de última geração, com tudo, o incremento na taxa de dados coletados está se tornando crítica a compressão de dados digitais com mínimas perdas técnicas de informações passa ser um desafio crescentes (GUERRA et al., 2018).

Podemos definir um índice vegetativo (IV) como uma transformação de dois ou mais espectros de luz (conhecido também como bandas espectrais) com o objetivo de melhorar a compreensão acerca das propriedades da vegetação em uma localidade e permitir comparativos temporais e espaciais desta, como por exemplo, a atividade fotossintética e variações estruturais da cobertura vegetal.

Desde a década de 60, cientistas têm usado o sensoriamento remoto (aquisição de informações sobre objetos sem a necessidade de contato físico direto com eles), principalmente através de satélites, para monitorar as alterações da vegetação ao redor do planeta Terra.

As aplicações mais modernas de sensoriamento remoto para a obtenção de IVs envolvem o uso de instrumentos óticos multiespectrais e hiperespectrais acopladas a drones e ou VANTs, ao contrário do que pode ocorrer com a captação de imagens via satélite, este método elimina a possibilidade da interferência das nuvens no momento da captura. Os índices de vegetação são modelos matemáticos que vêm

sendo desenvolvidos com base na reflectância das coberturas vegetais (YANG et al., 2021).

Os estudos de inúmeros parâmetros de índices vegetativos foram desenvolvidos para as mais diferentes finalidades (BOLFE, et al., 2009). Muito difundida avaliação das características de absorção associadas com constituintes bioquímicos para avaliar o status das culturas em estudo. Neste contexto, os mais diferentes índices são utilizados na agricultura e são otimizados para avaliar um processo de interesse (SHIRATSUCHI et al., 2016).

Por exemplo, alguns índices espectrais foram propostos para capturar os processos fotoquímicos associados com a atividade da fotossíntese tal como o uso da eficiência da luz (ϵ) ou estimar o conteúdo de pigmentação da folha (clorofila) (DAUGHTRY et al., 2000; BRITO et al., 2011), enquanto que outros foram projetados para obter o índice de área foliar (IAF).

Os índices vegetativos gerados se baseiam no conceito do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson e é utilizada para análise de correlação linear entre duas variáveis. Este foi o primeiro método de correlação, estudado por Francis Galton e seu aluno Karl Pearson, em 1975 (MARCANTE et al., 2010). O produto deste coeficiente está isento de unidades e ordem de grandezas das variáveis e varia entre -1 e 1. Sendo que quando o valor for 1 é uma relação positiva perfeita, -1 é uma relação negativa perfeita e 0 é uma relação difusa ou não linear (LIRA, 2004).

Muito difundido o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) proposto inicialmente por Rouse (ROUSE, 1973), mas popularizado por Tucker (TUCKER, 1979) o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é reconhecido como o método padrão para a avaliação quantitativa da cobertura vegetal e crescimento de culturas agrícolas em uma determinada área (SULTANA, 2014).

O NDVI pode ser calculado como uma relação entre a refletividade da área de interesse de medida no espectro infravermelho próximo (*NIR* – *Near InfraRed*) e no espectro do vermelho (*R* - *Red*) (RABATEL et al., 2011).

A vegetação é caracterizada por uma intensa absorção devido à clorofila na região do *Red* (0,63 – 0,69 μ m) e por uma intensa energia refletida na região do *NIR* (0,76 – 0,90 μ m) causada pela estrutura celular das folhas (RABATEL e LABBÉ, 2016). A diferença dos valores dos dados coletados no *Red* e no *NIR* são proporcionais à

reflectância da cena vista, sendo a medida do grau de vegetação verde na imagem (ESPÍNDULA et al., 2012)

O índice de vegetação NDVI é um dos mais empregado na literatura pode ser utilizado no monitoramento das lavouras para detecção de déficit hídrico, danos de pragas, estimativa de produtividade e outras aplicações (CASSOL, 2013). Sendo um dos índices mais sensível as variações nas atividades fotossintéticas da vegetação, isto é, às variações de refletância na faixa espectral do vermelho, e suas desvantagens são a saturação para dosséis densos de vegetação e a interferência dos efeitos do solo e da atmosfera (NORA; MARTINI; ZANATTA, 2010).

Cálculos de NDVI para um determinado pixel sempre resultam em um número que varia de menos um (-1) a mais um (+1); no entanto, nenhuma folha verde fornece um valor próximo a zero. Um zero significa que não há vegetação e perto de +1 (0,8 - 0,9) indica a maior densidade possível de folhas verdes (FERNÁNDEZ-GUISURAGA et al., 2018).

O pigmento das folhas das plantas, a clorofila, absorve fortemente a luz visível (de 0,4 a 0,7 μ m) para uso na fotossíntese. A estrutura celular das folhas, por outro lado, reflete fortemente a luz infravermelha próxima (de 0,7 a 1,1 μ m) (KAWAMURA et al., 2020a). Quanto mais folhas uma planta tem, mais esses comprimentos de onda de luz são afetados, respectivamente (Earth Observatory – NASA, 2021).

Importante ressaltar que para valores mais próximo da realidade deve ser realizado uma calibração em relação as condições atmosféricas, diminuindo a interferência e ruídos provocados pela dispersão da energia eletromagnética pelas partículas de água suspensas na atmosfera. Nas superfícies que contêm água ou nuvens, esta variação é sempre menor do que zero (0) (BANDEIRA e DA CRUZ, 2021).

Por exemplo Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (*Soil-Adjusted Vegetation Index* – SAVI) é um índice definido na equação, que leva em consideração os efeitos do solo exposto nas imagens capturadas, ajustando o índice NDVI quando a superfície não está completamente coberta pela vegetação (GAMEIRO, 2014).

O índice SAVI de vegetação foi desenhado para minimizar as influências da luminosidade do solo. Adicionou um fator L de adaptação do solo à equação do NDVI para corrigir os efeitos do ruído do solo (a cor do solo, a umidade do solo, a variabilidade do solo na região de estudo) que tendem afetar o resultado final (YAMEEN; FARHAN ARSHAD; SAQLAIN, 2019).

Segundo Huete (1988) o fator L pode assumir valores de 0,25 a 1, a variável L seu valor varia entre -1 e 1, dependendo da quantidade de vegetação verde presente na área. Para fazer uma análise de sensoriamento remoto das áreas com alta vegetação verde, L é fixado em zero enquanto as regiões com baixa vegetação verde precisam de L=1.

Geralmente o índice SAVI é utilizado para análises de cultivos jovens, para regiões áridas com vegetação escassa (menos de 15% da área total) e superfícies de solos expostas. No estudo Huete (1988), valor para L de 0,25 é recomendado para vegetação densa e de 0,5 para vegetação com densidade intermediária e quando a vegetação é pouca densa o valor de L indicado é igual a 1. Se o valor do SAVI for igual a 0, seus valores tornam-se igual aos valores do NDVI (HUETE, 1997).

Quando queremos minimizar os efeitos do solo abaixo da vegetação Clevers (1988) propôs o Índice de Vegetação de Diferença Ponderada (*Weighted Difference Vegetation Index* (WDVI)) com o propósito de minimizar os efeitos do solo abaixo da vegetação, porém com maior amplitude de variação e menor sensibilidade às variações atmosféricas.

Portanto, o NDVI atinge a saturação dessa maneira mais facilmente. Assim, Gitelson 2004, propôs o *Wide Dynamic Range Vegetation Index* (WDRVI), que pode ser expresso da seguinte forma: O WDRVI aprimora a faixa dinâmica do NDVI aplicando um parâmetro de ponderação à refletância NIR. Se for igual a 1, WDRVI é equivalente a NDVI. Se for igual à razão, WDRVI é zero.

Após os procedimentos de validação, um valor de coeficiente de 0,20 é mais indicado geralmente eficaz para os cálculos WDRVI. De acordo com autor do WDRVI, oferece uma maneira simples de aumentar a faixa dinâmica para ambientes de alta biomassa ($LAI > 2$). No entanto, quando a biomassa é baixa ($LAI < 1$), o NDVI ainda é a melhor escolha para a classificação da planta.

Outro índice de Vegetação Ajustado ao Solo Transformado (Transformed Soil Ajusted Vegetation Index (TSAVI)) também foi desenvolvido por Baret e Guyot (1991) para minimizar o efeito do solo.

Índice de vegetação modificado do solo (MSAVI) desenvolvido por Qi et al. (1994) o *Modified Soil Ajusted Vegetation Index* (MSAVI) com a mesma proposta do índice SAVI, também neste caso o fator de ajuste L depende da quantidade de cobertura verde presente no dossel com a finalidade de correção.

Enquanto o índice *Resistant to Atmosphere in the Visible Region* (VARI) é desenhado e testado para trabalhar com dados RGB na avaliação da vegetação na porção visível do espectro no mesmo tempo que mitiga as diferenças de iluminação e os efeitos atmosféricos (MAPPA, 2021).

É perfeito para RGB ou imagens de cor; ele utiliza as três bandas da cor (vermelho, verde, azul), nos seguintes comprimentos de onda: 485, 560, 660. Ele é utilizado para diferenciar a cobertura do solo, evidenciando áreas plantadas, áreas com falhas no plantio e solo exposto. O índice permite verificar a variabilidade de vigor e estresse da planta pela “abundância” de verde, mensurando o desenvolvimento da cultura (ABRAHÃO, 2009).

Outro IVs utilizado o Índice de Vegetação Melhorado (EVI) por sua vez o índice de vegetação melhorado é calculado de forma similar ao NDVI, com intuito de minimizar a saturação dos índices de vegetação em regiões com vegetação densa reduzindo assim o efeito do solo e da atmosfera apresentando algumas modificações que garantem a correção de luz refletida (TELES et al, 2015).

Sendo assim mais sensível à estrutura do dossel da cobertura vegetal, isto é, às variações de reflectância mais sensíveis às variações na estrutura da vegetação na faixa espectral do infravermelho próximo (NIR) (HUETE et al, 2002). Onde o fator de ganho (G) é de 2,5, C1 e C2 são coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera e os valores são 6 e 7,5 respectivamente, L o fator de ajuste para o solo com o valor de 1 e os demais são as bandas *NIR*, *Red* e *Blue* (JUSTICE et al., 1998).

Os valores em geral adotados para o algoritmo do EVI são: L=1, C1=6; C2=7,5 e G=2,5.

É comum que partículas em suspensão na atmosfera e sinais de fundo do dossel (cobertura do solo) levem à formação de reflexos indesejáveis (ALMEIDA et al., 2008). Esses reflexos prejudicam a captura e conseqüentemente a interpretação dos dados. Os dados produzidos pelo índice de vegetação melhorado não saturam tão facilmente quanto os do NDVI (HENTZ et al., 2014).

Enhanced Vegetation Index (EVI) foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação em regiões de alta biomassa, além de apresentar melhor capacidade de monitoramento através de uma quebra do sinal do substrato do dossel vegetal e de redução das influências atmosféricas (LIU e HUETE, 1995). O EVI é destinado especialmente em regiões que concentram grandes quantidades de biomassa vegetal (elevados teores de clorofila) como as florestas tropicais (GAO et al., 2000).

Para contornar o problema de sensores imageadores ópticos que não possuem a banda na faixa espectral do azul, impossibilitando o cálculo do EVI e para contornar esse problema Jiang et al. (2008) propuseram um novo índice, *Enhanced Vegetation Index* (EVI2) com duas bandas, ou seja, sem a banda na faixa espectral do azul, sendo a relação entre os dois índices é quase idêntica os valores EVI e EVI2 do índice de vegetação.

O problema de saturação pode ser contornado com aplicação de índices a base de NDRE (Normalized Difference Red Edge), utilizado para avaliar o teor de clorofila nas plantas. Ele utiliza a banda na borda do vermelho, onde se dá a maior absorção da clorofila e também onde a luz penetra mais profundamente nas plantas (DUAN et al., 2017).

O uso do NDRE permite uma análise mais precisa da transição entre as plantas mais saudáveis para as menos saudáveis, pois ele não satura o mapa tão facilmente quanto o NDVI. Podemos concluir, então, que plantas de maior porte, com mais densidade no seu dossel, devem ser analisadas com o NDRE. Enquanto plantas de menor porte, menos adensadas, pode-se utilizar o NDVI (JORGE et al., 2019).

Na detecção da variabilidade espacial novos índices são desenvolvidos como o índice de vegetação dinâmico de amplo alcance (*wide range dynamic vegetation index*) o WDRVI tem sido estudado para diferentes estádios fenológico das culturas.

Segundo HARAMOTO, et al. (2014) no estudo com a cultura da soja na detecção da variabilidade espacial em estágio vegetativo não foi eficaz, porém, no reprodutivo a percepção da variabilidade apresentou valor significativo. O WDRVI, sendo atribuído ao NDVI, um coeficiente de ponderação que no estudo de Gitelson (2004) o valor adequado foi 0,2.

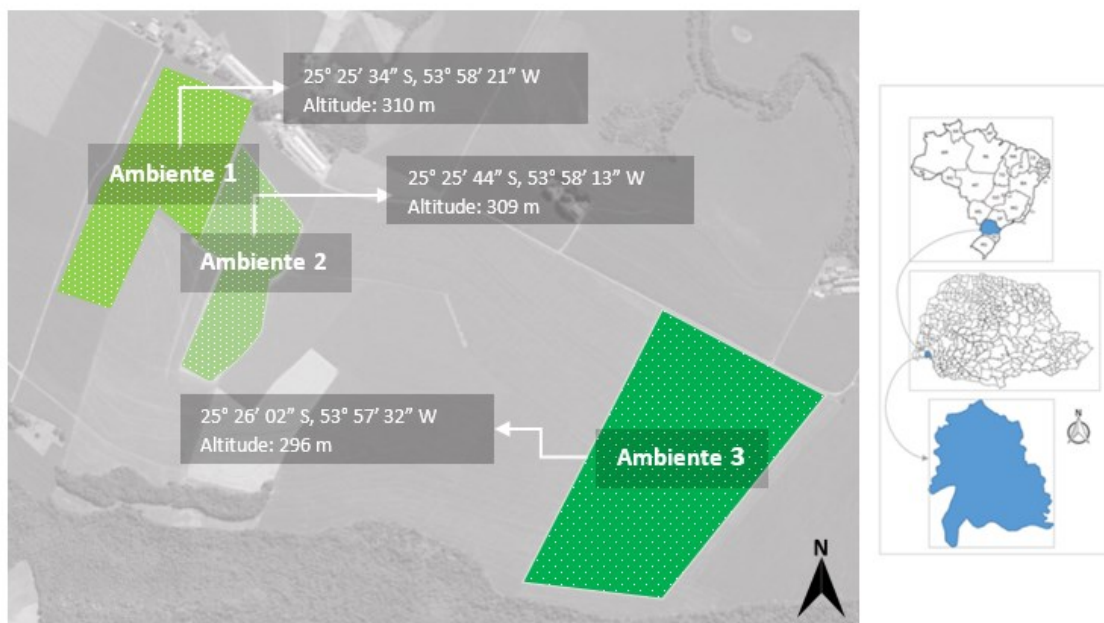
3 METODOLOGIA

Nesta etapa é descrito e estabelecido métodos específicos de investigação, pesquisa e estudo definindo a sistematização para alcançar o resultado, baseando em análises sistemáticas dos fatores e fenômenos com processos e métodos científicos para aquisição dos parâmetros necessários para estudo conclusivo.

3.1 Descrição do ambiente pesquisado

A pesquisa foi realizado em três locais no interior do Município de Serranópolis do Iguaçu, Paraná (Brasil) localizados nos seguintes ambientes de produção pela cultura milho de segunda safra (milho safrinha) em diferentes fases de desenvolvimento vegetativo nas seguintes coordenadas geográficas; no ambiente 1 de 25° 55' 34" de latitude sul e 53° 58' 21" de longitude oeste de *Greenwich*, com altitude média de 310 m; no ambiente 2 de 25° 55' 44" de latitude sul e 53° 58' 13" de longitude oeste de Greenwich, com altitude média de 309 m e no ambiente 3 de 25° 26' 02" de latitude sul e 53° 57' 32" de longitude oeste de Greenwich, com altitude entre 296 a 310m do nível do mar (Figura 4).

Figura 4 - Imagem de satélite (Google Earth) dos ambientes 1, 2 e 3 das lavouras de plantio com os seus ambientes de estudo delimitados e destacados com as suas devidas coordenadas.



Fonte Autoria própria (2022).

Segundo a classificação de Köppen e Geiger, (1928), a região de Serranópolis do Iguçu fica localizada numa condição que possui clima regional Subtropical Úmido Mesotérmico (Cwa) com verões quentes, temperatura média de 20,0°C e 22,0°C, com 1680 a 1755 mm de pluviosidade, para região. Além de, condições com tendência a concentração de chuvas e invernos com geadas não tão frequentes como mencionado e corroborados por Alvarez-Cedillo et al. (2013).

3.1.1 Características do cultivo de milho nos ambientes de pesquisa

O milho de segunda safra e uma modalidade de semeadura bem comum na região e os ambientes foram escolhidos por apresentar histórico de reboleiras como uma característica necessária para implantação do estudo para gerar informações na caracterização de efeitos negativos relacionado com a presença de populações de nematoides.

Para realização do estudo, foi importante ter talhões com baixa variabilidade da fertilidade; uma população adequada de plantas, sem falhas. A adubação foi realizada com 206 kg.ha⁻¹ da fórmula 15.15.15 (NPK) nos três ambientes estudados. Os tratos culturais para controle de plantas daninhas foram feitos 1,46 kg.ha⁻¹ ingrediente ativos (i.a.) de Atrazina associado a 98,88 g.ha⁻¹ de i.a. de Mesotriona.

Quanto o manejo de pragas e doenças foi realizado conforme as técnicas de Manejo integrado de pragas (MIP) utilizados por Valicente, et al., (2015) que no seu estudo observou baixos níveis de dano e dentro da recomendação não é necessário intervenção com controle químico. O Manejo de doenças uso conceito descrito por Villani (2016) como Manejo Integrado de doenças (MID). Nas observações não foi necessário o controle de doenças pela baixa incidência observada.

A semeadura foi realizada no período de 15 e 16 de fevereiro de 2021 simultaneamente nos três ambientes de pesquisa; sendo que no ambiente 1 o híbrido semeado foi o P4285 LEPTRA com 2,7 semente num metro; no ambiente 2 o híbrido P2970 VYHR com população 2,7 sementes por metro linear e no ambiente 3 o híbrido AS1844 VT-PRO3 também com 2,7 sementes linear com espaçamento entre linhas de semeadura de 0,5 m para todos os ambientes.

3.2 Classificação do tipo de solo dos ambientes de pesquisa

O solo das áreas desse estudo é classificado, conforme EMBRAPA Solos (2014) e SiBCS (2020), como Nitossolo eutroférico profundo, textura argilosa e coloração avermelhada, sendo observada pouca diferenciação de cores entre as camadas. São bem drenados, estruturados, moderadamente ácidos e de fertilidade natural com alta variabilidade.

Santos et al. (2018) caracteriza solos tipo Nitossolo constituído por material mineral, com teor de argila 350 dag.kg^{-1} ou superior. São solos altamente temperizados, diante disso é necessários uso de corretivos para elevar o pH e adubações de reposição para elevar a níveis adequados no solo para suprir as necessidades nutricionais das culturas implantadas.

Os solos da região do município de Serranópolis do Iguaçu por muitas safras são historicamente bem fertilizados e tem proporcionado bons níveis de nutrientes residual no decorrer das implantações das safras nos anos.

3.3 Coleta de dados dos ambientes de pesquisa com VANT

Os dados de sensoriamento remoto foram coletados usando um multirrotor Spectral 2 Nuvem UAV equipado com sensores multiespectral modelo ALTUM da MicaSense com as seguintes bandas *blue* 475 nm, *green* 560 nm, *red* 668 nm, *nir* 842 nm, *red-edge* 717 nm e o sensor FLIR VUE PRO *Tir* 11.000 nm do espectro eletromagnético.

Os voos para coletar imagens térmicas e multiespectral começaram 35 dias após a semeadura (DAS), data em que o milho estava no estágio V4 segundo a escala diagramática descrita na tabela 01 (CÉSAR e DURÃES, 2006).

Para garantir maior cobertura do dossel, visando mitigar a influência da temperatura de fundo do solo nas imagens, principalmente para o sensor termal. Os voos foram realizados dentro de 2 horas do meio-dia solar em todas as datas entre 12:00 e 14:00 h.

Os voos foram realizados a 100 m de altura a uma velocidade de 10 m/s e 80% de sobreposição frontal e 60% lateral. A resolução espacial das imagens térmicas foi de 10,5 cm e as multiespectrais 5,19 cm por pixel. Foram realizados quatro voos

para captura das imagens espectrais e termal nas referidas datas 20/03/2021, 31/03/2021, 13/04/2021 e 27/04/2021.

Tabela 1 - Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho

Vegetativo	Reprodutivo
VE, emergência	R1, Embonecamento
V1, 1ª folha desenvolvida	R2, Bolha d'água
V2, 2ª folha desenvolvida	R3, Leitoso
V3, 3ª folha desenvolvida	R4, Pastoso
V4, 4ª folha desenvolvida	R5, Formação de dente
V(n), nª folha desenvolvida	R6, Maturidade Fisiológica
VT, pendoamento	

Fonte: CÉSAR e DURÃES, 2006.

3.4 Coleta de dados biofísicos dos ambientes de pesquisa

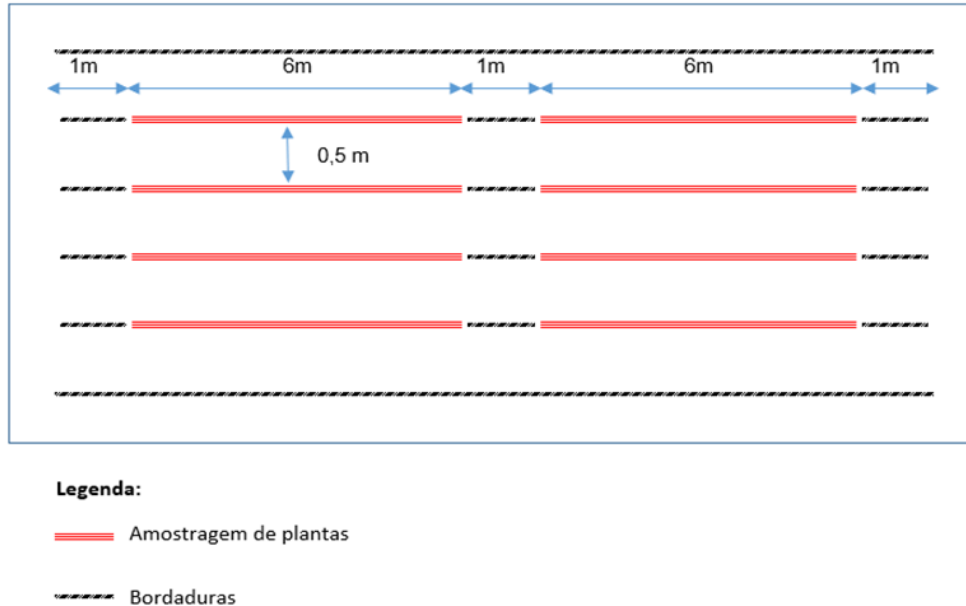
Cada parcela foi determinada, dimensionada e identificada com estacas para atender os requisitos da pesquisa e comprovação das hipóteses ora levantadas. Desta forma, buscou dimensionar parcelas para se obter todos os extratos necessários em ganho de precisão exposto na figura 5.

A parcela compôs-se por seis linhas de quinze metros subdivididas em duas parcelas de seis metros; considerando-se área útil as quatro linhas centrais, desprezando-se um metro de cada extremidade e em bordadura (uma linha de cada lado), duas linhas de coleta de plantas para análise de nematologia (uma de cada lado) e as duas linhas centrais para coleta de produtividade (quatro linhas de seis metros), dando preferência para duas linhas centrais.

Com a disposição das parcelas físicas no campo se coletou os dados biofísicos de volume de raiz, altura do colmo, diâmetro do colmo, peso da massa seca total e peso de massa de grãos por espigas constituindo o resultado de produtividade. Para obter as amostras para analisar a presença e a população de nematoides foram extraídas 5 plantas com solo e raiz de cada parcela demonstrativa. A coleta de plantas para avaliação dos dados biofísicos foi realizada na maturação fisiológica (30%), proposto por pesquisadores (MAGALHÕES, et al., 2010), coletando-se 20 plantas por unidade

experimental, as quais foram subdivididas em três partes (parte aérea (folha, colmo), raiz e espiga).

Figura 5 - Layout das parcelas para coleta das informações biofísicas: altura de plantas, volume de raiz, diâmetro de colmo, massa seca total, massa de grãos por espiga (2021)



Fonte: autoria própria (2022)

As plantas, após a lavagem, ficaram secando à sombra por aproximadamente 52 dias, em sala ventilada. Na coleta das plantas, tomou-se cuidado para manter o material livre de impurezas oriundas do campo, principalmente solo, pois essas mesmas plantas foram utilizadas na determinação dos dados biofísicos, evitando com isso interferência nos resultados.

Após esse período de pré-secagem, o material (parte aérea e raízes) foi moído em triturador forrageiro (Nogueira 2). Desse material triturado, foi encaminhado para laboratório e armazenadas em estufa à 65°C até atingirem peso constante (RAIJ, 1997). Em seguida, efetuou-se a pesagem em balança digital com três casa decimal de precisão.

A massa de grãos de cada espiga (MGE) foi determinada utilizando um debulhador de espigas manual. A determinação da umidade da massa de grãos foi determinada com medidor do teor de umidade portátil Modelo MUP e corrigido a umidade para quatorze graus (14°C), por utilizar um volume pequeno de massa de grãos ($\pm 50g$). A massa de grãos das espigas foi pesada e padronizada a umidade visando cálculo de resposta aos efeitos dos tratamentos e produtividade final.

A metodologia de obtenção de raízes varia, dependendo do cultivo e devem atender os objetivos do pesquisador. Neste intuito a coleta das plantas no campo se deu de forma manual (BINGHAM e BENGOUGH, 2003). Na extração das plantas utilizou uma pá de corte afrouxando o solo a volta das plantas a 20 cm de profundidade obedecendo uma circunferência com raio de 12 cm entorno do colmo aproximadamente. Após a coleta, o sistema radicular apresentava um volume alto de solo onde foi feita a retirada individualmente deste resíduo das amostras.

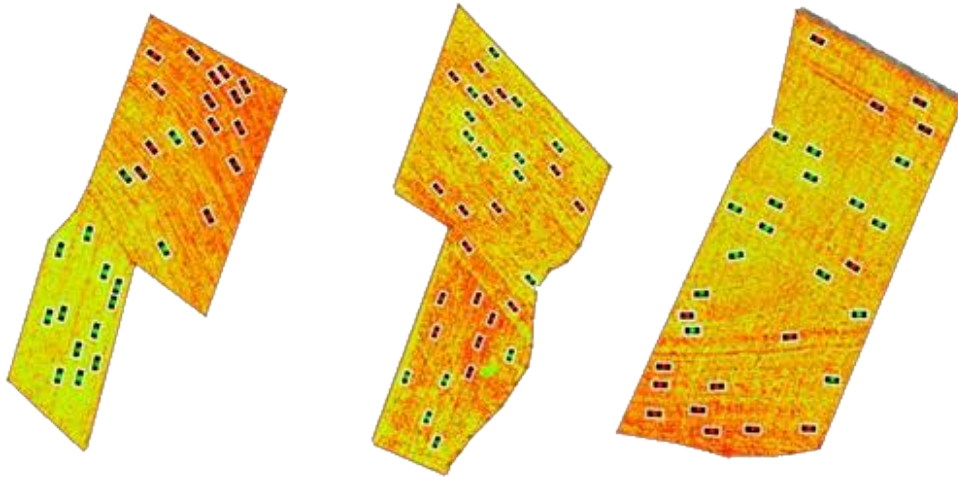
Com auxílio de uma peneira com malha 2mm e com água corrente as raízes foram lavadas ao ponto de eliminar todo o solo presente tomando o cuidado e evitando-se ao máximo a perda de raízes. Após as plantas foram suspensas em taludes acomodadas uma ao lado das outras por 30 minutos para garantir a perda de umidade das raízes pelo processo e lavagem. O volume de raízes (VR) é obtido através do método de deslocamento da coluna de água sendo esta metodologia amplamente utilizadas ao longo dos anos (MARTINS et al. 2011).

Para tal utilizou-se uma proveta de 2 litros (NALGON) graduada a cada 20 ml, onde acrescentou-se um volume de água conhecido e em seguida mergulhou-se as raízes na proveta com água, sendo o volume radicular correspondente ao volume de água deslocado na proveta, expresso em centímetro cúbico (cm³). Para garantir uma precisão maior fixou-se uma régua graduada em milímetro na borda da proveta convertidos em centímetros cúbicos.

O diâmetro de colmo do milho (DCM) foi medido com auxílio de um paquímetro digital de precisão (8") Modelo ELETRONIC DIGITAL CALLIPER, no segundo entrenó, contado a partir do nível do solo. Outra variável medida foi a altura de plantas (ALP) tomando como base o nível do solo até a última inserção de folha. Para esta medição usou uma trena graduada fixada em uma régua confeccionada de madeira com 300 cm de comprimento por 5 cm de largura com 3 cm de profundidade.

Foi utilizado um delineamento de parcelas casualizadas com seis repetições para cada tratamento com três híbridos de milho totalizando 36 parcelas de pesquisa. Para plotar estas parcelas foram determinadas 15 parcelas virtuais e sorteadas ao acaso conforme apresentado na figura 6.

Figura 6 - Imagens processadas e aplicado o índice NDVI para determinar feições para cada ambiente estudado. Considerando índices $\geq 0,6$ (SEMNEMA) caracterizando baixa ou ausência de nematoides e $\leq 0,3$ (COMNEMA) com alta presença de nematoides



Fonte: Autoria própria (2022)

3.5 Hardwares e softwares utilizados no processamento dos dados

Para o processamento de imagens foi utilizado um Notebook Dell, Intel Core i7-5200U, 4GB de memória RAM, 500GB HD e sistema operacional Windows 10 Pro de 64 bits no qual as imagens processadas dos voos do VANT foram tratadas usando o software Pix4Dmapper 4.6.4 (Pix4D AS, Lausanne, Suíça). O modelo de processamento foi configurado para garantir a mais alta qualidade do modelo digital de superfície (MDS).

3.6 Configuração das parcelas virtuais

Após o processamento da imagem aplicou-se um Índice vegetativo (IV) NDVI para obter a seleção das parcelas virtuais considerando um índice de NDVI igual ou superior a 0,60 para seis parcelas em cada ambiente e índice igual ou inferior a 0,3 para determinar mais 6 parcelas distribuídos nos talhões de pesquisa.

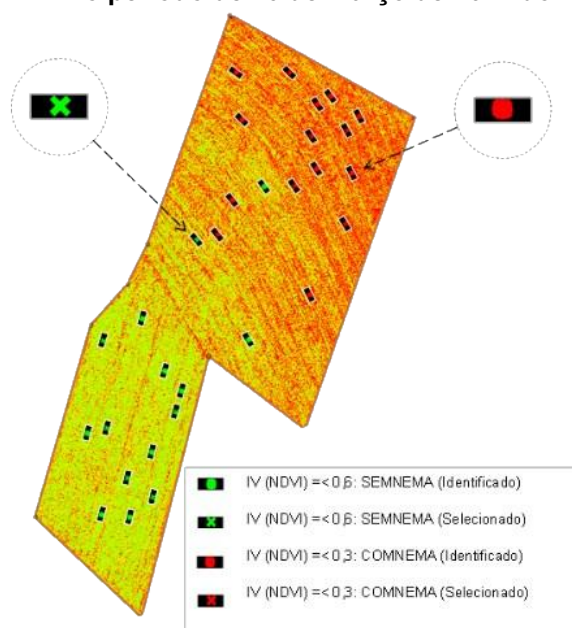
Considerado os índices de NDVI na escolha de 12 parcelas virtual para cada ambiente tomou como estratos com baixa ou sem a presença de nematoides (SEMNEMA) índices superiores ou igual a 0,60 (NDVI) perfazendo 6 parcelas virtual e índices inferior ou igual a 0,3 (NDVI) para estratos com presença de alta população

de nematoides (COMNEMA) sendo mais 6 parcelas totalizando para cada ambiente 12 parcelas virtual.

No entanto, na determinação das parcelas virtuais, para que contemplasse a homogeneidade das mesmas, partiu do pressuposto, que, observando os valores dos índices vegetativos (IV) e vizinhos próximos, buscou feições que atendessem os requisitos pré-estabelecido na ordem de 70% relevantes aos índices vegetativos calculados, ou seja, igual ou superior a 0,60 (NDVI), considerando populações como baixa ou ausente de nematoides (SEMNEMA) e inferior ou igual 0,3 com presença alta de populações de nematoides (COMNEMA) como esquematizado no exemplo da figura 7.

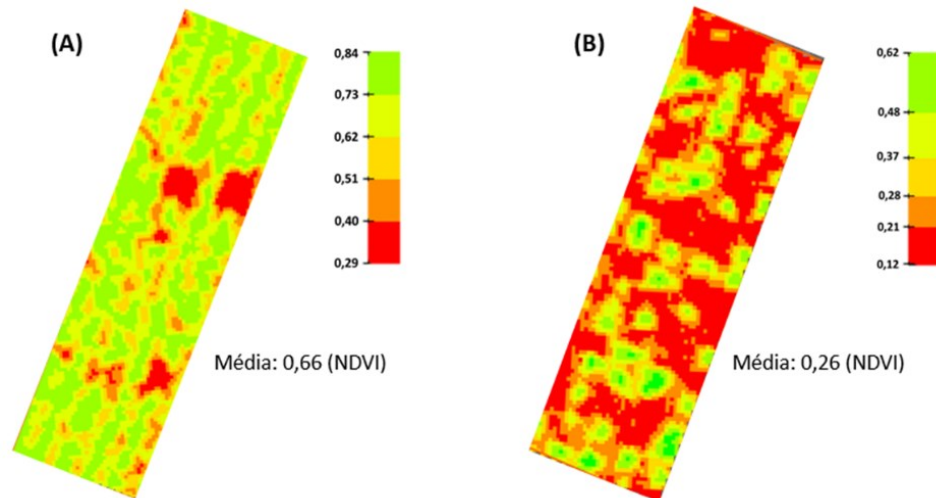
Na tabulação da coleta dos índices das parcelas virtuais tomando como exemplo IV 0,3 usou como escala de arredondamento de 0,05 para a mais ou para menos ($0,3 = 0,25 + 0,05$). Estes valores foram verificados de dados de processamento das imagens e relacionados aos valores dos IV (NDVI) em cada unidade amostral (UA), sendo esses resultantes de uma média entre os pixels vizinhos respeitando uma configuração retangular ao pixel que continha o centro da UA com as coordenadas amarradas a este ponto central gerando a parcela virtual exemplificado na figura 8.

Figura 7 - Sistematização para alocar as parcelas virtuais com emprego do índice vegetativo NDVI nas imagens processadas dos ambientes de estudos das imagens de campo feitas com o VANT no período de 20 de março de 2021 do Ambiente 1



Fonte: autoria própria (2022)

Figura 8 - Exemplo da sistematização para determinação da seleção das parcelas virtuais com emprego do índice vegetativo NDVI nas imagens processadas dos ambientes de estudos das imagens de campo feitas com o VANT no período de 20 de março de 2021



Fonte: Autoria própria (2022)

Esta metodologia foi adotada porque as coordenadas UTM das UA foram registradas com uso de GPS navegador, cujos erros podem ocorrer, o que não assegura sua localização exata no campo. Metodologia semelhante foi utilizada por Salvador e Pons (1998) e Forest Nutrition Cooperative (2007).

A posição georreferenciada de cada parcela foi virtualmente identificada e posteriormente plotada a campo a localização das parcelas. Nesta etapa, sensorialmente avaliou-se as condições de desenvolvimento da cultura com o propósito de confirmar o vigor das plantas. Para este fim, utilizou um receptor GPS TRIMBO modelo JUMBO SB na demarcação do local das referidas parcelas para posteriormente realizar a coleta dos dados biofísicos, massa de grãos, volume de raiz, altura de planta e diâmetro de colmo, sendo submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$).

Quando detectadas variações significativas as médias foram contrastadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se o programa estatístico SISVAR (a *computer statistical analysis system*, FERREIRA, 2014 e 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico se apresentam os principais resultados e discussões acerca do uso de imagens afim de estudar os efeitos danosos causados pelo ataque de nematoides na cultura de milho. Essa dinâmica é, extração das informações a partir dos produtos gerado pelos sensores remotos embarcados em um VANT, é, em geral, baseada nas peculiaridades do comportamento de reflectância de cada alvo em distintas regiões do espectro eletromagnético.

É importante destacar que, no presente estudo, foram abordados aspectos relacionados à variabilidade de comportamentos apresentados pela cultura do milho de segunda época de forma específica a caracterização pela ação negativa de nematoides afetando a cultura do milho.

4.1 Avaliação dos atributos químicos do solo dos ambientes de pesquisa

Para um bom desenvolvimento das culturas, parâmetros de fertilidade devem ser analisados cuidadosamente. Ainda, deve-se ajustar os níveis de nutrientes na faixa adequada para cultura do milho (RAIJ et al., 1996; FERREIRA et al., 2001; MALAVOLTA, 2006). Os resultados obtidos a partir de análises químicas do solo servem de base para a orientação da fertilização da cultura.

Sendo atributos muito importante mencionados por e Miranda (2013), Coelho e França (1995), Coelho (2013) e Wang, et al., (2017). Devido a sua importante do ponto de vista nutricional da planta, o suprimento de nutrientes em quantidade adequada como ponto-chave para aumentar a produtividade do milho (AMARAL, et al., 2017).

O solo foi analisado quimicamente com a metodologia implementada segundo Raji et al., (2001), cujos dados estão presentes na tabela 2. Os resultados da análise química do solo, obtidos da camada de 0-20 cm (Tabela 4), mostraram que os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) estavam dentro da faixa considerada adequada para condição do solo onde foi realizado a pesquisa.

O teor de Potássio (K) foi considerado alto e o Ferro (Fe) baixo e os demais macro e micronutrientes apresentaram teores adequados, similar aos encontrado por SOUSA e LOBATO (2004) nos seus estudos.

Tabela 2 - Resultados dos atributos químicos avaliados nos Ambientes 1, 2 e 3 de estudos

	Atributos químicos do solo analisados												
	P	B	S	Zn	Fe	Mn	pH	Ca	Mg	CTC	K	V%	MO
	mg. dm ³							cmolc. dm ³			%		
1	48,3	0,98	7,91	5,3	1,12	40,51	5,74	7,23	2,12	14,35	0,72	70,17	5,5
2	24,7	0,97	6,49	3,46	1,31	49,27	5,68	6,89	2,10	13,80	0,53	68,99	4,9
3	37,9	0,82	8,54	4,57	1,37	43,21	5,23	6,07	1,90	14,81	0,54	63,88	4,7

Fonte: Autoria própria (2022)

Makino et al. (2016) encontraram teores equivalente de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) de 5,23 e 1,99. A relação Ca:Mg (3:1) proporcionou o maior teor de Fósforo (P) nas plantas, apresentando-se significativamente diferente das demais relações Ca:Mg estudadas por Costa et al., (2009). Os teores de Potássio (K) extraídos do solo utilizado nos ambientes de pesquisa variaram de 0,53 a 0,72 cmolc.dm⁻³, são valores considerados altos similares aos encontrados por Medeiros et al. (2008).

De acordo com Parente et al. (2016), o potássio (K) é o segundo nutriente mais absorvido pelas plantas sendo este essencial na ativação de várias enzimas que atuam nos processos de fotossíntese e respiração, sendo assim, classificado como um macro nutriente essencial para as plantas.

Os níveis de nutrientes analisados são considerados altos tanto em relação aos macronutrientes quanto em relação aos micronutrientes, sendo classificado como um solo de boa fertilidade que segundo Santos et al. (2021) os níveis dos atributos químicos do solo têm que ser suficientes para garantir a exportação pela cultura e deixar um nível bom no solo. Ranzan (2018), encontram níveis altos de fósforo (19,9 mg dm⁻³ e justifica fato esse, como sendo resultado de boas adubações com esse nutriente, além de suprir a exportação do elemento pela colheita das culturas garantiu a elevação do teor no solo.

A relação entre os nutrientes é limitante para crescimento das plantas e estudos têm buscado estabelecer um balanço entre os mesmos, no entanto, verifica-se a escassez de estudos para desvendar o equilíbrio adequado entre os elementos químicos do solo (MIOTTO, 2009). Este mesmo autor, estudando a interação entre Ca:Mg observou que quando os teores de cálcio e magnésio do solo são suficientes, a interação entre estes cátions na absorção pela planta é de baixa importância.

Outro elemento essencial é o Fósforo (P) na avaliação dos resultados químicos extraídos do solo o teor é considerado alto. Afirmam Souza et al. (1998) que este elemento é responsável também pelo bom desenvolvimento das raízes e de plântulas no início do seu desenvolvimento. Malaquias e Santos (2017), constataram na sua pesquisa teores altos absorvido na forma iônica ($H_2PO_4^-$), sendo a forma predominante na faixa de pH 4,0 a 8,0, na qual vivem a maioria das plantas.

Nunes et al. (2011) trabalhando com um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso (64 % de argila), com teor de fósforo (P) extraível por Mehlich⁻¹ muito baixo (1,0 mg dm⁻³ na camada de 0 a 20 cm). Os teores de P encontrados nos ambientes de estudos igual ou maior que 20 mg. dm⁻³ de P, classificado como teores altos.

Outro elemento importante para desenvolvimento da cultura do milho é o Zinco (Zn), nos ambientes de estudo o resultado da análise de solo apresentou um nível alto. Estudo semelhante desenvolvido por Junior (2006) observaram em aplicações de taxas de Zn na cultura do milho sem êxito na resposta com este elemento em solos com 2,8 mg. dm⁻³ concluindo que níveis de Zn presentes nos solos eram suficientes, suprimindo o requerido pela cultura.

4.2 Avaliação dos componentes de produção e produtividade

Nos últimos anos, a cultura do milho no Brasil vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultado em aumentos significativos da produtividade. Entre essas tecnologias, destaca-se o controle relacionado a presença de nematoides (KENIA e SANTOS, 2009). Uma das metodologias é investigar efeitos nos componentes de rendimento.

Ao avaliar os resultados da análise de variância dos dados referentes ao morfométricas realizadas no estágio fenológico maturação fisiológica (R6) das plantas de milho dos híbrido dos ambientes 1, 2 e 3 nas condições testadas, verifica-se que a altura de planta (ALT), diâmetro basal de colmo (DCM); massa seca total (MSCER) considerando a planta no todo (colmo+espiga+raiz); massa seca de grãos por espiga (MSGE) apresentaram efeitos significativos, em função dos tratamentos, pelo teste F, ($p \leq 0,05$) dispostos na tabela 3.

Para a altura de plantas (ALT), nota-se que a cultivar P2970 VYHR (HIB2) provenientes da condição SEMNEMA (HIB2SE) e HIB2 COMNEMA (HIB2CO) apresentaram os maiores valores médios estatisticamente das demais condições. O

híbrido P4285 LEPTRA (HIB1) na condição SEMNEMA (HIB1SE) seguidos pelo híbrido AS1844 VT-PRO3 (HIB3), tanto com SEMNEMA (HIB3SE) e na condição HIB3CO não diferiu entre si ($p \leq 0,05$).

Molin e Stetina (2016) indicaram, dentre outros fatores, que a tolerância de plantas a nematoides pode estar relacionada com o tamanho ou a taxa de crescimento radicular, sendo está uma característica adquirida geneticamente pelos cruzamentos realizados na obtenção de Híbridos de milho.

Tabela 3 - Desdobramento dos tratamentos nos atributos biofísicos de três híbridos (HIB) de milho na condição com presença (COMNEMA) e sem presença (SEMNEMA) de nematoides

Atributos biofísicos avaliados	CONDIÇÃO					
	COMNEMA			SEMNEMA		
	HIB 1	HIB 2	HIB 3	HIB 1	HIB 2	HIB 3
(a) Volume de raiz (cm ³)	0,283ABb	0,383Ab	0,230Bb	0,803Ba	0,628Ca	0,961Aa
(b) Diâmetro de colmo (mm)	19,18Ab	17,81Bb	18,92Ab	21,71ABa	22,36Aa	21,02Ba
(c) Altura de planta (cm)	179,38Cb	217,45Ab	203,1Bb	221,34Ba	240,58Aa	215,01Ba
(d) Massa seca total (g)	142,40Cb	268,02Ab	189,37Bb	307,56Aa	303,40Aa	285,88Ba
(e) Peso de espiga (g)	72,89Ab	83,90Ab	91,44Ab	115,67Aa	137,66Aa	134,14Aa

CV (%) = (a) 13,66, (b) 3,87, (c) 3,05, (d) 1,89, (e) 15,97.

Médias seguida da mesma letra minúscula na linha e mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Fonte: Autoria própria (2022)

No entanto, para condição do híbrido P4285 LEPTRA (HIB1) COMNEMA (HIB1CO) foi inferior as demais condições e quando comparado com a condição HIB1SE teve uma redução no porte da planta de 18,95 %. Comparando as demais condições entre os híbridos de milho HIB2 (HIB2SE, HIB2CO) e HIB3 (HIB3SE, HIB3CO) a influência na redução do porte foi menor 9,61% e 5,50% respectivamente.

Esta redução na estatura da planta pode estar atrelada a fitopatógenos. De acordo com Trudgill (1991), são governadas de forma independentes. Um genótipo pode apresentar nível considerável de resistência e ser intolerante, como é o caso específico já relatado para *R. reniformis* para algumas culturas (SCHRIMSHER et al., 2014).

Na condição COMNEMA e SEMNEMA houve diferenças significativas, tanto para o mesmo híbrido e entre eles. Cruz e Pereira Filho, (2009) explica que além dos aspectos relacionados, as cultivares também se diferenciam em outras características morfo e fisiológicas, como: arquitetura de planta; sincronismo de florescimento; empalhamento; decumbência (percentagem de dobramento de espigas após a maturação); tolerância a estresses de seca e temperatura; tolerância às pragas; tolerância ao alumínio tóxico; e eficiência no uso de nutrientes influenciando a altura de plantas.

Para o diâmetro do colmo das plantas de milho dos híbridos (DCM), os maiores valores foram obtidos na condição SEMNEMA tanto para os HIB1SE, HIB2SE e HIB3SE não diferiram entre si. Já na condição COMNEMA, tanto o HIB1CO e HIB3CO são iguais estatisticamente e superior à HIB2CO.

Nas condições SEMNEMA os híbridos de milho avaliados foram superiores significativamente quando comparados com a COMNEMA. Maior diferença encontrada no diâmetro do colmo foi entre HIB2SE e o HIB2CO correspondendo a 20,34% na redução do diâmetro do colmo das plantas investigadas na condição HIB2CO. Em razão desse comportamento o híbrido P2970 VYHR (HIB2) teve efeito negativo no diâmetro de colmo.

Esse fato pode ser decorrência do baixo desenvolvimento das raízes, que por sua vez, podem ser mais suscetíveis a infestação por espécies de nematoides pela variabilidade genética existente entre os genótipos utilizados para pesquisa (GONÇALVES e LYNCH, 2014). No entanto, Wissuwa et al., (2009) afirmaram que as cultivares modernas, são selecionadas para expressar um potencial maior de produção sendo mais eficientes na utilização de recursos, por exemplo, os fertilizantes. Em certos casos provavelmente suprimiram a sua capacidade natural de adaptação a ambientes desfavoráveis.

Da mesma forma, a tabela 3 mostra que, o volume de raízes do milho (VR) na comparação das condições SEMNEMA para o híbrido HIB3 (HIB3SE) com os demais híbridos do estudo, verificou que para a condição COMNEMA a resposta do HIB3 (HIB3CO) foi inferior no volume de raiz encontrado de 0,230g, enquanto para SEMNEMA foi 0,931 g, apresentando efeitos significativos na redução do volume radicular na presença de altas populações de nematoides de 75,29%. Este mesmo efeito foi observado, com o HIB2 para as mesmas condições avaliadas com uma

redução de 39,01% do volume de raiz na presença de populações altas de nematoides.

Banora et al. (2011) descreve alguns eventos desencadeado por nematoides ao colonizar raízes de plantas, como redução do porte da planta e sistema radicular atrofiado. No tratamento HIB3CO teve uma redução de 76,06% no volume de raiz em relação HIB3SE, assim, evidenciando a ação negativa proporcionado por nematoides no desenvolvimento radicular dos híbridos de milho utilizados nesta pesquisa.

Dentre os diversos fatores envolvidos que ocasionem reduzido desenvolvimento radicular da cultura do milho, doenças e nematoides representam como um dos principais fatores (ZANELLA et al., 2005). A grande parte dos estudos voltados a infestação de nematoides em áreas cultivadas, descrevem a grande dificuldade de manejo, dos quais causam diversos danos indiretos, aliado à sua ampla distribuição geográfica que tem representado prejuízos incalculáveis (FISCHER et al., 2010).

Estes organismos alimentam-se e reproduz em plantas vivas, podendo migrar para a região rizosférica, para dentro das raízes, ou em direção à parte aérea, ocasionando perdas dispendiosas na agricultura principalmente em regiões tropicais e subtropicais (SIKORA; FERNANDEZ, 2005).

Desde então, vários estudos têm demonstrado, porte reduzido das plantas, danos no sistema radicular como redução e deformação, desfolha prematura, sintomas de deficiência mineral (clorose), decréscimo da eficiência das raízes em absorver e transportar água e, reduzindo a produção, até mesmo, inviabilizando o cultivo quando em infestações severas (TIHOHOD, 2000).

Na avaliação do componente de rendimento (Tabela 3) o peso por espiga (MGE) apresentou médias não significativas entre os híbridos expostos no experimento onde apresentou um coeficiente de variação superior a 15% (15,97%), demonstrado uma variabilidade maior para este componente de rendimento, porém no estudo das condições SEMNEMA nos três híbridos de milho analisados e comparado com os dados de COMNEMA, houve diferença significativa para este parâmetro das médias verificadas. As informações geradas para variável HIB2SE foi expressiva com média de 137,66g de MGE, correspondendo 39,05% quando comparada à média alcançada do HIB2CO (83,90g).

Resultados similares foram encontrados por Ferraz e Brown (2016), comenta que danos causados pelos fitonematoides são de natureza mecânica, devido à

penetração e migração do nematoide no córtex do sistema radicular, por vários processos desencadeado, prejudicando o bom desenvolvimento das raízes e interferindo na produção que alguns casos chegam a mais de 20% na redução de produtividade.

Alguns autores reforçam que o parasitismo por nematoides influencia diretamente o desenvolvimento das plantas, ocasionando deformação, subdesenvolvimento radicular e redução na absorção de água e nutrientes, aliado a deformação de todo o sistema radicular (ASMUS, 2004, GOMES et al., 2008, STANGARLIN et al., 2011).

Estas alterações prejudicam a fisiologia e a nutrição da planta, tendo como consequência um menor desenvolvimento da parte aérea, redução na produtividade, além de predispor a planta a outros patógenos (MAIA, 2019). Embora exista inúmeros trabalhos Aquino (2021) descreve o potencial de danos causados pelos nematoides em função dos danos nas raízes no processo de infecção na cultura do milho, podendo em materiais (híbridos) suscetíveis chegar a 60% de perdas na produção.

Num contexto geral os fitonematoides relata Engler e Gheysen (2013) causam distúrbios fisiológicos nas plantas atacadas implicando nos componentes de rendimento das culturas pela ação de secreções injetadas nos processos de alimentação da praga. E como causa principal queda na produção de fitomassa das plantas (MEIDANI, et al., 2019).

4.3 Identificação de fitonematoides nos ambientes pesquisados

O milho, as perdas podem variar de 5 a 20%, em função da ocorrência de diversos gêneros, incluindo *Pratylenchus* spp. e *Meloidogyne* spp. (KOENNING, et al., 1999). Entretanto, há relatos de produtores que atestam perdas de 30% em lavouras de milho infestadas por *Pratylenchus* sp. (DINARDO e DINARDO, 2018).

A análises laboratorial e as avaliações nematológicas foram realizadas aos 50 dias após a semeadura (DAS) do milho nos três ambientes. As amostras de raízes foram submetidas ao método de extração descrito por Coolen e D'Herde (1972) e as amostras de solo, ao método de extração de Jenkins (1964).

A síntese geral dos resultados quantitativos apresentados na tabela 4 das populações e gêneros de fitonematoides. Verificou níveis muito altos de populações de nematoides, porém nenhuma das coletas encaminhada para análise

nematológicas deu ausência de nematoides, ao contrário sempre resultou duas ou mais espécies de nematoides hospedando principalmente as raízes das plantas milho.

Tabela 4 – Resultado da análise nematológicas das parcelas estudadas nos ambientes (1, 2 e 3) com a união de 2 extratos de parcelas para cada resultado tanto de raiz (R) e solo (S) (2022).

Espécies de nematoides		Níveis populacionais de nematoides – amostra agrupada 1					
		AMBIENTE 1		AMBIENTE 2		AMBIENTE 3	
		SEM NEMA	COM NEMA	SEM NEMA	COM NEMA	SEM NEMA	COM NEMA
<i>Pratylenchus</i>	R	200	-/-	600	2900	100	900
<i>brachyurus</i>	S	-/-	-/-	-/-	-/-	50	-/-
<i>Helicotylenchus</i>	R	-/-	100	50	100	-/-	100
<i>dihyster</i>	S	-/-	100	-/-	200	-/-	200
<i>Scutellonema</i>	R	100	300	50	200	-/-	-/-
<i>brachyurus</i>	S	100	600	100	1100	100	-/-
<i>Pratylenchus</i>	R	-/-	-/-	-/-	100	-/-	-/-
<i>zea</i>	S	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
<i>Meloidogyne</i>	R	-/-	-/-	300	-/-	-/-	-/-
<i>spp</i>	S	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-

Espécies de nematoides		Níveis populacionais de nematoides – amostra agrupada 2					
		AMBIENTE 1		AMBIENTE 2		AMBIENTE 3	
		SEM NEMA	COM NEMA	SEM NEMA	COM NEMA	SEM NEMA	COM NEMA
<i>Pratylenchus</i>	R	-/-	600	800	2700	100	500
<i>brachyurus</i>	S	-/-	-/-	-/-	-/-	100	-/-
<i>Helicotylenchus</i>	R	400	-/-	-/-	1000	50	100
<i>dihyster</i>	S	-/-	-/-	100	300	-/-	200
<i>Scutellonema</i>	R	400	50	100	700	50	-/-
<i>brachyurus</i>	S	600	300	400	600	300	-/-
<i>Pratylenchus</i>	R	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
<i>zea</i>	S	-/-	-/-	-/-	400	-/-	-/-
<i>Meloidogyne</i>	R	-/-	-/-	200	-/-	-/-	-/-
<i>spp</i>	S	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-

Espécies de nematoides		Níveis populacionais de nematoides – amostra agrupada 3					
		AMBIENTE 1		AMBIENTE 2		AMBIENTE 3	
		SEM NEMA	COM NEMA	SEM NEMA	COM NEMA	SEM NEMA	COM NEMA
<i>Pratylenchus</i>	R	-/-	550	900	700	250	450
<i>brachyurus</i>	S	-/-	-/-	-/-	100	50	-/-
<i>Helicotylenchus</i>	R	600	-/-	-/-	100	-/-	50
<i>dihyster</i>	S	-/-	-/-	100	100	-/-	150
<i>Scutellonema</i>	R	500	300	100	200	-/-	-/-
<i>brachyurus</i>	S	300	100	400	300	200	-/-
<i>Pratylenchus</i>	R	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
<i>zea</i>	S	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
<i>Meloidogyne</i>	R	-/-	-/-	-/-	200	-/-	-/-
<i>spp</i>	S	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-

Metodologia: Referências análises nematológicas: BONETI e FERRAZ, 1981. COOLEN e D'HERDE, 1972, HUSSEY e BARKER, 1973, JENKINS, 1964, OLIVEIRA, et al., 2016, TIHOHOD, 1997. R: Raiz; S: Solo.

Fonte: Autoria própria (2022).

Nas amostras de solo apresentou padrão similar aos encontrados para raízes, sendo recorrente duas ou mais espécies de nematoides presentes.

Quatro gêneros de fitonematoides foram encontrados nas áreas: *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Scutellonema* e *Meloidogyne*. Tanto em amostras de raiz quanto as de solo com predomínio do gênero *Pratylenchus*. *Helicotylenchus* é um gênero que merece atenção conforme Mattos et al. (2006) que relata uma certa preocupação, pelo fato, de facilmente estar ocorrendo nas regiões produtoras de cereais dos estados brasileiros responsáveis por parte da produção de milho em nível nacional.

As informações referentes a prejuízos causados por este gênero são bem escassas e desta maneira, deverá ser uma espécie monitorada, mesmo não apresentando danos severos, porém tem aumentado a sua população recorrente nas lavouras de milho. Segundo Tomazini (2008), as áreas manejadas com cultivo no verão de soja e milho na segunda época tem criado um ambiente mais propício e, populações de *Helicotylenchus* têm aumentado consideravelmente a cada safra.

Na tabela 5 descrevemos a metodologia de coleta das amostras de nematoides que foram enviadas ao laboratório para identificação das espécies existentes colonizando tanto solo como o sistema radicular da cultura do milho. Por similaridade dos índices vegetativos (IV) detectados através de imagens espectrais, utilizou parâmetros de aproximação dos níveis dos IV.

Neste exemplo vamos unir o IV de NDVI 0,23, com IV 0,22 e formar a amostra doze (AAA12CO), como identificando na tabela 5. Num total de 3 amostras compostas por ambiente para cada condição presente, totalizando no final 18 amostras compostas

O nematoide das lesões radiculares, *Pratylenchus brachyurus*, é amplamente disseminado no Brasil. Contudo, quase não existem estudos sobre os efeitos do seu parasitismo nas diversas culturas (DIAS, et al., 2009). Em estudos realizados por Moura et al. (1999) observaram que entre as espécies de fitonematoides *P. zae* apresentou altas frequências com altos níveis populacionais. No entanto, nesta pesquisa nos ambientes analisados a frequência de ocorrência foi baixa deste gênero. Das 18 amostras encaminhadas para o laboratório somente duas constou a espécie *P. zae* e, em número baixo de indivíduos.

Tabela 5 - Detalhamento da composição das amostras de raízes com solo para avaliação nematológica nos três ambientes estudados relacionando com NDVI das parcelas

AMOSTRAS AGRUPADAS (AA)	CONDIÇÃO DE AMOSTRAGEM DE RAÍZES E SOLO			
	SEMNEMA (IV)		COMNEMA (IV)	
HIB1 (AA1SE, AA2CO)	0,87	0,89	0,21	0,22
HIB1 (AA3SE, AA4CO)	0,77	0,81	0,17	0,18
HIB1 (AA5SE, AA6CO)	0,91	0,92	0,24	0,23
HIB2 (AA7SE, AA8CO)	0,67	0,69	0,17	0,16
HIB2 (AA9SE, AA10CO)	0,70	0,72	0,19	0,19
HIB2 (AA11SE, AA12CO)	0,73	0,74	0,22	0,23
HIB3 (AA13SE, AA14CO)	0,87	0,88	0,32	0,33
HIB3 (AA15SE, AA16CO)	0,92	0,93	0,30	0,31
HIB3 (AA17SE, AA18CO)	0,94	0,94	0,26	0,27

HIB1: P4285 LEPTRA; HIB2: P2970 VYHR; HIB3: AS1844 PRO3; SEMNEMA: baixa população ou ausência de nematoides; COMNEMA: presença de populações alta de nematoides; IV: índices vegetativos utilizados para definir as parcelas de coletas de dados biofísicos e bioquímicos (NDVI).

Fonte: autoria própria (2022)

Dentre os diversos gênero encontrados a espécie mais abundante foi *P. brachyurus* do total das amostras apenas em 3 não foi detectado a espécie. No estudo foram registrados em relação a todos os ambientes amostrados, 83% de ocorrência de *P. Brachyurus* e uma média de 528 espécimes por 10 g de raiz na condição SEMNEMA e 1162 indivíduos por 10 g de raiz para COMNEMA.

Para o fácil entendimento na tabela 6 é descrito níveis populacionais de espécies de nematoides, tanto presentes no solo como nas raízes. Para o gênero *Pratylenchus* os níveis populacionais presente no solo menor que 50 indivíduos é classificado como baixo (Tabela 6).

Na incidência nas raízes menor que 800 indivíduos é classificado como baixo. Já para populações maiores de 1600 indivíduos por 10g de raiz é tido como alto, portanto, verifica-se uma grande amplitude entre os níveis populacionais entre uma incidência baixa quando comparada para uma incidência alta.

Demonstrando a problemática e a dinâmica desta especies na avaliação dos seus danos causados por uma determinada população existente hospedando o sistema radicular do milho. Os nematoides das lesões radiculares (*Pratylenchus* spp) e os nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp) são considerados os mais importantes fatores indutores de baixas produtividades das culturas (MOURA e OLIVEIRA, 2008).

Tabela 6 - Referência dos níveis populacionais de espécies de nematoides segundo alguns autores para *Meloidogyne* ssp. (das galhas), *Pratylenchus* ssp. (das lesões) e *Heterodera glycinis* (do cisto)

NÍVEIS POPULACIONAIS DE NEMATOIDES						
Nível	<i>Meloidogyne</i> ssp. (das galhas)		<i>Pratylenchus</i> ssp. (das lesões)		<i>Heterodera glycinis</i> (do cisto)	
	Solo (100cm ³)	Raiz (10cm ³)	Solo (100cm ³)	Raiz (10cm ³)	Solo (100cm ³)	Raiz (10cm ³)
	Baixo	0 – 150	0 – 60	0 – 50	0 – 800	0 – 100
Médio	301 – 600	61 – 120	51 – 100	800 – 1600	100 – 200	5 – 10
Alto	>600	>120	> 100	> 1600	> 200	> 10

Fonte: Adaptado de: Stephen Koenning (2007); Asmus; Andrade (1999); Garcia et al. (1999); Inomoto et al. (2010)

Nos resultados alcançados entre a condição SEMNEMA e COMNEMA estatisticamente foi significativa entre os dados biofísicos estudados dando indícios de interações quando confrontado com os resultados da tabela 4 das populações de nematoides presentes nestes ambientes estudados.

O maior comprometimento dos componentes biofísicos foi observado no ambiente 2, que por sinal, continha populações altas de nematoides colonizando tanto o solo como o sistema radicular do milho com predominância ao *P. brachyurus*. Junior et al. (2020), observou que o aumento dos fitonematoides está ligado diretamente com condições ótimas de temperatura, disponibilidade de alimento e a época do ano. O autor comenta ainda, que o *Pratylenchus* tem a cultura do milho como hospedeiro favorável.

Além disso, alguns autores como Debiase et al. (2016), identifica como uma causa do crescente aumento de populações de nematoides a falta de rotação de plantas, principalmente ausência de entrada de gramíneas inibidoras da multiplicação dos nematoides e, isso, tem favorecido expressivamente o aumento das populações destes organismos pela falta da diversidade microbiológicas destes solos.

Mesmo em populações altas de fitonematoides na avaliação de Dong et al. (2013), a dinâmica microbiológica proporcionada por sistema de rotação de cultura vai primar pela microbiota parasita e predatória de fitonematoides criando um ambiente de equilíbrio.

Neste estudo observou-se que populações altas de *Pratylenchus* são encontradas parasitando as raízes e, enquanto no solo são observadas populações baixas ou até mesmo a sua ausência. Este mesmo efeito foi observado nos estudos

de MACHADO et al., (2000) mostrando que o gênero *Pratylenchus* não tem correlação entre populações encontrada na raiz e no solo. Porém, caracteriza um efeito desta espécie da sua preferência em habitar o sistema radicular, tendo como uma das espécies muito agressiva e danosa a cultura do milho.

Outro fato observado existe uma correlação positiva entre populações de *Pratylenchus* e *Helicotylenchus*, ou seja, na presença de populações altas de *Pratylenchus* ocorre também populações altas de *Helicotylenchus*, como uma forma de sinergismo entre as duas espécies de nematoides.

Ambas as espécies penetram na raiz causando lesões e perdas significativas (MACHADO, et al. 2019). Machado et al. (2014), relaciona perdas nos cultivos de milho, soja no Brasil com *Helicotylenchus* ocorrendo em altas incidências populacionais, porém, os danos não foram quantificados na sua pesquisa.

Da mesma forma não foi possível atrelar os efeitos negativos as variáveis produtivas desta pesquisa a uma única espécie de nematoides, visto que, são encontrados vários gêneros parasitando o mesmo sistema radicular analisado. Inomoto et al. (2011) relata perdas na cultura de milho que podem chegar a 20% na ocorrência de fitonematoides.

4.4 Sensoriamento remoto na caracterização da variabilidade espacial de ataque de nematoides

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é amplamente utilizado para monitorar, analisar e mapear distribuições temporais e espaciais de características fisiológicas e biofísicas da vegetação. Além do NDVI existem muitos outros índices vegetativos de interesse que são aplicados com o grau de especificidade inerente ao que se busca pelo pesquisador.

Para estabelecer relações lineares de contrastes entre as feições estudadas do estado da vegetação oriundo dos canais espectrais estudados, se estabeleceu três índices de estudo NDVI, NDRE e WDRVI e mais termografia na caracterização de reboleiras assintomáticas com nematoides resultando da formulação matemática na geração dos índices que avalia a razão entre a diferença e a soma das combinações lineares de bandas espectrais, na faixa do vermelho, infravermelho-próximo e Infravermelho próximo da borda do espectro eletromagnético com as seguintes equações da expressas na tabela 7 e mais um canal termal.

Tabela 7 - Índices de vegetação (IV) que foram utilizados, seguido por suas siglas, equações e referências.

IV	Siglas	Equação	Referência
Normalized difference vegetation index	NDVI	$(R_{NIR}-R_{Red}) / (R_{NIR}+R_{Red})$	ROUSE <i>et al.</i> (1974)
Normalized difference red edge index	NDRE	$(R_{NIR}-R_{RE}) / (R_{NIR}+R_{RE})$	BARNES e al, (2000)
Wide Dynamic Range Vegetation Index	WDRVI	$(\alpha * R_{NIR}-R_{RE}) / (\alpha * R_{NIR}+R_{RE})$	GITELSON (2004)
Termal	TERMAL	(11.000 nm)	TANNER (1963)

Em que: R_{Nir} valores de reflectância obtidos pelo sensor em 780 nm; R_{Red} refletância em 730 nm; R_{Red} refletância em 670 nm, α (0,2)

Autor: adaptado pelo autor (2022)

Por meio do mapeamento do dossel da cultura de milho dos ambientes, foi possível identificar classes temáticas nas áreas de estudo. A análise visual permitiu identificar a predominância de reboleiras nestas regiões de estudos, associada a incidência de nematoides.

Na primeira etapa do estudo dos ambientes utilizou-se o mapeamento termal para diagnosticar zonas de destaque apresentando temperaturas do dossel mais elevadas, que segundo MAHLEIN, (2016) para detecção de patógenos estudos na literatura evidenciam que plantas após serem atacadas por patógenos sofrem danos que provocam mudanças na taxa de transpiração e fluxo de água em toda a planta ou em órgãos da planta reportado por SANKARAN et al. (2013), apresentando neste trabalho fortes evidências de regiões com temperaturas mais altas.

Isto leva ao aumento da temperatura em partes localizadas da planta, tal como as folhas. Diante disto, imagens capturadas por câmeras térmicas constituem uma forma de detectar presenças de infecção por patógeno ainda não visível a olho nu (BERDUGO et al., 2014). Porém, ainda não se estabeleceu técnicas para caracterizar a presença de nematoides antes mesmo que a cultura pudesse ser implantada.

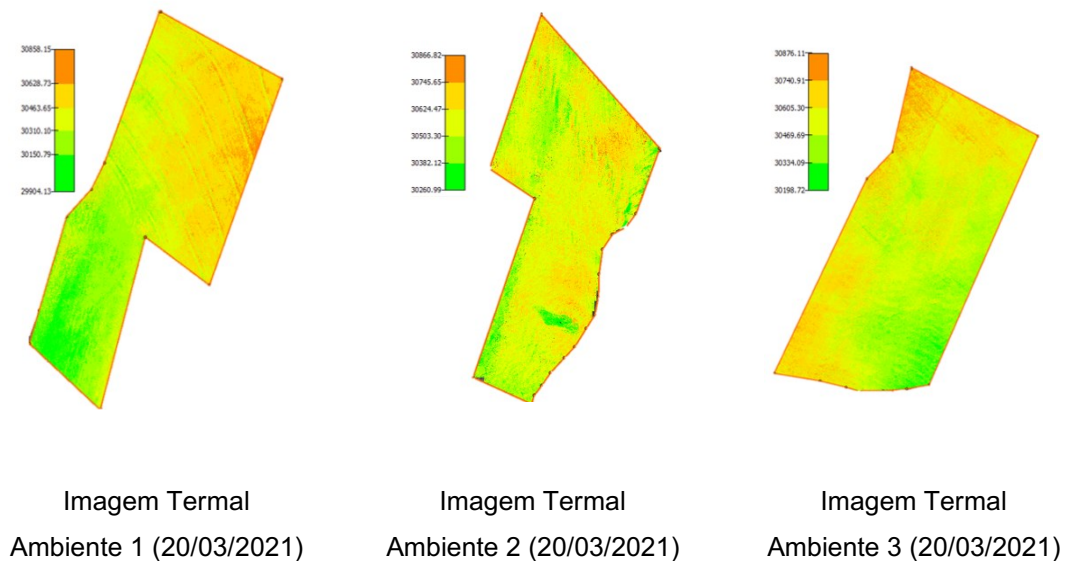
Estes sensores (*TIR*) detectam a temperatura da planta que está correlacionada com o estado da água da planta, apresentando uma estreita correlação com a transpiração da planta, microclima em extratos de cultivo, devenindo por mudanças na transpiração transformados pelas infecções precoces por patógenos de plantas (JONES et al., 2002; LENTHE et al., 2007; OERKE et al., 2006).

Enquanto muitos patógenos foliares, como manchas entre outros, induzem mudanças locais e bem definidas, o comprometimento as plantas promovidas pelos patógenos radiculares afetam a planta ou órgãos vegetais induzindo, mudanças de temperatura pontuais devido à infecção ou mecanismos de defesa que são ativados, desencadeando interações intrínsecas com comportamento termal (OERKE et al. 2014; GOMEZ, 2014).

A figura 9 ilustra a distinção de zonas termais representado pelas cores alaranjadas e vermelhas como as mais acentuadas entre a 5 classes mensuradas, ficando claro a presença de regiões com diferencial de temperatura, onde podemos observar tais discrepâncias de temperatura no dossel dos cultivares de milho.

No decorrer do estudo verificou estes padrões similares para os três ambientes com microrregiões com picos maiores de temperatura caracterizando locais de interesse da pesquisa.

Figura 9 - Imagem termal do dia 20/03/2021, nos três ambientes (1, 2 e 3) de pesquisa



Autor: Aatoria própria (2022)

Com tudo, foi possível observar padrões nos ambientes avaliados, formando-se zonas distintas com temperatura superior a 30.600 nm correspondendo na conversão a uma temperatura do dossel superior 32 graus celsius (°C) nos híbridos de milho estudados. Enquanto que mínimas registradas foram inferiores 29,5 °C para os extratos investigados.

Tabela 8 - Intervalos de interações do dossel da cultura do milho com sensores termais aos 35 dias (DAE) na condição de segunda época (safrinha) de semeadura da cultura do milho

Intervalo	interpretação
$29.000 > t^{\circ} \leq 30.200$	Interações positivo com fitomassa
$30.200 < t^{\circ} \leq 30.450$	Interações moderada com a fitomassa
$30.450 \leq t^{\circ} < 30.750$	Interações negativas com a fitomassa
$t^{\circ} > 30.750$	Interações positiva com o solo

Fonte: Aatoria própria (2022)

A análise quantitativa do mapeamento termal traz uma importante informação das classes temáticas, a representatividade percentual dos locais com alteração da temperatura no dossel da vegetação.

Consideremos dentro desta classificação quatro faixas ideal para estudo unificado as classes para geral indicadores de alteração de temperatura (t°) dos extratos estudados apresentado na tabela 9. Fato este, foi observado pelas feições estudadas dos ambientes, por exemplo carregadores, estradas e regiões com falha de semeadura as temperaturas são superiores 30.750 nm.

E temperaturas inferiores a 30.200 nm indicou uma interação positiva com a fitomassa da cultura do milho. Fato este, foi observado pelas feições estudadas dos ambientes, por exemplo carregadores, estradas e regiões com falha de semeadura as temperaturas são superiores 30.750 nm. E temperaturas inferiores a 30.200 nm indicou uma interação positiva com a fitomassa da cultura do milho.

Diante disso, no ambiente um (1) 36,58% das cenas imageadas apresentou temperaturas mais elevadas, 73,87% e 70,95% subsequente aos demais ambientes como mostrado na tabela 9. O estudo destas faixas possibilita determinar relações do estado fisiológico da cultura do milho, pois nos mostra como a variação dos componentes vegetativos acima do solo (dossel) são influenciados pelo teor de água nos níveis da emissividade da radiometria termal (infravermelho termal) como relatado por Gowda, et al. (2014).

Sendo plausível a criação de padrões do estado fisiológico vegetativo, no qual, os dados podem revelar a presença de nematoides coabitando o mesmo ambiente radicular das plantas, e, que, associação com estes organismos ocorre alteração da temperatura do dossel das cultivares de milho utilizado nesta pesquisa.

Conforme, já discutido na maioria dos trabalhos publicados que alterações nas imagens termal sugere detecção de anomalias baseando em sintomas ou alterações fisiológicas e bioquímicas pré-sintomáticas (CHOUNG e JO, 2016).

As câmeras térmicas são usadas especialmente para obter imagem térmica em corpos onde as diferenças de temperatura podem ser utilizadas para auxiliar na avaliação, diagnóstico ou análise da saúde vegetal (KHANAL et al, 2017). As imagens térmicas compõem uma técnica para converter o padrão de radiação invisível, banda do infravermelho, em imagens visíveis para extração e análise de informações de um alvo (HUSSAIN et al., 2018).

Tabela 9 - Resultado da leitura espectral do infravermelho do sensor termal (Lwir 11.000 nm) dos ambientes estudados do dia 20/03/21 gerado com Software MapperPix4D 4.6.4

Resultado da leitura termal do AMBIENTE 1 de estudo			
Prescrição	Leitura		Percentual da área %
	Mínima	máxima	
CLASSE 1	29904.13	30150.79	9,16
CLASSE 2	30150.79	30310.10	25,10
CLASSE 3	30310.10	30463,65	29,16
CLASSE 4	30463,65	30628.73	33,24
CLASSE 5	30628.73	30858.15	3,34
Média	30381,54		
Resultado da leitura termal do AMBIENTE 2 de estudo			
Prescrição	Leitura		Percentual da área %
	Mínima	Máxima	
CLASSE 1	30260.99	30382.12	1,38
CLASSE 2	30382.12	30503.30	24,76
CLASSE 3	30503.30	30624.47	52,37
CLASSE 4	30624.47	30745.65	19,04
CLASSE 5	30745.65	30866.82	2,46
Média	30563.90		
Resultado da leitura termal do AMBIENTE 3 de estudo			
Prescrição	Leitura		Percentual da área %
	Mínima	Máxima	
CLASSE 1	30198,72	30334,09	3,30
CLASSE 2	30334,09	30469,69	25,75
CLASSE 3	30469,69	30605,30	41,80
CLASSE 4	30605,30	30740,91	25,98
CLASSE 5	30740,91	30876,11	3,17
Média	30557,42		

Fonte: Autoria própria (2022)

SANKARAN et al. (2013) estudaram a aplicabilidade do uso da faixa espectral, dentre elas a termal na detecção de doenças em árvores cítricas com alta precisão de especificidade e sensibilidade com o uso desta ferramenta termográfica.

Estudos na literatura evidenciam que plantas após serem atacadas por patógenos sofrem danos que provocam mudanças na taxa de transpiração e fluxo de água em toda a planta ou em órgãos da planta. Isto leva ao aumento da temperatura em partes localizadas da planta, tal como as folhas (MAHLEIN, 2016).

Os índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizados para estimar a biomassa vegetal, uma vez que fornecem padrões temporais e espaciais das mudanças nos ecossistemas e têm sido úteis na estimativa de parâmetros biofísicos (SHIRATSUCHI et al., 2014).

Como ocorre para a vegetação em geral, a resposta espectral das culturas agrícolas depende de uma série de fatores bioquímicos do vegetal, além das características biofísicas do dossel. Normalmente, esses fatores estão condicionados a arquitetura do dossel, química foliar, parâmetros agronômicos e condições atmosféricas (MARTINS e GALO, 2015).

Além disso, essa resposta espectral também é influenciada pelos pigmentos presentes na folha, tais como a clorofila a e b, carotenos, xantofila e antocianinas na análise de ABDEL-RAHMAN et al., (2008), que provocam a absorção da radiação eletromagnética (REM) ou influenciam nos processos fisiológicos associados ao desenvolvimento do vegetal.

A utilização de índices na discriminação espectral da vegetação sadia, infectada por nematoides foram estudadas por Martins e Galo (2014) numa avaliação mais profunda da região do infravermelho próximo (700nm a 1075nm) que verificaram marcantes as diferenças no comportamento espectral médio das amostras analisadas, principalmente entre a vegetação sadia e parasitada em cana-de-açúcar.

Diante disto, imagens capturadas por câmeras térmicas constituem uma forma de detectar presenças de infecção por patógeno que ainda não são perceptíveis visualmente (BERDUGO et al. 2014).

Na figura 10 são apresentados os mapas de índices vegetativos (NDVI, NDRE e WDRVI) realizados no dia 20/03/2021, com base nos valores distribuídos e quando confrontados com o mapa de termografia da mesma data sugere uma forte correlação dos dados entre temperaturas e os índices vegetativos (IV) avaliados.

Desta forma, IV gerados, demonstram que resultados baixos apontados nos ambientes estudados correlacionando fortemente com os mapas de termografia (TIR) em relação ao aumento da temperatura. Ou seja, IV (NDVI) baixos correlaciona com valores altos de temperatura do dossel da cultura de milho. Da mesma forma, IV altos correlacionou com temperaturas menores do dossel, indicando uma maior massa vegetativa presente.

A variabilidade vista acima tanto da avaliação dos mapas do padrão espacial do NDVI e Termal dos ambientes estudados não foi ao acaso e sim de processos de infecção por espécies de nematoides presentes nestes ambientes caracterizados na observação dos dados nematológicas da tabela 4. A relação entre NDVI baixo ($>0,3$) e faixa termal superior 30.000 reportam níveis populacionais altos de nematoides hospedando tanto o solo como o sistema radicular de plantas de milho.

Estes resultados preveem que valores mais altos de NDVI do dossel da cultura indicam maior produção de massa vegetal, sendo este um indicador da biomassa fotossinteticamente ativa ou, em termos mais simples, o cálculo da saúde da vegetação.

A distribuição destes valores revela condições desfavoráveis para o bom desenvolvimento da cultura do milho nestas regiões sinalizadas pelo aumento nos níveis do espectro termal e quando relacionado com NDVI, evidência zonas com índices calculados baixos (IV), associando com baixo vigor vegetativo.

Resultados indicam abordando numa base de NDVI para cultura do milho dependentes do contraste espectral entre bandas vermelho e infravermelho próximo mostra-se sensível ao teor de clorofila da folha indicando um índice de área de vegetação (NUMATA et al., 2007). Os valores do NDVI também estão altamente correlacionados com a produção de biomassa (SILVA JÚNIOR et al., 2013; ESCRIBANO RODRÍGUEZ et al., 2014).

A classe analisada de NDVI na imagem do dia 20 de março do ambiente 1 apresenta uma amplitude de valores entre 0,04 a 0,97, com média de 0,54 dentre as cinco (5) classes estudadas (Tabela 10). No ambiente 2 a amplitude vai de -0,08 a 0,72 com uma média de 0,41 e para ambiente 3 os dados são muito similares ao ambiente 1 com uma pequena variação entre 0,07 a 0,91 e 0,54 de média. Entre os 3 ambientes avaliados o ambiente 2 apresenta a menor média IV (0,41), desta forma, expressando um menor fitomassa da cultura do milho.

Visto que, valores IV (NDVI) inferiores a 0,3 são considerados de fraca correlação e representam áreas com menor porte vegetativo ou fitomassa (WEIR e HERRING, 2012).

Tabela 10 - Resultado do índice vegetativo NDVI dos ambientes estudados do dia 20/03/21 gerado pelo Software MapperPix4D 4.6.4

Resultado da leitura IV NDVI do AMBIENTE 1 de estudo			
Prescrição	Leitura		Percentual da área %
	Mínima	máxima	
CLASSE 1	0,04	0,30	10,39
CLASSE 2	0,30	0,44	20,80
CLASSE 3	0,44	0,58	23,60
CLASSE 4	0,58	0,71	26,42
CLASSE 5	0,71	0,97	18,80
Média	0.54		
Resultado da leitura IV NDVI do AMBIENTE 2 de estudo			
Prescrição	Leitura		Percentual da área %
	Mínima	Máxima	
CLASSE 1	-0,08	0,13	0,51
CLASSE 2	0,13	0,31	32,97
CLASSE 3	0,31	0,48	31,95
CLASSE 4	0,48	0,66	26,81
CLASSE 5	0,66	0,90	7,77
Média	0,41		
Resultado da leitura IV NDVI do AMBIENTE 3 de estudo			
Prescrição	Leitura		Percentual da área %
	Mínima	Máxima	
CLASSE 1	0,07	0,31	9,59
CLASSE 2	0,31	0,45	19,53
CLASSE 3	0,45	0,57	24,35
CLASSE 4	0,57	0,70	27,85
CLASSE 5	0,70	0,91	18,67
Média	0,54		

Fonte: Autoria própria (2022)

Portanto, são ferramentas eficazes para coletar dados sobre a variabilidade espacial de indicadores da cultura, identificando tendências de variação nos dados e auxiliando nas interpretações para determinar estratégias de manejo adequadas (BENARDI, et al., 2017).

Na sequência da avaliação, o ambiente 2 é perceptível uma amplitude do IV de -0,08 a 0,90 com uma média 0,41 e com 33,48% da área com IV inferior a 0,31. No entendimento o NDVI assume valores no intervalo de -1 a 1 (KARIMI et al., 2018). Quanto mais próximo de 1, maior a atividade fotossintética da vegetação no local (JENSEN, et al., 2005).

Valores negativos ou próximos de zero (0) indicam áreas de corpos d'água, edificações, solo exposto ou locais onde há pouca vegetação, ou seja, pouca atividade clorofiliana (LEBOURGEOIS, 2008). O princípio teórico desse índice é que, quando mais ativa a vegetação, maior a absorção de luz solar na região do vermelho e maior a reflexão na região do infravermelho próximo (WANG e THOMASSON, 2019). Isso ocorre devido à fotossíntese e à atividade da clorofila, resultando em valores de refletância baixos no canal vermelho (ZHOU, et al., 2015).

Na continuidade do estudo, o ambiente 3 apresentou uma escala que vai de 0,07 a 0,91, com média de leitura 0,54. Outro ponto observado que 9,56% da área avaliada apresenta uma correlação (NDVI) igual ou inferior que 0,31. Além de estar disposta uma melhor distribuição dos IVs na extensão da área de estudo.

Fato esse, pode estar atrelado ao número populacional reduzido de nematoide (tabela 4), bem como, características genéticas do cultivar de milho implantada expressando um fator de maior resistência a esses patógenos, determinando um fator de reprodução menor.

Em muitos casos resultados similares ao encontrado nesta pesquisa ainda é frequente a tentativa de explicar a variabilidade observada na lavoura apenas investigando a fertilidade do solo (SILVA, et al., 2010).

No entanto na maioria das vezes o agente causal está associado a outros fatores de produção, especialmente aquele que relacionam com a capacidade da planta em absorver água, e sim, podem estar relacionados com problemas fitossanitários, muitos dos quais nem sempre causam sintomas evidentes, podendo passar despercebidos e até causar grandes danos e perdas de produtividade (DRIEMEIER, et al., 2016).

Como exemplo de problemas que podem permanecer ocultos por vários ciclos, citam-se os nematoides, que parasitam as raízes das plantas e causam sintomas que são facilmente confundidos com problemas nutricionais ou com outras pragas (XUE e SU, 2017).

Entretanto, na prática ocorrem diferentes valores de reflectância (ρ^{\wedge}). A interpretação do valor de ρ^{\wedge} depende muito dos objetivos de sua utilização e as razões pelas quais este é calculado. Segundo CALLEGARI-JACQUES (2003), o coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente de uma feição imageadas (Tabela 11).

Tabela 11 - Intervalos de coeficientes de correlação e interpretação de NDVI	
Intervalo	interpretação
$0,00 < \rho^{\wedge} < 0,30$	existe fraca correlação linear
$0,30 \leq \rho^{\wedge} \leq 0,60$	existe moderada correlação linear
$0,60 \leq \rho^{\wedge} \leq 0,90$	existe forte correlação linear
$0,90 \leq \rho^{\wedge} < 1,00$	existe correlação linear muito forte

Fonte: CALLEGARI-JACQUES (2003).

Nos mapas de distribuição espacial obtidos observa-se que o padrão de distribuição dos índices de NDVI, NDRE e o WDRVI (Figura 9) é semelhante, porém o NDRE e o WDRVI são mais sensíveis à distribuição espacial das variáveis COMNEMA e SEMNEMA atribuído aos dados biofísicos (Tabela 3).

Ao analisar a figura 9, é possível verificar a atividade fotossintética da biomassa nas áreas investigadas, pois a data faz referência ao início do período de cobertura maior da vegetação, deste ponto a exposição do solo é minimizada, fator este que influencia na resposta do resultado dos IV utilizados, principalmente o NDVI.

Segundo Shimabukuro e Ponzoni (2019), a interpretação deste índice deve levar em consideração vários fatores limitantes, tais como o ponto de saturação no qual o incremento de biomassa vegetal não pode mais ser acompanhando pelo aumento dos valores do índice, as interferências atmosféricas, as larguras das bandas espectrais utilizadas e as características de qualidade da imagem inerentes ao sensor utilizado.

As estimativas do processamento das imagens para IVs foram contornadas e mapeadas, para que seus padrões de variação no campo pudessem ser examinados (Figura 10) gerando mapas de NDVI, NDRE e WDRVI sendo marcante a associação com as propriedades da biomassa, fazendo referência aos dados da tabela 5 onde regiões com menores valores de NDVI, por exemplo, correspondem a locais com populações maiores de nematoides (COMNEMA).

A configuração média de absorção, ao longo do espectro visível analisado, indica que o milho parasitado por nematoides e as plantas saudáveis apresentaram as bandas de absorção clássicas das clorofilas a e b.

Esse comportamento espectral é consistente para uma cultura infectada por nematoides, devido ao comprometimento da estrutura foliar do vegetal, que torna as folhas cloróticas e amareladas (PERIN et al., 2006).

Na cultura do milho principalmente a espécie *P. brachyurus* pode parasitar tanto o córtex radicular como o cilindro vascular, provocando intensa destruição e depósito de substâncias que acarretam o bloqueio dos vasos com parcial ou total supressão do transporte de líquidos. Com tudo, exibem um sistema radicular pouco desenvolvidos e mais superficial (ROSA, 2010).

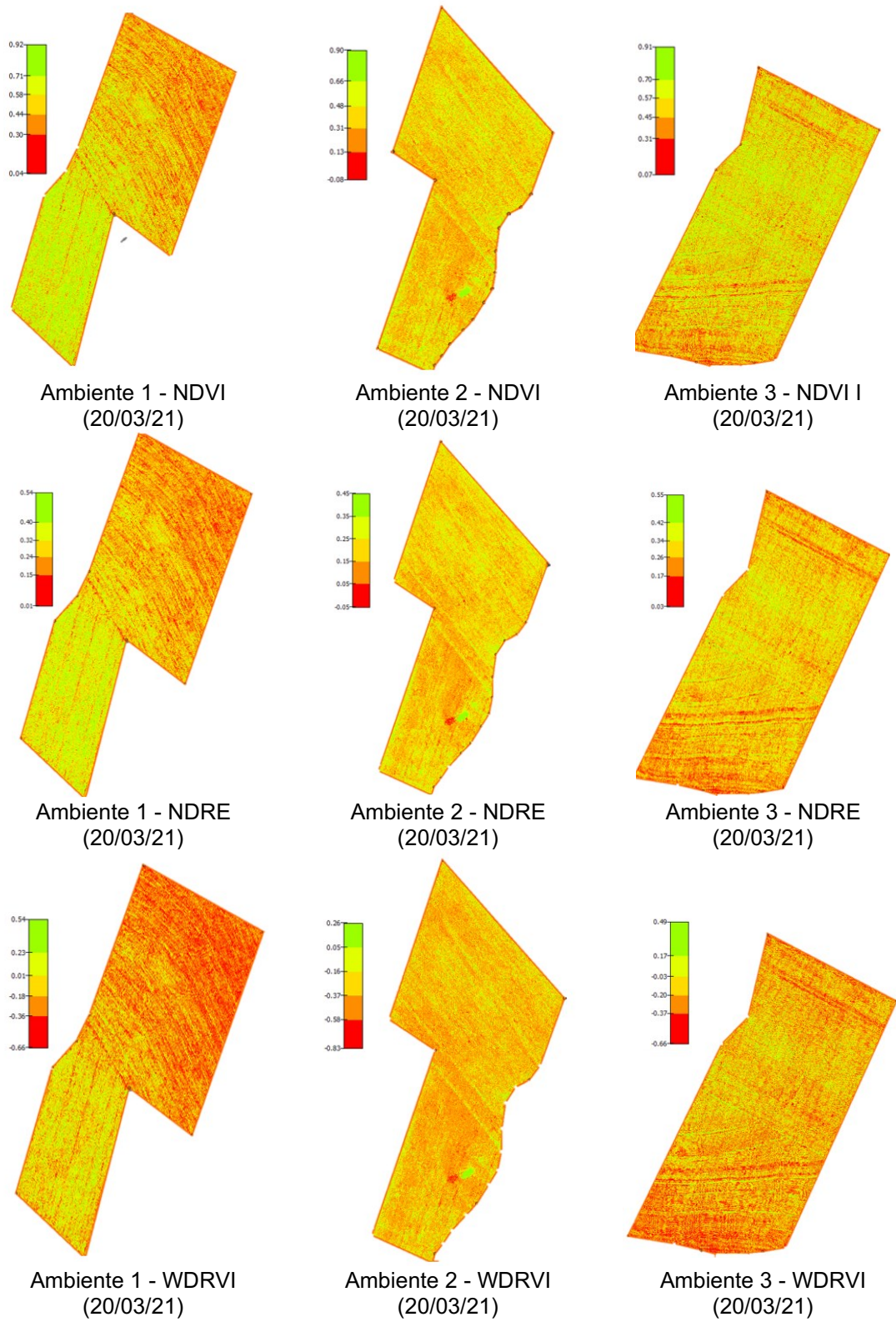
O mesmo autor relaciona que em populações altas de nematoides observa-se sintomas de necrose e danos severos e facilmente são notados nas plantas parasitadas, enquanto, numa situação de população baixa a percepção dos sintomas não sobressai.

Ao analisar variáveis agrônomicas da cultura de milho: altura de planta, massa grão, massa seca da parte aérea e da raiz, diâmetro de colmo, através da fusão de dados de múltiplos sensores a respostas dos efeitos relacionados à nematoides são similares apresentando uma refletância menor quando comparados com plantas de milho saudável. Desse modo, destaca-se a possibilidade de separar as regiões saudáveis dentro de uma área de milho das infestadas por meio desses mapas para o estudo da ocorrência de nematoides.

Na avaliação no campo das parcelas caracterizadas (COMNEMA) com populações altas de espécie de nematoides, fato este, revela colmos mais finos, como porte reduzido de planta, arquitetura foliar prejudicada aferindo menor expansão foliar, folhas enroladas e uma mudança na intensidade da pigmentação foliar de verde intenso para verde pálido (esbranquiçado) quando imposta à estresse hídrico associando a temperaturas mais elevadas.

Em detalhe na figura 11 podemos observar efeitos negativos na fisiologia da cultura do milho em condições déficit hídrico por períodos prolongado. A imagem refere-se a parcelas de avaliação e coleta dos dados bioquímicos e biofísicos na oportunidade em que se realizava uma visita exploratória na coleta de dados técnicos das áreas de pesquisa.

Figura 10 - Perfis temporais dos índices de NDVI, NDRE e WDRVI na caracterização da incidência de fitonematoides do dia 20/03/2021 nos três ambiente (1, 2 e 3) pesquisados



Fonte: Autoria própria (2022)

Em destaque na imagem demonstrando fenômenos de mudanças bioquímicas e biofísicas comprometendo a saúde das plantas de milho com maior

evidencia na condição COMNEMA. A figura 11 foi capturada com celular no segundo imageamento com VANT realizada no dia 31 de março e a na sequência a imagem em destaque foi feita no dia 15 de abril de 2021.

Figura 11 - Informações caracterizando as reboleiras com ação dos nematoides e em destaque (Data 15/04/2021) o efeito acometido pela ação de populações destes parasitas. (A) Imagem do Ambiente 2 COMNEMA na data 31/03/21 e 15/04/2021 e (B) Imagem do Ambiente 2 SEMNEMA na data 31/03/2021 e 15/04/2021



Imagem do Ambiente 2 COMNEMA na data
31/03/21 e 15/04/2021

Imagem do Ambiente 2 SEMNEMA na data
31/03/21 e 15/04/2021

Fonte: Autoria própria (2022)

Imagem obtida em visita exploratória dos ambientes para coleta de informações caracterizando as reboleiras com ação dos nematoides e em destaque (Data 15/04/2021) o efeito acometido pela ação de populações destes parasitas. (A) Imagem do Ambiente 2 COMNEMA na data 31/03/21 e 15/04/2021 e (B) Imagem do Ambiente 2 SEMNEMA na data 31/03/21 e 15/04/2021. Autor: Autoria própria.

Os mapas construídos (figura 10) para determinação dos IVs estudados fornece uma distribuição em 5 classes de informação da sensibilidade dos valores correlação dos IVs. Porém, foi considerado IV inferior 0,30 (NDVI) para rotulagem de reboleiras, que indicam as regiões supostamente parasitadas ou as quais a resposta do solo predomina, ou ainda com presença de plantas sob a condição de estresse. Haja vista, que pragas e parasitas do sistema radicular podem espectralmente ser confundidos com estresse hídrico (GONZALEZ-DUGO et al., 2013).

Afim de verificar os dados encontrados no estudo dos índices vegetativos (IV) da tabela 12 propôs a rotulagem de regiões com plantas saudias ou consideradas com mínimas interferências de populações de parasitas existentes demonstrando IV superior a 0,60 sendo significativo em ambos os híbridos na condição SEMNEMA

quando comparado a condição COMNEMA onde foi pré definido índices igual ou inferior a 0,30 na leitura do NDVI das parcelas virtuais selecionadas para desdobramento da pesquisa.

Tabela 12 - Médias do IV (NDVI) das parcelas dos extratos de coleta dos atributos biofísicos analisados para os três híbridos (HIB) na condição de SEMNEMA e COMNEMA nos ambientes de pesquisa

	Condição	
	SEMNEMA	COMNEMA
HIB1	0,73Aa	0,25ABb
HIB2	0,63Ba	0,20Bb
HIB3	0,71Aa	0,26Ab
CV (%): 13,74		

Médias seguida da mesma letra minúscula na linha e mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autoria própria

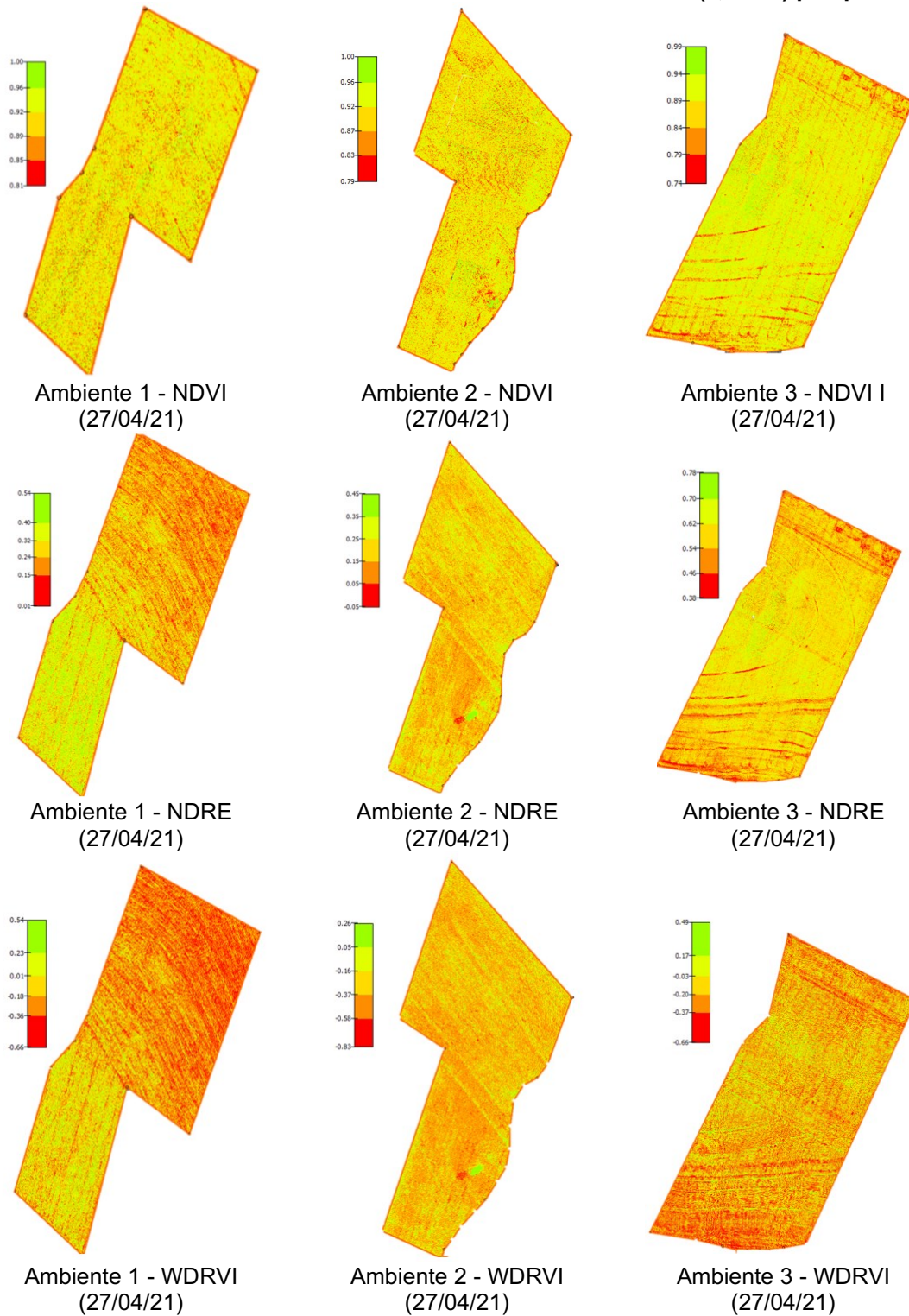
Na configuração da tabela 12 entre os híbridos 1 e 2 para condição SEMNEMA não diferiram entre si estatisticamente, apresentando IV similar. Da mesma forma na condição COMNEMA também se obteve padrões similares. Com tudo, sintomaticamente, verificou plantas subdesenvolvidas no momento em que era realizado as visitas para coleta de dados a campo.

Além das características intrínsecas dos cultivares de milho, fatores relacionados ao estresse acometiam os cultivares de milho destacado na figura 10. Quando coletou os dados de peso de massa de grãos por espiga notavelmente foi significativa quando comparado a condição COMNEMA e SEMNEMA. A perda maior foi registrada para o híbrido 2 de peso de massa de grãos por espiga com redução de 39,02% no peso médio.

Um dado relevante quanto as imagens adquiridas na data 31 de março conserva padrões dos índices (IV) gerados similar aos valores da primeira coleta de imagens (20/03/2022), tanto para o NDVI, NDRE e WDRVI, porém imagens ocorrentes a partir de 13 de abril indicam na figura 12 que o NDVI perdeu a referência dos padrões gerados nos ambientes estudados quanto a condição COMNEMA e SEMNEMA.

A medida em que houve ganho de fitomassa, o NDVI perdeu a sensibilidade na diferenciação do dossel da cultura do milho observado. Por outro lado, o desempenho do NDVI não foi bom para determinar classes com diferenças do dossel da cultura de milho entre plantas sadias e doentes na fase reprodutiva da cultura do milho.

Figura 12 - Perfis temporais dos índices de NDVI, WDRE e WDRVI na caracterização da incidência de fitonematoides do dia 27/04/2021 nos três ambiente (1, 2 e 3) pesquisados



Fonte: Autoria própria (2022)

Porém o comportamento do NDRE e WRDVI se mostraram muito promissores na avaliação na caracterização da infestação de nematoides em ciclo finais da cultura.

Este padrão de perda de sensibilidade na determinação de características COMNEMA e SEMNEMA com o NDVI em relação da fração de vegetação crescente foi predominante para os três ambientes estudados. Nesta mesma linha de raciocínio, contraste do NDVI alterado (WDRVI e NDRE), atribuíram uma consistência maior nas variáveis, com o qual, foi perceptível quanto as diferenças do dossel da cultura ao ataque por nematoides.

Em particular o índice NDRE segundo Jensen (2009) consiste no intervalo espectral entre 680 e 800nm, denominado Borda do Vermelho (Red Edge, RE), é caracterizado pela mudança abrupta do comportamento na curva espectral de um vegetal, decorrente de uma série de fatores relacionados à absorção pela clorofila e espalhamento interno da Radiação Eletromagnética (REM).

Ao comparar os resultados das distribuições espaciais e na geração dos IVs NDRE e WDRVI das áreas cultivadas com milho (ambientes) evidenciaram a existência de valores condizentes com a correlação dos efeitos negativos causados por nematoides.

O índice NDVI apresenta vantagens sobre NDRE e WDRVI na fase inicial do desenvolvimento da cultura do milho, e, à medida que aumenta o ganho de fitomassa, o índice perde relevância, indicando que valores superiores a 60% de produção de fitomassa ocorre perda da sensibilidade. Isto demonstra, que as condições de variações existentes em um extrato vegetal não têm mais relação com o NDVI (JHONN, et al., 2012).

É importante destacar, que NDRE e WDRVI foram mais sensíveis às variações a partir do ponto de saturação do NDVI, sendo possível determinar com maior precisão locais com evidência de populações altas de nematoides, principalmente na fase mais adiantada (reprodutiva) da cultura do milho, coincidindo com a última data (27/04/2021) de avaliação exploratória feita pelo imageamento com VANT nesta pesquisa.

O NDRE é um melhor marcador das condições das plantas do que o NDVI para as plantas que já acumularam uma grande quantidade de clorofila. A razão é que a luz vermelha limítrofe pode passar através das folhas muito mais profunda do que a luz vermelha (TSOUROS et al., 2019).

É mais relevante do que o NDVI para uso intensivo durante toda a época de cultivo, pois o NDVI torna-se frequentemente impreciso depois que as plantas acumularem uma quantidade máxima de clorofila (SAMPAIO et al., 2021).

No aprofundamento do estudo esses autores discriminaram valores NDRE em torno de 0,245, valor este, é reflexo do estágio fenológico da cultura do milho (R8), sendo caracterizado pela perda de clorofila nas folhas, resultando em uma alta absorção da radiação eletromagnética e baixa reflectância. E a partir deste ponto, valores acima de 0,48 (NDRE), evidenciam presença de plantas invasoras.

As observações feitas do dia 27/04/2021 nos estudos dos ambientes, fazendo referência a fase fenológica reprodutiva do milho (VT). Temos, escala de valores do NDVI entre 0,89 – 0,99 e média 0,89, NDRE entre 0,38 – 0,78 com média 0,58 e WDRVI entre 0,14 – 0,96 e uma média 0,62, evidenciado uma baixa sensibilidade das relações de NDVI, praticamente não é possível separar plantas saudáveis das doentes.

No entanto, o NDRE existe uma escala maior dos índices podendo separar as classes distintivamente uma da outra e determinando plantas atacadas por nematoides. Além disso, WDRVI também apresentou boas correlações, permitiu expressar melhor a atividade fotossintética em estádios fenológicos mais avançados dos vegetais em relação ao NDVI, onde está, possui a sua saturação nas fases finais do estágio vegetativo.

Segundo Grohs et al. (2009), a partir de um ponto com incremento de fitomassa ocorre a saturação do NDVI, que em teoria mede a quantidade de massa verde de um extrato vegetal, e, quando este cobre o solo no todo a escala do índice passa ser muito estreita.

Como foi previsto por Moreira (2011), nos estádios iniciais da cultura, o dossel da planta está incompleto, devido uma baixa cobertura vegetal de forma que parte da energia refletida é proveniente da planta, e outra parte é absorvida pelo solo, com isso, o NDVI é baixo nos estádios iniciais das culturas, aumentando assim, a variabilidade dos valores do índice.

Moges et al. (2004), observaram que a resposta do NDVI possui comportamento padrão ao incremento de biomassa. Esta saturação foi verificada em vários trabalhos, como o de Gitelson et al. (2003), Delegido et al. (2013), Torino et al. (2014), Bonfil (2016), Lu et al. (2017), entre outros.

A utilização do NDVI é mais indicada nos estádios iniciais da cultura, enquanto para os estádios finais, é interessante alterar as bandas do NDVI ou utilizar outro tipo de índice de vegetação, como, por exemplo, o comprimento de onda red-edge, que

tem demonstrado bons resultados e é menos suscetível à saturação com o aumento da biomassa (CARNEIRO, et. al, 2019).

Cabe mencionar, que os resultados obtidos indicam valores significativos na condição COMNEMA e SEMNEMA, comparativamente, tanto com informações de dados biofísicos, processamento de imagens obtidas com sensores específicos, e, não menos importante, a leitura termal, sendo estas importantes ferramentas como indicadores do status da saúde das plantas.

CONCLUSÕES

Esta pesquisa comprova a potencialidade de uso de séries espectrotemporais de imagens com VANT para estimar o ataque do complexo de nematoides presentes na cultura do milho e ainda tem como vantagem a objetividade, de uma análise em múltiplas datas, para ter informações do padrão das bandas espectrais utilizadas ao longo de todos os estádios fenológicos da cultura, uma vez que é possível, já nos primeiros estádios após a semeadura, conhecer os locais onde há ocorrência de fitoparasitas.

Os resultados deste estudo mostraram que os valores de NDVI associados com sensores termais e parâmetros biofísicos da cultura do milho, representam com precisão as variáveis estudadas. NDVI, NDRE e WDRVI como parâmetros chave para a identificação de focos de nematoides, onde ambos os índices se complementa e são capazes de fornecer as variáveis em todo ciclo da cultura do milho.

O PIX4D 4.6.4 foi uma ferramenta eficaz para coletar dados sobre a variabilidade espacial de indicadores da cultura, identificando tendências de variação nos dados e auxiliando na interpretação para determinar estratégias de manejo adequadas.

A sensibilidade diferencial do NDVI, NDRE e WDRVI para densidade da vegetação pode ser combinada para melhorar a investigação de nematoides. O NDVI apresentou melhores resultados para menor densidade de vegetação e o NDRE e WDRVI para maior densidade da vegetação. Para otimizar o monitoramento da vegetação, cobertura e densidade usando um único índice combinado. Esta aplicação abre propostas para novos estudos futuros.

O uso do NDRE permitiu uma análise mais precisa da transição entre as plantas mais saudáveis para as menos saudáveis, pois ele não satura tão facilmente quanto o NDVI. Desta forma, plantas de maior porte, com mais densidade no seu dossel, devem ser analisadas com o NDRE. Enquanto plantas de menor porte, menos adensadas, pode-se utilizar o NDVI.

Assim, os mapas gerados através do NDRE apresentaram melhor capacidade de expressar a atividade fotossintética do dossel nos estágios fenológicos mais avançados (fase reprodutiva) para a cultura do milho, possibilitando a indicação de locais que podem estar sendo atingidas por ataque de nematoides, além de contribuir

na identificação de presença de doenças ou pragas em final de ciclo, ou encontrar locais em que os. Além disso, nos locais em que há a senescência das folhas, o NDRE também permite localizar plantas invasoras devido a atividade fotossintética ainda presente.

Os resultados deste estudo sugerem que valores termais acima de 30.200 nm indicam uma cultura estressada e com efeitos negativos na conservação estomática foliar, prejudicando o crescimento da cultura do milho. Assim as plantas submetidas a estresse hídrico levaram a diferenças significativas na condição COMNEMA quando relacionada com SEMNEMA, caracterizando danos ocorridos pela ação de nematoides com limitação do crescimento radicular.

Indicando que os dados térmicos baseados em VANT têm o potencial de detectar padrões de estado da água mesmo em períodos de seca menos severos com plantas de milho infectadas o seu sistema radicular por nematoides.

No geral, os resultados mostraram o potencial de usar um sistema térmico e sensores multiespectral embarcados em VANT acessível para produzir mapas temáticos e IVs previstos com representação confiável do estado atual da cultura do milho na caracterização dos efeitos negativos causado pelo complexo de nematoides coabitando o sistema radicular da cultura do milho.

Além disso, esses mapas podem ser potencialmente usados para desenvolver sistemas de manejo de taxa variável através do delineamento de zonas de manejo de nematoides.

Sugere-se para trabalhos futuros mediante a análise dos índices vegetativos explorados nesta pesquisa e em particular NDRE nos estudos de coeficientes de relação no desenvolvimento de parâmetros de classificação por classe de Intervalos de coeficientes de correlação e interpretação de NDRE aos efeitos negativos causados por nematoides na cultura de milho. Visto que, mostrou-se mais sensível as variabilidades do dossel da cultura na fase reprodutiva do milho aumentando o período de monitoramento destes fitoparasitas.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAHMAN, E. M. e AHMED, F. B. The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum spp. hybrid*) production: a review of the literature. **Int. Mag. of Row. Sens.**, v. 29, n. 13, p. 3753-3767, 2008.
- ABRAHÃO, S. A. et al. Vegetation spectral indices to discriminate nitrogen rates in tanzania grass. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1637-1644, 2009.
- ALMEIDA, A. Q. DE et al. Enhanced Vegetation Index (EVI) na análise da dinâmica da vegetação da reserva biológica de Sooretama, ES. **Revista Árvore**, v. 32, n. 6, p. 1099-1107, 2008.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6): 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- ALVAREZ-CEDILLO, J.; HERRERA-LOZADA, J.; RIVERA-ZARATE, I. NDVI algorithm implementation strategy with Nvidia Thrust. in: **Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology**. Springer, Berlim, Heidelberg, p. 184-193, 2013.
- AMARAL, L. A. et al. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Ciência do Solo**, v. 10 n. 35, 2017.
- AQUINO, N. C. R. M. DE. Plantas de cobertura e agentes de biocontrole no manejo de nematoides na cultura do milho. **Instituto Federal Goiano**, Campus Urutaí, Urutaí, Goiás, p. 28, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2069>. Acesso em: 25 jan 2022.
- ARAÚJO, G. L. et al. Respostas espectrais e análise do índice de vegetação normalizado (ndvi) na cultura do milho irrigado. **Anais do Seminário Científico do UNIFACIG**, n. 1, 2017.
- ASMUS, G. L. Ocorrência de nematóide fitoparasitos em algodoeiro no estado de Mato Grosso do Sul. **Nematologia Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 77-86, 2004.
- ASMUS, G. L. et al. **Densidade populacional e distribuição espacial de *Meloidogyne incognita* e *Rotylenchulus reniformis* em algodoeiro em sistema de plantio adensado**. v. 37, 2013.
- AZEVEDO, A. L. de. **Levantamento fitossociológico e estimativa de biomassa aérea de uma área de caatinga com uso de equações alométricas e geotecnologias**. 2020. 83f. (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2020. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/22014>. Acesso em: 26 jan. 2022.

BAI, Y; YANG, Y; JIANG, H. Intercomparison of AVHRR GIMMS3g, terra MODIS, and SPOT-VGT NDVI products over the Mongolian plateau. **Remote Sensing**, vol. 11, n. 17, p. 2030, 2019.

BANDEIRA, T. V e DA CRUZ, M. L. B. Estudo da cobertura vegetal do município de Guaiuba/CE com base na utilização dos índices de vegetação SAVI e NDVI. **Geosul**, v. 36, n. 78, p. 410-433, 2021.

BANORA, M. Y. et al. Feeding Cells Induced by Phytoparasitic Nematodes Require γ -Tubulin Ring Complex for Microtubule Reorganization. **PLoS Pathogens**, v. 7, n. 12, 2011.

BARNES, E.M. et al. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. In: **Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture**, 2000.

BARRET, F. e GUYOT, G. Potenciais e limites de índices de vegetação para avaliação LAI e APAR. **Rem. Sens. Ambiente**, v. 35, p. 161-173, 1991.

BERDUGO, C. et al. Fusion of sensor data for the detection and differentiation of plant diseases in cucumber. **Plant Pathol.** 63:1344-1356, 2014.

BERGERI, R. et al. Vegetation indices for the leaf area index estimation in clonal plantations of *Eucalyptus saligna* Smith. **Ci. Fl.**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 885-899, 2019.

BERNARDI, A. C de C. et al. Variabilidade espacial de parâmetros de solo e plantas em área cultivada com sorgo e braquiária em sistema de integração lavoura-pecuária. In: Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4, 2010. Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Ribeirão Preto, SP: ABEA, 2010.

BINGHAM, I. J. e BENGOUGH, A. G. Plasticidade morfológica de raízes de trigo e cevada em resposta à variação espacial da resistência do solo. **Planta e solo**, v. 250, n. 2, p. 273-282, 2003.

BOEHMLER, J. M. et al. Development of a multispectral albedometer and deployment on an unmanned aircraft for evaluating satellite retrieved surface reflectance over Nevada's black rock desert. **Sensors** (Switzerland), v. 18, n. 10, 2018.

BOLFE, E. L.; FERREIRA, M. C.; BATISTELLA, M. Avaliação da correlação entre índices de vegetação e biomassa epígea de sistemas agroflorestais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** São José dos Campos. p. 2603-2610, 2009.

BONETI, J. I. S. e FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey e Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 6, p. 553, 1981.

BONFIL, D. Wheat phenomics in the field by RapidScan: NDVI vs. NDRE. **Israel Journal of Plant Sciences**, p. 1-14. 2016.

BRIDA, A. L. Levantamento de nematoides entepatogênicos em áreas agrícolas e influência da temperatura e do substrato na sobrevivência, multiplicação e armazenamento. **UNESPS**, 2015.

BRITO, G. G. et al. Non-destructive analysis of photosynthetic pigments in cotton plants. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 4, p. 671-678, 2011.

BRITO, A. C. et al. Seasonality of microphytobenthos revealed by remote sensing in a southern European estuary. **Continental Shelf Research**, v. 66, p. 83-91, 2013.

BUNNIK, N. J. J. A reflectância multiespectral da radiação de ondas curtas por culturas agrícolas em relação às suas propriedades morfológicas e ópticas. **Universidade e Pesquisa de Wageningen**, 1978.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre, **Artmed**, p. 255, 2003.

CARNEIRO, F. M. et al. Detecção da saturação do NDVI por meio do controle estatístico de qualidade. **Funep**, p. 161- 170, 2019.

CAMPS-VALLS, G. et al. A unified vegetation index for quantifying the terrestrial biosphere. **Science Advances**, 2021.

CASSOL, H. L. G. Estimativa de biomassa e estoque de carbono em um fragmento de floresta Ombrófila mista com uso dados ópticos de sensores remotos. 2013. 143 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 2013.

CATUREGLI, L. et al. Veículo aéreo não tripulado para estimar o estado de nitrogênio de gramados. **PloSum**, v. 11, n. 6, p. e0158268, 2016.

CÉSAR, P. M. e DURÃES, F. O. M. Fisiologia da Produção de Milho. **Infoteca**, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490408/1/Circ76.pdf>. Acesso em 25 jan. 2022.

CHAKRABORTY, M.; KHOT, L. R.; PETERS, R. T. Assessing suitability of modified center pivot irrigation systems in corn production using low altitude aerial imaging techniques. **Information Processing in Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 41- 49, 2020.

CHANG, C. Y. et al. An Unmanned Aerial System (UAS) for concurrent measurements of solar-induced chlorophyll fluorescence and hyperspectral reflectance toward improving crop monitoring. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 294, n. November 2019, p. 108 - 145, 2020.

CHOUNG, Y. J. e JO, M. H. Monitoring water resource changes using multi-temporal landsat imagery taken in changnyeong, South Korea. **Procedia Engineering**, 154(1), p. 348–352, 2016.

CHITWOOD, B. G. et al. Nematóides das galhas. Parte 1. Uma revisão do gênero *Meloidogyne* Goeldi, 1887. **Proceedings of the Helminthological society of Washington**, v. 16, n. 2, p. 90-114, 1949.

COELHO, A. M. e FRANÇA, G. E. D. Seja doutor do seu milho: nutrição e adubação. **Arquivo do agrônomo**, Piracicaba, n. 2, 1995.

COELHO M. e FRANÇA G. E. D. Nutrição e adubação do milho. **Embrapa Milho e Sorgo**. 2013.

COLOMINA, I. e MOLINA, P. Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 92. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Inc. (**ISPRS**): 79–97. 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, 12º levantamento, set/2013 – Brasília: **CONAB**, 2013. Disponível em: https://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_10_10_50_55_boletim. Acesso em: 10 de abr de 2022.

CONAB. Companhia Nacional De Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. **CONAB**, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 20 maio 2022.

COOLEN, W.A. e D'HERDE, C.J. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. State Agricultural Research Centre - **GHENT**, Belgium. p. 77, 1972.

COSTA, S. E. V. G. de A. et al. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1291-1301, 2009.

CRUZ, J. C. et al. Caracterização do cultivo de milho safrinha de alta produtividade em 2008 e 2009. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 177-188, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/895827>. Acesso em: 02 maio 2022.

CRUZ, C. D. e REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, MG: **UFV**, p. 389 – 392, 1994.

CURRAN, P. J.; DUNGAN, J. L.; GHOLZ, H. L. IAF sazonal em pinheiro-bravo estimado com Landsat TM. **Sensoriamento remoto do Ambiente**, v. 39, n. 1, pág. 3-13, 1992.

DASGUPTA, D. R.; RASKI, D. J.; SHER, S. A. Uma revisão do gênero *Rotylenchulus* Linford e Oliveira, 1940 (Nematoda: Tylenchidae). **Proceedings of the Helminthological Society of Washington**, v. 35, p. 169-92, 1968.

DA SILVA, E. R. O. et al. Effects of spatial variability of soil chemical parameters on tifton 85 grass yield. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 236–245, 2020.

DAUGHTRY, C. S. T. et al. Estimativa da concentração de clorofila foliar de milho a partir da refletância foliar e do dossel. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**, v. 74, n. 2, p. 229-239, 2000.

DAVIS, R. F. e STETINA, S. R. Resistance and tolerance to nematode in cotton. In: GALBIERI, R., BELOT, J. L. (eds). Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle. Instituto Mato-grossense do Algodão – **IMAmt**, Cuiabá, Brasil, p. 166-242, 2016.

DAVIS, R. L. et al. A practical application of unsupervised machine learning for analyzing plant image data collected using unmanned aircraft systems. **Agronomy**, v. 10, n. 5, 2020.

DEBIASE, G. et al. Correção orgânica e preparo mínimo em trigo de inverno cultivado em condições mediterrâneas: Efeitos no desempenho do rendimento, fertilidade do solo e impacto ambiental. **Revista Europeia de Agronomia**, v. 75, p. 149-157, 2016.

DE JONG, S. M.; HORNSTRA, T.; MAAS, HANS-GERD. An integrated spatial and spectral approach to the classification of Mediterranean land cover types: the SSC method. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 3, n. 2, p. 176-183, 2001.

DE QUEIRÓZ, C. A. et al. Reação de acessos e cultivares de *brachiaria* spp. e *panicum maximum* à *pratylenchus brachyurus*. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 3, p. 226–230, 2014.

DELEGIDO, J; VERRELST, J; MEZA, C.M; RIVERA C. J; ALONSO, L; MORENO, J. A red-edge spectral index for remote sensing estimation of green LAI over agroecosystems. **European Journal of Agronomy**, n. 46, p. 42-52, 2013.

DIAS, A. C. R. **Sintomas comuns e manejo de fitonematoides**. 2016. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/diagnostico-correto>. Acesso em: 20 de abr. de 2022.

DIAS, A. C. R.; FERRAZ, S.; FREITAS, L. G.; MIZOBUSTI, E. H. Avaliação de gramíneas forrageiras para o controle de *Meloigogyne incognita* e *M. javanica* (Nematoda). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 25, n. 2, p. 473-477, 2003.

DIAS, A. C. R.; FERRAZ, S.; RIBEIRO, R. C. F. Reação de gramíneas forrageiras a *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, v. 33, n. 1, p. 90-93, 2009.

DIAS, W. P. et al. Nematoides In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (Ed) Soja: doenças radiculares e de hastes e interrelações com o manejo do solo e da cultura. Londrina: **Embrapa soja**, p. 173-206, 2010.

DIAS, W.P. et al. Nematóides de cisto da soja: biologia e manejo pelo uso da resistência genética. **Nematologia Brasileira**, 33 (1):1-16. 2009.

DINARDO-MIRANDA, L. L. e DINARDO MIRANDA, I. Nematoides. Milho. 40 p. [Online], 2018. Disponível em: http://www.nematoides.com.br/Content/Fotos/3JUL-CartilhaNemat%C3%B3ides617_atualizada.compressed.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.

DONG, X. et al. Fine mapping of qhir1 influencing in vivo haploid induction in maize. **Theor. Appl. Genet.**, v. 126, p. 1713-1720, 2013.

DOS SANTOS SILVA, J. P. et al. Extrato de erva-de-santa-maria (chenopodium ambrosioides L.) no controle alternativo de nematóides das galhas na soja. **UNIFUNEC CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR**, v. 9, n. 11, p. 1-10, 2020.

DOS SANTOS, R. A. et al. Actual evapotranspiration and biomass of maize from a red-green-near-infrared (RGNIR) sensor on board an unmanned aerial vehicle (UAV). **Water** (Switzerland), v. 12, n. 9, p. 1-20, 2020.

DUAN, T. et al. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. **Field Crops Research**, v. 210, p. 71-80, 2017.

DURÃES, F.O.M. et al. Fatores ecofisiológicos que afetam o comportamento do milho em semeadura tardia (Safrinha) no Brasil Central. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 3, p. 491-501, 1995.

EDUCA, S. D. E. e URUTA, C. Reação de genótipos de arroz de terras altas quanto à resistência a *Pratylenchus brachyurus*. Bruna do Carmo Vieira, 2020. no Brasil Central. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 3, p. 491-501, 1995.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo. Sistemas de produção No. 1: cultivo do milho. Sete Lagoas: **EMBRAPA**. 8ª ed. 2012a. Disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_8ed/index.htm. Acesso em 22 abr. 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Milho - cultivares para 2012/2013. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, **EMBRAPA-CNPMS**. 2012b. Disponível em: <https://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>. Acesso em: 18 abr. 2022.

EMBRAPA-Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos (Brasília, DF). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Brasília, DF: **Embrapa Solos**, p. 154, 2013.

ENGLER, J. de A. e GHEYSEN G. Nematode-induced endoreduplication in plant host cells: why and how? **Mol Plant Microbe Interact.** 2013.

ESCOBAR-LÓPEZ, A., M. Á. et al. "Identifying Coffee agroforestry system types using multitemporal Sentinel-2 data and auxiliary information. **Remote Sens.** 2022, 14, 3847, 2022.

ESCRIBANO RODRÍGUEZ, J. A.; HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA, C. G.; TARQUIS ALFONSO, A. M. Selection of vegetation indices to estimate pasture production in dehesas. **Pastos**, v. 44, p. 6-18, 2014.

ESPÍNDULA, A. et al. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação (Mata Atlântica): comparações das curvas espectrais de sensores multiespectrais e hiperespectrais. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais....** Recife, p. 2-6, 2012.

FANCELLI, A.L. e DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: **Agropecuária**, p. 360, 2000.

FAWCETT, D. et al. Multi-scale evaluation of drone-based multispectral surface reflectance and vegetation indices in operational conditions. **Remote Sensing**, v. 12, n. 3, 2020.

FERNÁNDEZ-GUISURAGA, J. M. et al. Using unmanned aerial vehicles in postfire vegetation survey campaigns through large and heterogeneous areas: Opportunities and challenges. **Sensors** (Switzerland), v. 18, n. 2, 2018.

FERRAZ, L. C. C. B. O nematoide *Pratylenchus brachyurus* e a soja sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v. 96, p. 23-27, 2006.

FERRAZ, L. C. C. B., BROWN, D. J. F. Nematologia de plantas: fundamentos e importância. Manaus: **NORMA EDITORA**, p. 66-88, 2016. Disponível em: <http://www.nematologia.com.br/files/livros/1.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2022.

FERREIRA, M. P. et al. Analyzing the spectral variability of tropical tree species using hyperspectral feature selection and leaf 836 optical modeling. *J. Appl.* **Rem. Sens**, v. 7, p. 073502-073502, 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FERREIRA, I. C. M.; SILVA, G. S.; NASCIMENTO, F. S. Efeito de extratos aquosos de espécies de Asteraceae sobre *Meloidogyne incognita*. **Summa Phytopathologica**, v. 39, p. 40-44, 2013

FERRIS, J. M. e FERRIS, V. R. Biology of Plant-Parasitic Nematodes. In: BARKER, K.R.; PEDERSON, G.A.; WINDHAM, G.L. Plant and nematode interaction: Vistas on nematology. Madison: **American Society of Agronomy**, p. 21-35, 1998.

FIORIO, P. R. et al. Comportamento espectral de folhas da cana-de-açúcar na presença de déficit hídrico. **Irriga**, v. 23, n. 3, p. 609-621, 2018.

FISHER, I. H.; BUENO, C. J.; GARCIA, M. J. M.; ALMEIDA, A. M. Reação do maracujazeiro-amarelo ao complexo fusariose-nematoide de galha. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 223-227, 2010.

FOREST NUTRITION COOPERATIVE. Estimación de area foliar mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 5. [S. l.], **FNC Research Note**, v. 33, p. 15, 2007.

FORNASIERI FILHO, D. Manual da cultura do milho. Jaboticabal: **Funep**, p. 576, 2007.

FRANCO, A. A. N.; MARQUES, O. J.; VIDIGAL FILHO, P. S. Sistemas de produção do milho safrinha no Paraná. Milho Safrinha, **XII Seminário Nacional**, 2013.

GAMEIRO, S. T. et al. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terrae**, 13(1-2):15-22, 2016.

GAO, X; HUETE, A. R.; NI, W.; MIURA, T. Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background Contamination. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 3, p. 609–620, 2000.

GATES, David M. et al. Propriedades espectrais das plantas. **Óptica aplicada**, v. 4, n. 1, p. 11-20, 1965.

GERAGE, A.G. e BIANCO, R.A. A produção de milho na “Safrinha”. **Informe Agropecuário**, v. 14, p. 39-44, 1990.

GIORDANO, C. P. da S.; VIAN, A. L.; BREDEMEIER, C.; JESUS, M. H. de; FERRARI, L. E. Estimativa do potencial produtivo em milho em diferentes estádios fenológicos utilizando sensor ativo de vegetação. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP, **Anais...**, São Pedro - SP, Brasil, 2014.

GITELSON, A. A. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. **Jornal de fisiologia vegetal**, v. 161, n. 2, p. 165-173, 2004.

GHADERI, R. e KARSEN, G. Uma lista atualizada de *Meloidogyne Göldi*, 1887 espécies, com um compêndio de diagnóstico para juvenis e machos de segundo estágio. **Journal of Crop Protection**, v. 9, n. 2, p. 183-193, 2020.

GOMES, V. M.; SOUZA, R. M.; SILVA, M. M.; DOLINSKI, C. Caracterização do estado nutricional de goiabeiras em declínio parasitadas por *Meloidogyne mayaguensis*. **Nematologia Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 154-160, 2008.

GONÇALVES, F.M.A. et al. Importância de as interações cultivares x locais e cultivares x anos na avaliação de milho na safrinha. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.7, p.1175-1181, 1999.

GONÇALVES, S. L. e LYNCH, J. P. Raízes de plantas anuais: tolerância a estresses ambientais, eficiência na absorção de nutrientes e métodos para seleção de genótipos. **Embrapa Soja: Documentos 357**, Londrina-PR, p.67, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111485/1/Raizes-de-plantas-anuais-tolerancia-a-estresses-ambientais-eficiencia-na-absorcao-de-nutrientes-e-metodos-para-selecao-de-genotipos.pdf>. Acesso em 22 abr. 2022.

GONÇALVES, A. S. et al. Biomassa microbiana em amostras de solos secadas ao ar e reumedecidas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 651-658, 2002.

GONZÁLEZ-DUGO, V. et al. Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. **Precision Agriculture**, v. 14, N. 6, P. 660-678, 2013.

GOWDA, P. H. et al. ET mapping for agriculture water management present status and challenges. **Irrigation Science**, v. 26, p. 223 - 237, 2008.

GRODZKI, L.; CARAMORI, P.H.; BOOTSMA, A. Riscos de ocorrência de geada no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, n.1, p.93-99, 1996.

GROHS, D. S. et al. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor greenseeker. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2009.

GOULART, A. M. C. Aspectos gerais sobre nematoides das lesões radiculares (gênero *Pratylenchus*). Embrapa Cerrados-Documents (**INFOTECA-E**), 2008.

GOULART, A. M. C. Análise nematológica: importância e princípios gerais. Embrapa Cerrados-Documents (**INFOTECA-E**), 2010. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/899866>. Acesso em: 16 maio 2022.

GUERRA, R. et al. A new algorithm for the on-board compression of hyperspectral images. **Remote Sensing**, v. 10, n. 3, 2018.

HABOUDANE, D. et al. Índices de vegetação hiperespectrais e novos algoritmos para prever IAF verde de copas de culturas: Modelagem e validação no contexto da agricultura de precisão. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**, v. 90, n. 3, p. 337-352, 2004.

HAMILTON, M. G. e TARIFA, J. R. Synoptic Aspects of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil, July 1972. **Monthly Weather Review**, v.106, p.1545-1556, 1978.

HARAMOTO, R. H. et al. variabilidade espacial do índice de vegetação dinâmico de amplo alcance (WDRVI) na cultura da soja. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - **ConBAP**, 2014.

HENTZ, Â. M. K. et al. Técnicas de sensoriamento remoto para estimativa de biomassa em ambientes florestais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 2810, 2014.

HOFFER, R. M. Biological and physical consideration in applying computer aided analysis techniques to remote sensor data. In: **Remote Sensing: The Qualitative Approach**. West Lafayette, IN, McGraw-Hill, chap. 5, p. 227-289, 1978.

HORSTRAND, P. et al. A UAV Platform Based on a Hyperspectral Sensor for Image Capturing and On-Board Processing. **IEEE Access**, v. 7, p. 66919–66938, 2019.

HOSS, D. F. et al. Multispectral aerial images for the evaluation of maize crops. **Imagens aéreas multiespectrais para avaliação da cultura do milho. Agricultural Sciences Ciênc. agrotec.** p. 44, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044004920>. Acesso em: 15 de jan. de 2022.

HUETE, A. R. A. Soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25 p. 295–309, 1988.

HUETE, A. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.

HUETE, A. R.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W. V. MODIS vegetation index (MOD13) Algorithm theoretical basis Document Version 3, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771, USA. **Remote Sensing of Environment**, p. 122., 1999.

HUETE, A; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; LEWEEN, W. A. Comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n. 59, p. 440-451, 1997.

HUANG, J. et al. Evaluating an adaptive sampling algorithm to assist soil survey in New South Wales, Australia. **Geoderma Regional**, v. 21, p. e00284, 2020.

HUANG, J.; SERRA, T.; GARCIA, P. Are futures prices good price forecasts? Underestimation of price reversion in the soybean complex. **European Review of Agricultural Economics**, v. 47, n. 1, p. 178-199, 2020.

HUETE, A. R. A. Soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25 p. 295–309, 1988.

HUETE, A et al. Comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n. 59, p. 440-451, 1997.

HUSSEY, S. R. e BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. **Plant Disease Report**, v. 57, p. 1025-1028, 1973.

HUETE, A. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.

HUSSAIN, S. Land Use/Land Cover Classification by Using Satellite NDVI Tool for Sustainable Water and Climate Change in Southern Punjab. **COMSATS Univ. Islamabad**, 2018.

ICHAMI, S. M., et al. Soil spatial variation to guide the development of fertilizer use recommendations for smallholder farms in western Kenya. **Geoderma Regional**, v. 22, 2020.

INAMASU, R. Y. et al. Agricultura de Precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro. **ALICE**, 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/923976/1/Proci11.00287.PDF>. Acesso em: 20 maio 2022.

INOMOTO, M. M. Avaliação da resistência de 12 híbridos de milho a *Pratylenchus brachyurus*. **Tropical Plant Pathology**, p. 36, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tpp/a/3Q7wz3z4wMrmGzK3CD3XVzq/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2022.

INOMOTO, M. M.; SIQUEIRA, K. M.S.; MACHADO, A. C. Z. Sucessão de culturas sob pivô central para controle de fitonematoides: variação populacional, patogenicidade e estimativa de perdas. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, n. 3, p. 178-185, 2011.

INOMOTO, M. M. et al. Reação de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum* a *Pratylenchus brachyurus*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 341-344, 2007.

JANG, G. et al. Review: Cost-Effective Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Platform for Field Plant Breeding Application. **Remote Sensing**, v. 12, p. 998, 2020.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, 48: 692. 1964.

JENSEN, J. R. et al. Chapter 2: Spatial Data Acquisition and Integration, in R.B. McMaster and E. L. Usety (Eds.). *A Research Agenda for Geographic Information Science*, Boca Raton: **CRC Press**, p. 17-60, 2005.

JIANG, Z. et al. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p. 3833-3845, 2008.

JOINER, J. e YOSHIDA, Y. Satellite-based reflectances capture large fraction of variability in global gross primary production (GPP) at weekly time scales. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 291, n. 6, p. 108092, 2020.

JOHANN, J. A. et al. Estimativa de áreas com culturas de verão no Paraná, por meio de imagens multitemporais EVI/Modis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1295-1306, 2012.

JOHNSON, L. F. e TROUT, T. J. Satellite-assisted NDVI monitoring of vegetable evapotranspiration in the San Joaquin Valley, California. **Remote sensing**, v. 4, n. 2, p. 439-455, 2012.

JORDAN, C. F. Derivação do índice de área foliar da qualidade da luz no solo da floresta. **Ecologia**, v. 50, n. 4, p. 663-666, 1969.

JORGE, J.; VALLBÉ, M.; SOLER, J. A. Detection of irrigation in homogeneities in an olive grove using the NDRE vegetation index obtained from UAV images. **European Journal of Remote Sensing**, v. 52, n. 1, p. 169-177, 2019.

JONES, H. G., et al. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: Application to grapevine. **J. Exp. Bot.** 53:2249-2260, 2002.

JORGE L. A. C. et al. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In. BERNARDI, A. C. C. et al. (Ed). Agricultura de precisão. Resultados de um novo olhar. **Embrapa**, Brasília, 2014.

JÚNIOR, A. C. G. et al. Avaliação de extratores e fitodisponibilidade de zinco para cultura do milho em Latossolo Vermelho eutroférico. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 7-12, 2006.

JÚNIOR, A. C. G. Corn productivity as an answer to fertilization with NPK and Zn on eutrophic red-yellow argissol and red eutroferric latossol. **Ciênc. agrotec.** v. 31, n. 4, 2007.

JUNIOR, F. J. C. S. et al. Variabilidade espaço-temporal de meloidogyne e pratylenchus em áreas de cana-de-açúcar sob manejo de irrigação. **Nematropica**, v. 50, n. 2, p. 186-199, 2020.

JÚNIOR, G. do N. A. et al. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. **Pubvet**, v. 13, p. 148, 2018.

JUSTICE, A., et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1247, 1998.

KALLEL, A. FluLCVRT: Reflectance and fluorescence of leaf and canopy modeling based on Monte Carlo vector radiative transfer simulation. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, v. 253, 2020.

KANNING, M. et al. High-resolution UAV-based hyperspectral imagery for LAI and chlorophyll estimations from wheat for yield prediction. **Remote Sensing**, v. 10, n. 12, p. 1-17, 2018.

KARIMI, A. et al. The use of remote sensing techniques in detecting and predicting forest vegetation change using MODIS satellite data, Golestan, Iran. **American Journal of Engineering and Applied Sciences**, 11(1), p. 387-396, 2018.

KAWAMURA, K. et al. Discriminating crops/weeds in an upland rice field from UAV images with the SLIC-RF algorithm. **Plant Production Science**, v. 00, n. 00, p. 1-18, 2020a.

KAWAMURA, K. et al. Field phenotyping of plant height in an upland rice field in Laos using low-cost small unmanned aerial vehicles (UAVs). **Plant Production Science**, v. 23, n. 4, p. 452-465, 2020b.

KHANAL, S.; FULTON, J.; SHEARER, S. An overview of current and potential applications of remote thermal sensing in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.139: 22-32, 2017.

KENIA, K. B. da S. e SANTOS, M. L. F. Efeitos da irrigação com esgoto tratado sobre o sistema solo-planta (milho) e indução da supressividade a doenças causadas por nematóides. 2009. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/handle/123456789/4977>. Acesso em: 02 maio 2022.

KIRA, O. e SUN, Y. Extraction of sub-pixel C3/C4 emissions of solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) using artificial neural network. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 161, n. August 2019, p. 135-146, 2020.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas, 4^a ed., v. 2, p. 340-341, São Paulo: **Agrônômica Ceres**, 2005.

KIMES, D.S. et al. Temporal relationships between spectral response and agronomic variables of a corn canopy. **Remote Sensing Environment**, p. 401- 411. 1981.

KNIPLING, E. B. Bases físicas e fisiológicas para a refletância da radiação visível e infravermelha da vegetação. **Sensoriamento remoto do ambiente**, v. 1, n. 3, p. 155-159, 1970.

KOENNING, S. R. et al. Levantamento de perdas de colheita em resposta a nemátodos fitoparasitas nos Estados Unidos para 1994. **Journal of nematology**, v. 31, n. 4S, p. 587, 1999.

KOENNING, S. Genetics of Root Knot Nematode Resistance in Cotton Meeting Presentations. Disponível em: <https://www.cottoninc.com/cotton-production/ag-research/nematology/2007-genetics-of-root-knot-nematode-resistance-in-cotton-meeting/>. Universidade da Carolina do Norte/EUA, **Cotton Incorporated**, 2007. Acesso em: 16 maio 2022.

LARCHER, W.; DE MORAES, J. A. P. V.; BAUER, H. Adaptive responses of leaf water potential, CO₂-gas exchange and water use efficiency of *Olea europaea* during drying and rewatering. In: **Components of productivity of Mediterranean-climate regions Basic and applied aspects**. Springer, Dordrecht, p. 77-84, 1981.

LEBOURGEOIS, V. et al. Can Commercial Digital Cameras Be Used as Multispectral Sensors? A Crop Monitoring Test. **Sensores**, v. 8, n. 11, p. 7300-7322, 2008.

Li, G.; Han,W.; Huang, S.; Ma,W.; Ma, Q.; Cui, X. Extraction of Sunflower Lodging Information Based on UAV Multi-Spectral Remote Sensing and Deep Learning. **Remote Sensing**, v. 13, p. 2721, 2021.

LI, H. et al. Evaluating different non-destructive estimation methods for winter wheat (*Triticum aestivum* L.) nitrogen status based on canopy spectrum. **Remote Sensing**, v. 12, n. 1, p. 1-16, 2020.

LIMA-CUETO, F. J. et al. Usando índices de vegetação e uma plataforma de imagem UAV para quantificar a densidade da cobertura vegetal em olivais (*Olea Europaea* L.) no sul da Espanha. **Sensoriamento Remoto**, v. 11, n. 21, p. 2564, 2019.

LIMA, D. F. Efeito da irrigação na distribuição espacial de nematoides em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Diss.** Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2018. Disponível em: http://ww2.pgea.ufrpe.br/sites/ww3.pgea.ufrpe.br/files/documentos/dissertacao_-_dayane_farias_lima.pdf. Acesso em: 01 maio 2022.

LIRA, V. L e DE MOURA, R. M. *Pratylenchus coffeae* (Nematoda: Tylenchidae): um problema da agricultura nordestina. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 10, p. 143-159, 2013.

LIU, H. Q. e A. HUETE, A. Feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 33, n. 2, p. 457-465, 1995.

LOISEAU, T. et al. Could airborne gamma-spectrometric data replace lithological maps as co-variables for digital soil mapping of topsoil particle-size distribution? A case study in Western France. **Geoderma Regional**, v. 22, p. e00295, 2020.

LU, J; MIAO, Y; SHI W; LI, J; YUAN, F. Evaluating different approaches to nondestructive nitrogen status diagnosis of rice using portable RapidSCAN active canopy sensor. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1-10, 2017.

NUMATA, I. et al. Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, p. 314-327, 2007.

NUNES, R. de S. et al. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, 35:877-888, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/6MCKW6Jk7BFc5Ftm4r8sDWz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 jan. 2022.

MA, J. e LI, X. Retrieval of the ground surface reflectance along coast zone and island with MODIS image. *Natural Science*, v. 03, n. 03, p. 193–198, 2011.

MAGALHÕES, P. C. e DURÃES, F. O, M. Fisiologia da Produção de Milho. **EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Milho, Sete Lagoas, MG, 2006.

Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19620/1/Circ_76.pdf. Acesso em: 23 abr. 2022.

MAIA, L. M. Avaliação do efeito do extrato aquoso de *Chenopodium ambrosioides* L. no controle de *Meloidogyne* spp. em tomateiro e estudo do ciclo de vida e de hospedeiros de *M. konaensis*. **Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias**, (Fitotecnia), Fortaleza, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/44279/3/2019_tese_%20Immaia.pdf. Acesso em: 20 jan. 2022.

MACHADO, A. C. Z. Atuais ameaças de nematóides à agricultura brasileira. **Atual Ciência e Tecnologia Agrícola**, v. 20, n. 1, 2014.

MACHADO, A. C. Z. e INOMOTO, M. M. Host status of eighteen vegetabilis crops for *Pratylenchus brachyurus*. **Nematopica**, v. 31, p. 257-263, 2001.

MACHADO, A. C. Z.; KANEKO, L.; PINTO, S.V. Controle Biológico. In: Galbieri, R.; Belot, J. L. (ed.) *Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle*. Instituto Mato-grossense do Algodão – **IMAmt**, Cuiabá, Brasil, p. 287-312, 2016.

MACHADO, A. C. Z.; SILVA, A. S.; FERRAZ, L. C. C. B. **Métodos em nematologia agrícola**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2019.

MACHADO, A. C. Z.; VENZKE FILHO, S. de P.; INOMOTO, M. M. Reprodução de fitonematóides identificados em uma área de plantio direto em três espécies de gramíneas. **Nematologia Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 173-177, 2000.

MACHADO, L. A. et al. Patogenicidade de nematóides entomopatogênicos a ovos e larvas de *Migdolus fryanus* (Westwood, 1863) (Coleoptera: Vesperidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 72, p. 223-228, 2022.

MALAVOLTA, E. et al. Repartição de nutrientes nas flores, folhas e ramos da laranjeira cultivar Natal. **Revista Brasileira de fruticultura**, v. 28, p. 506-511, 2006.

MARÍN, J. et al. Índices de vegetação RGB, NDVI e biomassa como indicadores para avaliar gramados C3 e C4 sob diferentes condições hídricas. **Sustentabilidade**, v. 12, n. 6, p. 2160, 2020.

MAHLEIN, A. K. Plant Disease Detection by Imaging Sensors - Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping. **APS Journals**, v. 100(2): 241-251, 2016.

MALAQUIAS, C. A. A. e SANTOS, A. J. M. Adubação organomineral e NPK na cultura do milho (*Zea mays* L.). **PUBVET**, v.11, n.5, p. 501-512, 2017. Disponível: <https://pdfs.semanticscholar.org/689b/17d1066c52dd077aab19bbdcada6aba8b2d6.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.

MAPPA, **Drone Mapping Analysis**. Disponível em: <https://mappa.ag/indice-de-vegetacao-rgb-ifv->

- vari/#:~:text=J%C3%A1%20o%20%C3%8Dndice%20Resistente%20%C3%A0,cultura%20em%20uma%20determinada%20%C3%A1rea. Acesso em; 26 mar. 2021.
- MAKINO, P. A; CECCON, G; FACHINELLI, R. Produtividade e teor de nutrientes em populações de milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.18, n.2, p. 206-220, 2019
- MARTINS G. D. e GALO. M. de L. B. T. In situ spectral characterization of sugar cane infected by nematodes and *Migdolus fryanus*. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 21, n. 4, p. 783-796, 2015.
- MARIN, D. B. et al. Multispectral remote sensing in the identification and mapping of biotic and abiotic coffee tree variables. **Revista Ceres**, v. 66, n. 2, p. 142–153, 2019.
- MARTINS, G. D. nference of Nematoid infection levels in coffee culture from remote sensing data acquired in multiscale. **UNESP**, p. 121, 2016.
- MARTINS, G. D. e GALO. M. de L. B. T. Detection of infested areas by nematodes and *Migdolus fryanus* in sugarcane from rapideye multispectral images. **Revista brasileira de cartografia**, v.66, n. 2, p. 285-301, 2014.
- MARTINS, A. G. et al. Aplicação de bioestimulante em sementes de milho cultivado em solos de diferentes texturas. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 4, p. 440-445, 2016.
- MARTINS, P. H. A. et al. Estimating spray application rates in cotton using multispectral vegetation indices obtained using an unmanned aerial vehicle. **Crop Protection**, v. 140, n. June 2020, p. 1-7, 2021.
- MARTYNENKO, A. et al. Thermal imaging of soybean response to drought stress: the effect of *Ascophyllum nodosum* seaweed extract. **SpringerPlus**, v. 5, n. 1, p. 1393, 2016.
- MATTOS, C. F. B. et al. Votivo® (*Bacillus firmus*) no controle de *Meloidogyne incognita* em algodoeiro. Congresso brasileiro de nematologia, **Anais [...]**, 2015. Disponível em: <http://nematologia.com.br/files/uploads/2015/06/anaiscbn32.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.
- MATTOS, J. K. A; HUANG, S. P; PIMENTEL, C. M. M. Grupos tróficos da comunidade de nematóides do solo em oito sistemas de uso da terra nos cerrados do Brasil Central. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba-SP v. 30, n. 3, p. 267-273, 2006.
- MEDEIROS, J. C. et al. Calcium: magnesium ratio in amendments of soil acidity: nutrition and initial development of corn plants in a Humic Alic Cambisol. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.
- MEIDANI, C. et al. Cell Wall Modifications in Giant Cells Induced by the Plant Parasitic Nematode *Meloidogyne incognita* in Wild-Type (Col-0) and the *fra2* *Arabidopsis thaliana* Katanin Mutant. **International Journal of Molecular Sciences**. 2019, 20, 5465. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms20215465>. Acesso em: 20 jun. 2022.

MERCANTE, E. et al. Modelos de regressão lineares para estimativa de produtividade da soja no oeste do Paraná, utilizando dados espectrais. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 504-517, 2010.

MIOTTO, A. Calcário calcítico e dolomítico e alterações nos atributos de solos e plantas sob sistema de plantio direto. **Ciência do solo**, UFSM, 2009. Disponível: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5488/ALCIONEMIOTTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 fev. 2022.

MOGES, S. M. et al. Evaluation of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. **Journal of plant nutrition**, v. 27, n. 8, p. 1431-1441, 2005.

MORAES, V. H. et al. Detecção de respostas espectrais na soja causados por nematoides por meio de sistemas aéreos não tripulados. Dissertação (**Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia**) Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/601>. Acesso em: 20 jun. 2022.

MOURA, R. M.; OLIVEIRA, I. S. Controle Populacional de *Pratylenchus zeae* em Cana-de-açúcar em Dois Ambientes Edáficos no Nordeste do Brasil. **Nematologia brasileira**, v. 33, n.1, p. 67-73, 2008.

MOURA, M. R. et al. Nematoides Associados a Cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, Brasil. **Nematologia Brasileira**, v. 23, p. 92-99, 1999.

NÄSI, R. et al. Optimizing radiometric processing and feature extraction of drone based hyperspectral frame format imagery for estimation of yield quantity and quality of a grass sward. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - **ISPRS Archives**, v. 42, n. 3, p. 1305-1310, 2018.

NEVES, S. S. Tratamento de sementes de híbridos de milho, com produtos químicos no controle dos nematoides-chave da cultura. Dissertações - Agronomia (Produção Vegetal) - **FCAV**, 2013. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0001-7336-5025>. Acesso em: 10 jun. 2022.

NG, W. et al. Developing a soil spectral library using a low-cost NIR spectrometer for precision fertilization in Indonesia. **Geoderma Regional**, v. 22, p. e00319, 2020.

NICOL, J. M. et al. Ameaças atuais de nematoides para à agricultura mundial. In: Genômica e genética molecular das interações planta-nematoide. **Springer**, Dordrecht, p. 21-43, 2011.

NORA, D.; MARTINI, E. L.; ZANATTA, D. Analysis of the seasonal dynamics of some Atlantic Forest biome physiognomies with basis of vegetation indices derived from MODIS/TERRA. **Ambiência**, v. 6, n. 1, p. 97-108, 2010.

NUNES, R. de S. et al. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 877-888, 2011.

OERKE, E.C. Centenary Review Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 1, p. 31-43, 2006.

OERKE, E. C.; MAHLEIN, A. K.; STEINER, U. Proximal sensing of plant diseases. Pages 55-68 in: Detection and Diagnostic of Plant Pathogens, Plant Pathology in the 21st Century. M. L. Gullino and P. J. M. Bonants, eds. **Springer Science and Business Media**, Dordrecht, the Netherlands, 2014.

OLIVEIRA, C. M.; DOS SANTOS, M. A.; CASTRO, L. H. S. Diagnose de fitonematoides. **Millennium**: Campinas, p. 367, 2016.

OLIVEIRA, J. L. DA S. Efeito da nutrição na cultura do milho e os diagnósticos visuais do seu estado nutricional. **ANIMA**, Paripiranga, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/21081>. Acesso em: 10 abr. 2022.

OLIVEIRA, M. R. R. Uso de sensoriamento remoto hiperespectral na caracterização da cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). **UFC**, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/49600>. Acesso em: 20 maio 2022.

ORTEGA-FARÍAS, S. et al. Estimation of energy balance components over a drip-irrigated olive orchard using thermal and multispectral cameras placed on a helicopter-based unmanned aerial vehicle (UAV). **Remote Sensing**, v. 8, n. 8, article n. 638, 2016.

PARENTE, T. L. et al. Potássio em cobertura no milho e efeito residual na soja em sucessão. **Revista Agro@biente**, v.10, p.193-200, 2016. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/689b/17d1066c52dd077aab19bbdcada6aba8b2d6.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2022.

PARMENTER, F.C. A southern hemisphere cold frost passage at the Equador. **Bulletin American Meteorological Society**, v.57, n.12, p.1435-1440, 1976.

PAP, M.; KIRALY, S.; MOLJAK, S. Investigating the usability of UAV obtained multispectral imagery in tree species segmentation. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - **ISPRS Archives**, v. 42, n. 2/W18, p. 159-165, 2019.

PAZ, F. et al. Factor de la reflectancia bi-cónica en especies vegetales contrastantes: modelación global. **Terra Latinoamericana**, v. 36, n. 1, p. 61-73, 2018.

PEREIRA, C. S. et al. Caracteres de produção e índice ClorofiloG® de treze híbridos de milho no norte de Mato Grosso. **Agrarian**, v. 14, n. 52, p. 233-240, 2021.

PERIN, L. et al. Diazotrophic Burkholderia species associated with field-grown maize and sugarcane. **Applied and environmental microbiology**, v. 72, n. 5, p. 3103-3110, 2006.

SHIMABUKURO, Y. E. e PONZONI, F. J. **Spectral Mixture for Remote Sensing: Linear Model and Applications**. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019.

QUEIROZ, H. A. de A. Classificação da faixa litorânea através do índice de vegetação NDVI e sua correlação com a vulnerabilidade à erosão costeira. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Pernambuco. 2017.

QI, J. et al. A modified soil-adjusted vegetation index. **Remote sensing of the environment**, v. 48, n. 2, p. 119-126, 1994.

RABATEL, G.; GORRETTA, N.; LABBÉ, S. Obtaining NDVI spectral bands from a single standard RGB digital camera: a methodological approach. In: **Conference of the Spanish Intelligence Association Artificial Springer**, Berlim, Heidelberg, p. 333-342, 2011.

RABATEL, G. e LABBÉ, S. Image registration of visible and near infrared unmanned aerial vehicles based on Fourier-Mellin transform. **Precision agriculture**, v. 17, n. 5, p. 564-587, 2016.

RAEVA, P. L.; SEDINA, J.; DLESK, A. Monitoring of crop fields using multispectral and thermal imagery from UAV. **European Journal of Remote Sensing**, v. 52, n. sup1, p. 192-201, 2019.

RANDELOVIC, P. et al. Prediction of Soybean Plant Density Using a Machine Learning Model and Vegetation Indices Extracted from RGB Images Taken with a UAV. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1108, 2020.

RAIJ, B. V. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. Disponível em: http://www.etecsaosimao.com.br/_documentos/_pdf/_apoio_ao_aluno/_livros/BOLETIM_100_IAC_Completo.pdf. Acesso em: 15 abr. 2022.

RAIJ, B. V. et al. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 285p. (Boletim Técnico, 100), 1997.

RANZAN, T. Reposição de potássio e fósforo em sucessão de cultivos em solo de alta fertilidade com níveis de retirada de biomassa. **Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias**, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, p. 50, 2018. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/57096/R%20-%20T%20-%20THIAGO%20RANZAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 abr. 2022.

ROCHA, F. S. et al. Migration and reproduction of Meloidogyne incognita in two soil textures. **Nematropica**, v. 46, n. 2, p. 162-171. 2016.

ROMERO, J. M.; CORDON, G. B.; LAGORIO, M. G. Re-absorption and scattering of chlorophyll fluorescence in canopies: A revised approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 246, n. April, p. 111860, 2020.

ROSA, J. O. F. Efeito isolado e combinação de *Pratylenchus brachyurus* e *Fusarium verticillioides* no desenvolvimento de dois híbridos de milho. **Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitopatologia)** – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, p. 112, 2010.

SIMÃO, E. de P. et al. Demanda de nutrientes pelo milho safrinha em função da época de semeadura e adubação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 481-494, 2017.

RUDORFF, B. F. T. et al. Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2004/2005. **INPE, São José dos Campos**, p. 7, 2004.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3, NASA SP-351, **NASA**. Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

SAKAMOTO, T. et al. Distribuição espaço-temporal da fenologia do arroz e sistemas de cultivo no Delta do Mekong com referência especial ao fluxo sazonal de água dos rios Mekong e Bassac. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**, v. 100, n. 1, p. 1-16, 2006.

SAKAMOTO, T. et al. Detectando mudanças sazonais na estrutura da comunidade de culturas usando imagens digitais diurnas e noturnas. **Engenharia Fotogramétrica e Sensoriamento Remoto**, v. 76, n. 6, p. 713-726, 2010.

SALGADO, S. M de L.; CARNEIRO, R. M. D. G.; PINHO, R. S. C. Aspectos técnicos dos nematoides parasitas do cafeeiro. **EPAMIG**, Belo Horizonte, 2011.

SALVADOR, R. e PONS, X. On the applicability of Landsat TM images to Mediterranean forest inventories. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 104, p. 193-208, 1998.

SAMPAIO, M. I. R. et al. Análise dos índices de vegetação NDVI e NDRE em imagens obtidas por meio de sensor embarcado em um RPAS para as culturas da soja (*Glycine max*) e milho *Zea mays* irrigados. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 9, n. 4, p. 350-362, 2021.

VIANA, L. A. et al. Potencial uso de câmera termal acoplada a VANT para monitoramento de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 3, p. 286-298, 2018.

SANTOS, F. D.; WEILER, R. A.; CRUZ, J. C. Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. **Tecno-Lógica**, 25(2), 272-278. 2021.

SCHRIMSHER, D. W. et al. Nematicides increase the growth and productivity of cotton genotypes resistant to *Rotylenchulus reniformis*. **Journal of Nematology**, v. 46, n. 4, p. 365, 2014.

SHI, W. et al. Drone-assisted vehicular networks: Architecture, challenges and opportunities. *Rede IEEE*, v. 32, n. 3, p. 130-137, 2018.

SHIOGA, P.S. et al. Avaliação estadual de cultivares de milho segunda safra 2012. 1a Ed. Londrina: **IAPAR**, (IAPAR Boletim Técnico 78) 114p, 2012.

SHIRATSUCHI, L. S. et al. **Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão**. Embrapa Agrossilvipastoril-Capítulo em livro científico (ALICE), 2014.

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (**SiBCS**), Mapa de solos do estado do Paraná. 2020. Disponível em: <https://sbcs-nepar.org.br/> Mapa simplificado de solos do estado do Paraná. <https://sbcs-nepar.org.br/portfolio/mapa-simplificado-de-solos-do-estado-do-parana/>. Acesso em: 15 mar. 2022.

SIKORA, R. A. e FERNANDEZ, E. Nematodes parasites of vegetables. In: LUC, M.; SIKORA, R. A. e BRIDGE, J. (Ed.). *Plant-parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. 2nd ed. **Wallingford**: Cabi, p. 319-392. 2005.

SILVA JÚNIOR, M. C. et al. Using an aerial system of remote sensing to detect different nutritional status in *Brachiaria decumbens*. **Engenharia Agrícola**, v.33, p.1049-1062, 2013.

SILVA, S. A. et al. Lógica Fuzzy na avaliação da fertilidade do solo e produtividade do café conilon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 9-17, 2010b.

SILVA, W. T. et al. Alternativas de controle químico para capim-amargoso (*Digitaria insularis*) na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.3, p. 578-586, 2017.

SINGH, S. K. et al. Plant-parasitic nematodes of potencial phytosanitary importance, their main host and reported yield losses. **OEPP/ EPPO Bulletin**, v. 43, p. 334-374, 2013.

SOARES, R. J. S. et al. Produtividade de massa verde de milho transgênico em função do arranjo populacional na região do Cariri, CE. **Interações (Campo Grande)**, v. 18, n. 2, p. 117-127, 2017.

SOGUT, M. A. e ELEKÇIOĞLU, İ. H. Determination of *Meloidogyne Goeldi*, 1892 (Nemata: Heteroderidae) species races found in vegetable growing areas of the Mediterranean region of Turkey. **Turkish Journal of Entomology**, v. 24, n. 1, 2000.

SOUZA, E. C. A. et al. Resposta do milho a adubação com fósforo e Zn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 33, n. 7, p. 1031-1036, 1998.

SOUSA, D. M. G. de e LOBATO, E. (ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, p, 416, 2004.

STANGARLIN, J. R. et al. Defesa vegetal contra fitopatógenos. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.10, n.1, p.18 - 46. 2011.

STETINA, S. R. e ERPELDING, J. E. Accessions Resistant to. **Journal of Nematology**, v. 48, n. 4, p. 208-230, 2016.

SULTANA, S. R. et al. Normalized difference vegetation index as a tool for wheat yield estimation: a case study from Faisalabad, Pakistan. **The Scientific World Journal**, v. 2014, 2014.

TAO, H. et al. Estimation of crop growth parameters using UAV- based hyperspectral remote sensing data. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 5, 2020.

TAVARES, T. R. et al. Effects of storage on vis-NIR-SWIR reflectance spectra of Mombasa grass leaf samples. **Ciencia Rural**, v. 50, n. 3, 2020.

TELES, T. S. et al. Relationships between MODIS phenological metrics, topographic shade, and anomalous temperature patterns in seasonal deciduous forests of South Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v.36, n. 18, p. 4501 - 4518, 2015.

TELLES, T. Dinâmicas das culturas de milho e soja no Estado do Paraná. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento – **SEAB**, 2020. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Noticia/Dinamicas-das-culturas-de-milho-e-soja-no-Estado-do-Parana>. Acesso: 14 abr. 2022.

TIHOHOD, D. Guia prático para a identificação de fitonematoides Jaboticabal: **FCAV**, FAPESP, p. 246, 1997.

THAYN, J. B. e PRICE, K.P. Julian dates and introduced temporal error in remote sensing vegetation phenology studies. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 20, p. 6045 - 6049, 2008.

TODD, S. W. e HOFFER, R. M. Respostas de índices espectrais a variações na cobertura vegetal e no fundo do solo. **Engenharia fotogramétrica e sensoriamento remoto**, v. 64, p. 915 - 922, 1998.

TOMAZINI, M. D.; FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Abundância e diversidade de nematoides em áreas contíguas de vegetação natural e submetidas a diferentes tipos de uso agrícola. **Nematologia Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 185 -193, 2008.

TORINO, M. S; ORTIZ, B.S; FULTON, J. P; BALKCOM, K.S; WOOD.C. W. Evaluation of Vegetation Indices for Early Assessment of Corn Status and Yield Potential in the Southeastern United States. **Agronomy Journal**, v.106, p. 1389 - 1401, 2014.

TRUDGILL. D. L. Resistance to and tolerance of plants parasitic nematodes in plants. **Annual Review of Phytopathology**, v. 29, p. 167-192, 1991.

TSOUROS, D. C., BIBI, S., SARIGIANNIDIS, P. G. A Review on UAV based applications for precision agriculture. **Information**, v. 10, n. 349, p. 126, 2019.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

TULLIO, L. "**Aplicações e princípios do sensoriamento remoto.**" Atena, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Savio-Fontenele/publication/336026840_SISTEMA_DE_INFORMACAO_GEOGRAFICA_APLICADO_AO_PLANEJAMENTO_URBANO/links/5f72306292851c14bc9ce7a3/SISTEMA-DE-INFORMACAO-GEOGRAFICA-APLICADO-AO-PLANEJAMENTO-URBANO.pdf. Acesso em: 22 fev. 2022.

VALICENTE, F. H. et al. **Manejo Integrado de Pragas na Cultura do Milho**. Circular Técnico - 208, Sete Lagoas, MG, 2015.

VAN LEEUWEN, W. J. D; HUETE, A. R.; LAING, T. W. Abordagem de composição do índice de vegetação MODIS: Um protótipo com dados AVHRR. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**, v. 69, n. 3, p. 264-280, 1999.

VILLANI, M. M. Manejo fitossanitário na cultura do milho (*Zea mays* L.). **UNIJUÍ**, 2016.

XUE, J e SU, B. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. **Journal of Sensor**, 2017.

WANG, S; ZHANG, L; HUANG, C; QIAO, N. An NDVI-based vegetation phenology is improved to be more consistent with photosynthesis dynamics through applying a light use efficiency model over boreal high-latitude forests. **Remote Sensing**. v. 9, n. 695, 2017.

WANG, T. e THOMASSON, J. A. Plant-to-plant cotton root rot classifications by UAV remote sensing. In: Autonomous Air and Soil Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping IV. **SPIE**, p. 166 - 1702019.

WEIR J. e HERING, D. Measuring vegetation (NDVI & EVI). **NASA-Earth Observatory**, 2012.

WESSELS, K; VAN DEN BERGH, J. F; SCHOLES, R. J. Limits to detectability of land degradation by trend analysis of vegetation index data. **Remote Sensing of Environment**, v. 125, p. 10-22, 2012.

WISSUWA, M.; MAZZOLA, M.; PICARD, C. Novel approaches in plant breeding for rhizosphere-related traits. **Plant and Soil**, v. 321, p. 409-430, 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-008-9693-2>. Acesso em: 25 jan. 2022.

WONG, C. Y. et al. Tracking the phenology of photosynthesis using carotenoid-sensitive and near-infrared reflectance vegetation indices in a temperate evergreen and mixed deciduous forest. **New Phytol**, n. 226, p. 1682-1695, 2020.

YAMEEN, Q.; FARHAN ARSHAD, M.; SAQLAIN, M. Normalized Difference Vegetation Index as a Tool for Wheat Crop Coefficient and Evapotranspiration Estimation: A case study of Nankana Sahib District Pakistan. **Acta Scientific Agriculture**, v. 3, n. 10, p. 32-39, 2019.

YANG, B.; MA, J.; YAO, X.; CAO, W.; ZHU, Y. Estimation of Leaf Nitrogen Content in Wheat Based on Fusion of Spectral Features and Deep Features from Near Infrared Hyperspectral Imagery. **Sensors**, v. 21, p. 613, 2021.

YANG, K., et al. Sun-induced chlorophyll fluorescence is more strongly related to absorbed light than to photosynthesis at half-hourly resolution in a rice paddy. **Remote Sensing of Environment**, v. 216, n. 6, p. 658-673, 2018.

YUE, J. et al. Estimation of winter wheat above-ground biomass using unmanned aerial vehicle-based snapshot hyperspectral sensor and crop height improved models. **Remote Sensing**, v. 9, n. 7, 2017.

ZANELLA, C. S.; GAVASSONI, W. L.; BACCHI, L. M. A.; CARVALHO, F. C. Resistência de cultivares de algodoeiro ao nematoide das galhas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 4, p. 655 - 659, 2005.

ZANZARINI, F. V. et al. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 608-614, 2013.

ZENG, C. et al. Fusion of multispectral imagery and spectrometer data in UAV remote sensing. **Remote Sensing**, v. 9, n. 7, 2017.

ZENG, Y. et al. A radiative transfer model for solar induced fluorescence using spectral invariants theory. **Remote Sensing of Environment**, v. 240, n. January, p. 111678, 2020.

ZEWDIE, W; CSAPLOVICS, E; INOSTROZA, L. Monitoring ecosystem dynamics in northwestern Ethiopia using NDVI and climate variables to assess long term trends in dryland vegetation variability. **Applied Geography**, v. 79, p. 167-178, 2017.

ZHAO, B. et al. Simple assessment of nitrogen nutrition index in summer maize by using chlorophyll meter readings. **Front. Plant Sci.** p. 9-11, 2018.

ZHANG, M. et al. Estimation of maize yield and effects of variable-rate nitrogen application using UAV-based RGB imagery. **Biosystems Engineering**, v. 189, p. 24-35, 2020.

ZHOU, X. et al. Predicting within-field variability in grain yield and protein content of winter wheat using UAV-based multispectral imagery and machine learning approaches. **Plant Production Science**, v. 00, n. 00, p. 1-15, 2020.

