

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LARISSA DOS SANTOS LEAL

**AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E VARI NA IDENTIFICAÇÃO
FITOSSANITÁRIA DA *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE**

DOIS VIZINHOS

2021

LARISSA DOS SANTOS LEAL

**AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E VARI NA IDENTIFICAÇÃO
FITOSSANITÁRIA DA *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE**

**Evaluation of NDVI and VARI vegetation indices in the phytosanitary Identification
of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Bacharelado em Engenharia Florestal, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Raoni Wainer Duarte Bosquilia

DOIS VIZINHOS

2021



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



TERMO DE APROVAÇÃO

LARISSA DOS SANTOS LEAL

**AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E VARI NA IDENTIFICAÇÃO
FITOSSANITÁRIA DA *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Bacharelado em Engenharia Florestal, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Data de aprovação: 06 de dezembro de 2021

Orientador: Raoni Wainer Duarte Bosquilia
Prof. Doutor em Ciências Agrárias
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Membro Titular: Álvaro Boson de Castro Faria
Prof. Dr. em Engenharia Florestal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Membro Titular: Maria Madalena Santos da Silva
Prof^a. Dr^a. Em Ciências Geodésicas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DOIS VIZINHOS

2021

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre
estiveram ao meu lado em todos os momentos,
vocês sempre serão a minha luz nos dias mais
escuras.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai que me mostrou que não importa a dificuldade que estamos passando, devemos sempre manter a cabeça erguida e com um grande sorriso no rosto e uma boa música gaúcha para dançar, conseguimos vencer.

A minha mãe e melhor amiga que me ensinou, que por mais que não entendemos os propositos de Deus, devemos continuar tendo fé e acreditando que dias melhores viram, lembrando sempre do nosso lema mãe, filha, amigas, mulheres, independentes e superpoderosas.

Ao melhor irmão e minha cunhada Nilma que sempre me motivaram a seguir esse sonho e me deram o melhor presente que eu poderia querer meu afilhado Kael.

Ao meu futuro esposo, sei que nesse período nem sempre fui a melhor parceira, mas obrigada por nunca desistir de mim, graças a você estou aqui hoje.

Aos meus grandes amigos que levarei para a vida toda Isabela, Júlio e Raony, obrigado pelas conversas, risadas, puxões de orelha, minha segunda família que conquistei neste período de faculdade.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Raoni Wainer Duarte Bosquilia, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Agradeço todos os meus professores que me mostraram o caminho a seguir e auxiliando a me tornar a futura profissional que logo serei.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste momento no qual estou hoje.

RESUMO

O Sensoriamento Remoto vem sendo cada vez mais utilizado na área florestal, pois auxilia na obtenção de informações precisas, a partir de diversos tipos de sensores, junto ao avanço tecnológico com a utilização de Veículos Aéreos Não Tripuláveis (VANT), auxiliando nos mapeamentos de áreas de lavoura a áreas de vegetação nativa em diversos estudos. Com as câmeras acopladas a esse tipo de equipamento, o uso vem se estendendo cada vez mais com os sensores RGB e Multiespectrais, sendo que, com esses sensores, tornou-se possível a utilização de índices multiespectrais que avaliam a cobertura vegetal de determinada área, a partir de sua assinatura espectral. Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) são utilizados para monitoramentos de mudanças de vegetação, apontado como indicadores de crescimento e vigor em conjuntos com muitos outros índices como o Índice Resistente a Atmosfera na Região Visível (VARI), diagnosticando diversos parâmetros biofísicos com relação ao índice foliar. Foi a partir da observação desses índices que se verificou a possibilidade de identificar o vigor fitossanitário de indivíduos de *Araucária angustifolia* com o auxílio dessas tecnologias, podendo auxiliar no entendimento de remanescentes desta espécie, classificando-os em saudáveis, estressados, desvitalizados ou mortos.

Palavras-chave: *Araucária angustifolia*, Fitossanidade, NDVI, VARI.

ABSTRACT

Remote Sensing has been increasingly used in the forestry area, because it helps to obtain accurate information from various types of sensors, along with technological advances with the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV), assisting in mapping areas of crops to areas of native vegetation in various studies. With the cameras attached to this type of equipment, the use of RGB and multispectral sensors has been increasingly extended, and with these sensors it has become possible to use multispectral indices that evaluate the vegetation cover of a given area, from its spectral signature. Indices such as NDVI are used for monitoring vegetation changes, pointed out as indicators of growth and vigor in conjunction with many other indices such as VARI, diagnosing various biophysical parameters in relation to the leaf index. It was from the observation of these indices that the possibility of identifying the phytosanitary vigor of individuals of *Araucaria angustifolia* was verified with the help of these technologies, and can help in the understanding of remnants of this species, classifying them as healthy, stressed, devitalized or dead.

Keywords: *Araucária angustifolia*, Phytosanity, NDVI, VARI.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Aquisição de dados a partir de dispositivos sem contato direto com o objeto de estudo.....	19
Figura 2. Espectro eletromagnético.	21
Figura 3. Assinatura Espectral de uma folha sadia.....	23
Figura 4. Fluxograma das Etapas do Trabalho.....	35
Figura 5. Mapa de Localização Geográfica Área de Estudo.....	36
Figura 6. Mapa NDVI com 4 Classes.....	39
Figura 7. Mapa NDVI com 8 Classes.....	40
Figura 8. Mapa VARI com 4 Classes.....	42
Figura 9. Mapa VARI com 8 Classes.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Variação dos valores de NDVI e VARI para a classificação.	38
Tabela 2- Classificação a partir do valor dos pixel encontrados em conjunto com classificação de Castro-Faria (2018) – índice NDVI.	40
Tabela 3- Classificação a partir do valor dos pixel encontrados em conjunto com classificação de Castro-Faria (2018) - índice VARI.	43
Tabela 4- Levantamento de variação de valores dos índices estudados NDVI e VARI.....	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	JUSTIFICATIVA.....	15
3	HIPÓTESE	16
4	OBJETIVO	17
4.1	OBJETIVO GERAL.....	17
4.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	17
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
5.1	GEOTECNOLOGIAS	18
5.2	SENSORIAMENTO REMOTO	18
5.3	COMPOSIÇÃO RGB.....	20
5.4	COMPOSIÇÃO FALSA COR.....	22
5.5	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS (PDI)	22
5.6	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	23
5.6.1.	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	25
5.6.2.	Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI)	25
5.7	VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)	26
5.8	FOTOGRAMETRIA.....	27
5.9	PLANO DE VOO	27
5.10	PONTOS DE CONTROLE	28
5.11	ORTOMOSAICO	29
5.12	Araucária angustifolia (BERTOL) O.K.	29
5.13	LEGISLAÇÃO FLORESTAL.....	31
5.14	MANEJO FITOSSANITÁRIO	32
5.6.1.	Manejo Fitossanitário das Araucárias	33
6	MATERIAL E MÉTODOS	35
6.1	FLUXOGRAMA DAS ETAPAS REALIZADAS.....	35
6.2	LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
6.3	IMAGENS E CÂMERAS UTILIZADAS	36
6.4	PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	37
6.5	IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS INDIVÍDUOS	38
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
7.1	ÍNDICE NDVI.....	39
7.2	ÍNDICE VARI.....	42

7.3	COMPARATIVO DOS ÍNDICES	45
8	CONCLUSÃO	48

1 INTRODUÇÃO

A definição de Sensoriamento Remoto se resume a um conjunto de técnicas que possibilitam a obtenção de informação sobre alvos na superfície terrestre, através de um registro da interação da radiação eletromagnética, sendo realizado por sensores distantes.

Com o avanço tecnológico nos setores de processamento de dados, surgiram novos métodos mais abrangentes para reconhecimento aéreo de acesso mais rápidos. A partir das necessidades militares visando execução de missões aéreas não oferecendo risco a vida humana foram criados os Veículos Aéreos Não Tripuláveis (VANT), trazendo para a atualidade a utilização trouxe para a área civil e científica, sendo concebidos com a utilização de sensores para a obtenção de imagens e dados da superfície terrestre.

Com a utilização de câmeras acopladas aos veículos aéreos, vem aumentando cada vez mais o uso na área florestal e agrícola, facilitando o serviço de mapeamento, tendo os sensores RGB e Multiespectrais auxiliado nesses projetos de pesquisas.

A partir desses sensores, se tornou possível a utilização dos índices multiespectrais, que são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar a cobertura vegetal relacionando sua assinatura espectral e parâmetros mensuráveis no campo, sendo feito quantitativamente e qualitativamente (BARBOSA 2006).

Estes índices vêm sendo utilizados para o monitoramento de mudanças de vegetação, apontando indicadores de crescimento e vigor da vegetação, diagnosticando vários parâmetros biofísicos com correlação de índice foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade (PONZONI, 2001).

Com o auxílio desses índices é possível verificar o vigor fitossanitário de muitas espécies florestais como indivíduos de *Araucária angustifolia*, conhecida popularmente como araucária, pinheiro brasileiro ou pinheiro do Paraná, ocorrendo no Bioma Mata Atlântica. Por conta da Lei da Mata Atlântica n°11.428, de 22 de dezembro de 2006 que vetou a possibilidade de manejo de espécies nativas em florestas naturais, visando a conservação, foi proibido legalmente o corte de araucária no Brasil em 2001.

Por ser uma espécie em que o manejo é proibido, muitas pesquisas têm focado na vulnerabilidade dos ecossistemas destacando a importância dessas análises interdisciplinares.

Desta forma, o objetivo da presente pesquisa é o de avaliar dois índices de vegetação diferentes na identificação fitossanitária de indivíduos de *A. angustifolia* utilizando a classificação fitossanitárias criada por Castro-Faria (2018).

2 JUSTIFICATIVA

Com o passar dos anos a área de Sensoriamento Remoto vem sendo cada vez mais importante e utilizada em conjunto com as tecnologias que estão ao alcance e os índices de vegetação vem auxiliando em estudos na área ambiental, desde análise em lavoura a análise em florestas. Determinadas espécies do ramo florestal possuem poucos estudos com índices de vegetação, sendo de certa forma desvalorizadas e esquecidas do seu potencial. Assim, com o presente estudo, pode-se auxiliar na valorização e entendimento de remanescentes dessa espécie considerada tão importante para o estado do Paraná e para o Brasil.

3 HIPÓTESE

O mapeamento remoto de áreas de fragmentos de *A. angustifolia* utilizando os Índices de vegetação VARI e NDVI com imagens obtidas por meio de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) auxilia na identificação do vigor vegetativo dos indivíduos, em conformidade com um protocolo de classificação a partir da interpretação que os pinheiros podem estar saudáveis, estressados, desvitalizados ou mortos, tornando os resultados mais precisos e condizentes com a realidade da área de interesse.

4 OBJETIVO

4.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um mapeamento da área de um fragmento contendo indivíduos de *Araucária angustifolia* utilizando duas câmeras diferentes (RGB e RGN) a bordo de um Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT) e avaliar a geração dos índices de vegetação NDVI e VARI para posterior indentificação fitossanitária de cada indivíduo detectado.

4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Gerar os Índices de Vegetação NDVI e VARI da área de estudo com enfoque na identificação dos indivíduos da *A. angustifolia*;
- Realizar a classificação fitossanitária proposta por Castro-Faria (2018) usando ambos os índices;
- Comparar os resultados dos dois índices no resultado do mapeamento fitossanitário e recomendar o mais interessante para a finalidade proposta.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 GEOTECNOLOGIAS

Geotecnologias são um conjunto de técnicas relacionadas a coleta de dados para o tratamento de informações, análise e disponibilização destas informações com referências geográficas. Tais tecnologias apresentam soluções compostas por *hardware*, *software* e *peopleware*, no qual todas juntas consistem em uma ferramenta para tomada de decisão, conhecidas também por geoprocessamento (DOS SANTOS, 2009).

As geotecnologias são compostas por topografia e geodésia, fotogrametria, Sistemas Globais de Navegação Satélites (GNSS), Sistema de Informação Geográfica (GIS) e Sensoriamento Remoto (DOS SANTOS, 2009).

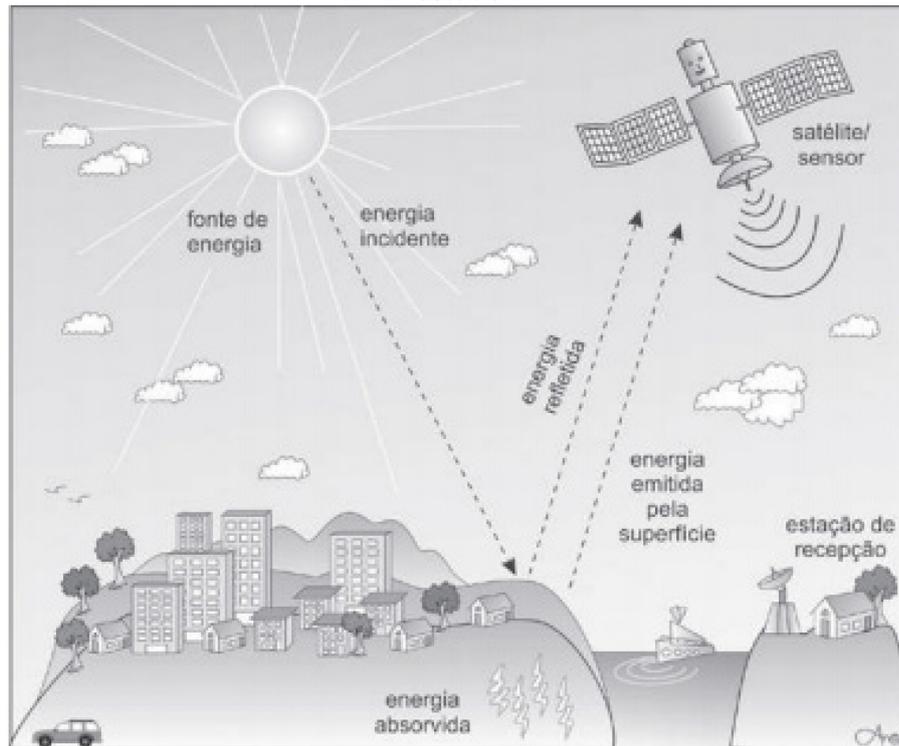
De acordo com Câmara et al. (2001) em um país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente.

5.2 SENSORIAMENTO REMOTO

A definição de Sensoriamento Remoto (SR) refere-se a um conjunto de técnicas destinado à obtenção de informação sobre objetos, sem que haja contato físico com eles, sendo esta a definição clássica de SR (NOVO, 2001; PONZONI, 2001).

Crosta (1992) define SR como o conjunto de processos e técnicas usados para medir propriedades eletromagnéticas de uma superfície, ou de um objeto, sem que haja contato físico entre o objeto e o equipamento sensor, podendo dizer que é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, através da captação do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.

Figura 1. Aquisição de dados a partir de dispositivos sem contato direto com o objeto de estudo.



Fonte: Quartaroli et al. (2014).

Os dispositivos são chamados de sensores remotos que tem a capacidade de coletar a energia proveniente do objeto convertendo em um tipo de sinal que é possível o registro e com isto apresentando de forma adequada para a extração de informações do objeto de interesse, ou seja, a aquisição destas informações sobre determinado objeto por dispositivos que não interagem em contato direto (QUARTOLI et al., 2014).

De acordo com De Moraes (2002), o termo SR pode ser entendido a partir de um conjunto de atividades que permitem a obtenção de informações dos objetos que as compõem sem a devida necessidade de contato direto com os mesmos, com isto ocorrendo a transferência de informações através da energia eletromagnética, que pode ser chamada também de radiação eletromagnética. Envolvendo uma série de etapas como detecção, aquisição e análise da energia emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos.

A função principal do processamento digital de imagens de SR é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e extração das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação (CROSTA, 1992).

Existem várias definições para o termo sensoriamento remoto, nos quais todas expressam de maneira geral a mesma ideia, sendo um sistema pelo qual se

obtem informações em relação de recursos naturais renováveis ou não-renováveis do planeta, a partir de sensores colocados em diferentes equipamentos como aviões satélites ou até mesmo em superfície (MOREIRA, 2001).

Conforme Jensen (2009) demonstra, SR trata os procedimentos de coleta e análise de dados que são usados para as aplicações nos recursos da Terra, comumente são implementados de modo sistemático que podem ser denominados a partir de processo do SR. Segundo Novo e Ponzoni (2001), os dados obtidos por SR diferem a partir do tipo de informação necessária, do tamanho e da dinâmica dos objetos ou do fenômeno que se é estudado, esta aquisição de dados é viabilizada através de instrumentos denominados sensores se diferenciando na forma de funcionamento e por sua capacidade (resolução espacial, espectral e radiométrica).

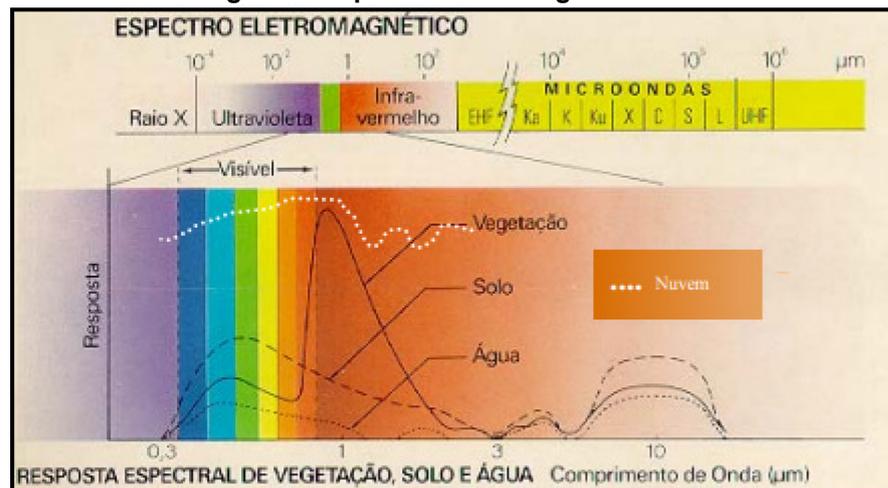
Conforme Kalaf et al. (2013) aborda o SR constitui como uma determinada ferramenta de suma importância em estudos, pesquisas e em monitoramento de fenômenos ambientais, sendo que está inserido no mesmo ramo da ciência. Seus diversos recursos permitem realizar levantamentos periódicos, tornando possível esta utilização e diversas temáticas e monitoramento de fenômenos que ocorrem na superfície terrestre.

5.3 COMPOSIÇÃO RGB

Conforme De Moraes (2002), a radiação quando é disposta de acordo com o comprimento de onda, sendo esta a distância entre duas cristas consecutivas de uma onda, formam um arranjo que é contínuo sendo chamado de espectro eletromagnético.

Novo (1989) diz que a energia eletromagnética pode ser ordenada de uma forma contínua, por conta do seu comprimento de onda ou de sua frequência, chamada de espectro eletromagnético, apresentando subdivisões conforme as características de cada região, esta subdivisão é por conta do tipo de processo físico que dá origem a energia, ou seja, o tipo de interação que ocorre entre a radiação e objeto que incide e transparência da atmosfera em relação a radiação.

Figura 2. Espectro eletromagnético.



Fonte: De Moraes (2002).

O comprimento de onda mais familiar e conhecido é a faixa de luz visível da radiação solar, pois é esta que o olho humano é capaz de detectar, este intervalo foi descomposto pela primeira vez por Isaac Newton em 1766, com a utilização de um prisma de vidro no qual atravessou luz branca pelo prisma (dispersão) e esta emergiu pelo outro lado do prisma com raios de luz coloridos (MENESES, 2012). Segundo Brys (2008), a uma variação na proporção que os objetos terrestres como vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem está radiação eletromagnética, por conta do comprimento de onda de acordo com as características bio-físico-químicas, sendo estas variações representadas por curvas.

Para o entendimento sobre a visão das cores foram criadas diversas teorias, sendo a mais aceita a que demonstra que existem três tipos de cones que são sensíveis a luz vermelha, verde e a luz azul, sendo que a luz branca ao incidir ao olho nu estimularia todos os receptores. Com isto é possível entender que a luz vermelha estimularia apenas sensores receptivos a aquela radiação, por conta disso provoca a percepção visual da cor vermelha (BRYs, 2008).

Silva et al. (2002), diz que a definição de composição colorida consiste a partir da combinação de 3 bandas espectrais para a formação desta composição, a combinação consiste na seleção de informação espectrais que sejam desejadas para determinado objetivo, outro detalhe é a necessidade de selecionar as cores corretas para que se tenha uma melhor percepção ao olho humano, mesmo que as informações que estejam em uma imagem sejam sempre as mesmas, não levando em conta a combinação de bandas e escolha das cores.

Soares et al (2015), afirma que o processo de fusão de imagens de SR poderá ser efetuado tanto com bandas de um mesmo sensor, tanto com bandas de diferentes sensores, sempre levando em consideração a melhoria na qualidade das imagens no resultado final.

5.4 COMPOSIÇÃO FALSA COR

De acordo com Soares et al. (2015) a composição colorida e falsa cor, são as combinações de 3 bandas espectrais para a formação de uma composição colorida sendo esta a que o olho humano consegue captar denominada RGB, enquanto a falsa cor é a partir da composição de três imagens independentes em padrões de cinza, ou seja, contendo informações espectrais fora do intervalo sensível ao olho humano.

Segundo Crosta (1992) a origem dessa combinação veio no período da 2ª Guerra Mundial quando foi desenvolvido o filme colorido infravermelho, com o objetivo de separar a camuflagem dos soldados da vegetação verdadeira.

As imagens coloridas, como mencionado anteriormente, são compostas por 3 diferentes canais de imagens em tons de cinza (vermelho, verde e azul), já na imagem falsa cor no infravermelho ocorre um falso deslocamento no espectro eletromagnético da imagem incluindo assim o registro no infravermelho na imagem visível, com isso ocorre a exclusão do canal azul, sendo este o extremo oposto do espectro eletromagnético no visível em relação ao infravermelho, originando a composição RGN (CROSTA, 1992).

5.5 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS (PDI)

Segundo Spring (1996), entende-se que Processamento Digital de Imagens (PDI) vem a partir da manipulação de determinada imagem por um computador de maneira que a entrada e saída do processo sejam imagens, geradas a partir de um *software*.

Brys (2008), diz que o principal objetivo do processamento digital de imagens é remover barreiras dependentes ao sistema visual humano, de uma forma que facilita a extração de informações a partir das imagens, sendo considerado um estágio preparatório, na maioria das vezes sendo obrigatório nas atividades de interpretação das imagens de SR. De acordo com Crosta (1992) resolução em SR

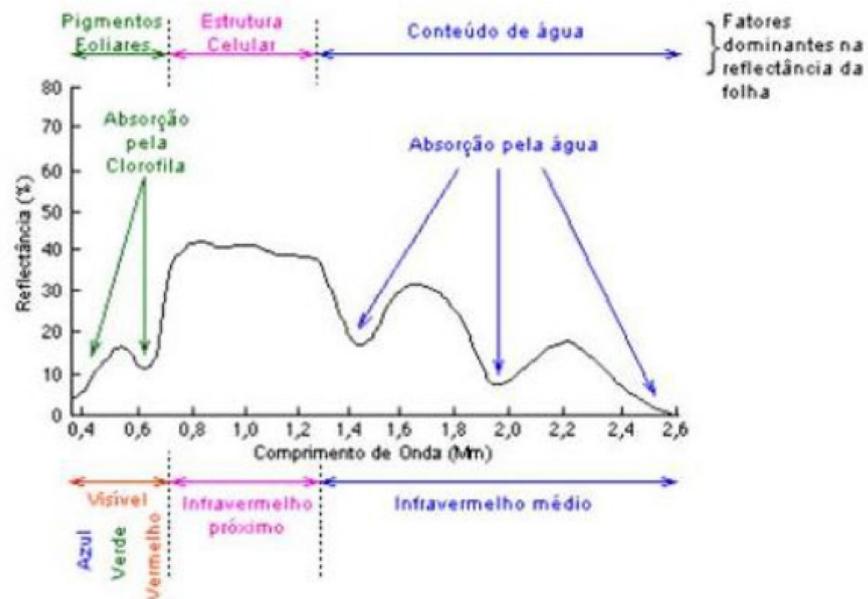
se abre para três diferentes e independentes parâmetros: resolução espacial, espectral e resolução radiométrica.

Uma das etapas importantes no PDI consiste na execução de operações matemática nos dados, no qual visa a transformação das imagens para uma melhor qualidade espectral e espacial, sendo que é determinada a partir de sua aplicação, mostrando que o PDI de sensoriamento é determinado de uma maneira de acordo com cada tipo de problema (MENESES, 2012).

5.6 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Cada objeto possui um comportamento espectral específico que pode ser definido como um conjunto de valores sucessivos da reflectância ao longo do espectro, ou seja, é a assinatura espectral do objeto eletromagnético, sendo esta que define as feições deste, no qual a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção é o que caracteriza o objeto, este conhecimento do comportamento espectral é de suma importância para a escolha do espectro sobre qual pretende adquirir os dados para uma aplicação específica (AGENCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2008).

Figura 3. Assinatura Espectral de uma folha sadia.



Fonte: Marcussi et. al. (2010).

De acordo com De Moraes (2002), uma vegetação considerada sadia irá apresentar uma alta absorção de energia eletromagnética, na região denominada do espectro visível, esta é capturada pela clorofila para a realização da fotossíntese, dentro do espectro a absorção é mais fraca na região que caracteriza a coloração da vegetação, devido a estrutura celular ocorre uma alta reflectância no infravermelho próximo (até 1,3 μm), no qual é a partir deste comprimento de onda mostra que existe água na vegetação modulando assim as bandas de absorção no comportamento espectral presente.

Segundo Barbosa (2006) tais índices são modelos matemáticos que foram desenvolvidos para a avaliação de cobertura vegetal que relacionam os parâmetros que podem ser mensuráveis a campo, tanto quantitativamente como qualitativamente.

Marcussi et. al. (2010), demonstra que as análises da vegetação e detecção de mudanças nas mesmas tem o intuito de fazer uma avaliação dos recursos naturais e ao mesmo tempo monitorar a cobertura vegetal, com isto a detecção qualitativa da vegetação acaba se tornando uma das principais aplicações do SR na área de gerenciamento ambiental, para auxiliar nesse estudo são utilizados índices de vegetação (IV).

Os parâmetros biofísicos da vegetação veem sendo modelados por cientistas desde a década de 1960 com o uso de dados de SR, no qual foi envolvido o uso de IV, que podem ser definidos por medidas radiométricas adimensionais que indicam a abundância relativa e atividade da vegetação sadia, com a inclusão do Índice de Área Foliar (IAF), teor de clorofila, porcentagem de cobertura verde, radiação fotossintética ativa absorvida (em inglês é utilizado as siglas RFAA OU APAR) e biomassa verde (JENSEN, 2009).

Ponzoni (2001) mostra que o resultado da cobertura vegetal é um processo que envolve parâmetros e fatores ambientais, sendo determinado de um produto de SR, sendo medido por sensores remotamente situados, que acabam incluindo interferências de vários fatores como o espalhamento atmosférico, as características das folhas como a do dossel, fonte de radiação, teor de umidade do solo, sobre que ocorrem interferência da reflectância do solo, entre outros fatores que podem estar presente, por conta disso deve se levar em conta estes fatores, sendo as características intrínsecas.

5.6.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Eastman (1998), cita que o Índice Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi proposto por Rouse et al. (1974), no qual foi introduzido para realizar um IV sendo que auxilia na separação da vegetação do solo de fundo.

Segundo Meneses (2012), NDVI envolve a diferença e a soma entre estas duas bandas do infravermelho próximo e do vermelho, de acordo com a Equação 1.;

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: *NDVI* = Índice de vegetação da diferença normalizada;
NIR = Valor médio da banda do infravermelho próximo;
R = Valor médio da banda do vermelho.

O NDVI se torna importante devido as mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento de determinada espécie ou vegetação, podem ser monitoradas minuciosamente, esta equação produz valores de índices que variam de -1,0 a 1,0, sendo que estes valores positivos crescentes indicam aumento de vegetação verde e os valores negativos indicam superfícies sem vegetação, ou seja, em uma floresta sadia os valores estarão positivos e próximos de 1,0 (JENSEN, 2009).

De acordo com De Moraes (2002), é o IV mais apropriado quando o trabalho exige uma comparação ao longo do tempo de uma única área, com este índice se espera obter menor influência pelas variações das condições atmosféricas, pode-se realizar trabalhos com diversos aspectos da vegetação como: estimativa a radiação fotossintética ativa, que são utilizados para estudo de fotossíntese e sequestro de carbono, determinação de porcentagem de cobertura de solo, medidas de área foliar, etc.

5.6.2. Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI)

O Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) é baseado na variabilidade de vigor e estresse da planta, seguindo o pressuposto do desenvolvimento foliar de uma cultura de determinada área (ABRAHÃO et al., 2009).

Com isto o índice VARI é utilizado para complementar diversas pesquisas que utilizam outros índices vegetativos nos quais consideram as faixas do infravermelho próximo em sua fórmula como o NDVI, pois são estas fórmulas que estão mais aplicadas a procedimentos no geoprocessamento (FREIRE SILVA et al., 2019).

Gitelson et al (2002) ao se basear em índices anteriores, propôs o VARI (Visible Atmospherically Resistant Index), no qual mesmo possui as faixas do visível foi projetado a introdução de correção atmosférica para melhorar os respectivos produtos (Equação 2).

$$VARI = \frac{(R_g - R_r)}{(R_g + R_r - R_b)} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: R_g , R_r e R_b são respectivamente as refletâncias das bandas verde, vermelho e azul.

5.7 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

De acordo com Xavier (2013), conforme as tecnologias vem se desenvolvendo, acabou oportunizando métodos eficiente na coleta de dados e especialização destas informações que são obtidas a partir do geoprocessamento, com todos os dados terrestres que se tem nos dias atuais em conjunto com dados orbitais vem se aumentando cada vez mais a possibilidade de mapas com escalas e níveis mais detalhados, permitindo além disso o imageamento de determinada área em um curto espaço de tempo, porém estas aquisições se tem um custo altamente elevado, com isto necessitando de alternativas mais viáveis e econômicas.

A necessidade de se construir aeronaves não tripuladas teve início visando a execução de missões aéreas que não ofereceriam nenhum risco a vida humano, com isto os militares começaram a desenvolver protótipos, em meados de 1888 estas aeronaves tiveram excelentes desempenhos nos campos de guerra e atualmente sendo utilizado no monitoramento em diversas áreas de interesse (Longhitano,2010).

Xavier (2013) e Armada (2004) definem o VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) uma aeronave de pequeno porte, que apresentam vantagens técnicas,

com isto trazendo um avanço tecnológico nos setores de processamento de dados, a partir de componentes ocorridos nas últimas duas décadas se tornando um mercado na plataforma aérea de forma inovadora do segmento de levantamento e relativamente barata.

Conforme Alves (2011) o VANT é considerado a aeronave que tenha capacidade de executar voos sem a necessidade de piloto embarcado, ou seja, voos autônomos com trajetórias previamente programadas, com isto sem remotamente pilotada.

5.8 FOTOGRAMETRIA

De acordo com Ray (1963), a fotografia é considerada um registro instantâneo, dos detalhes do terreno que se determina a partir da distância focal da lente da câmera, filme e filtros usados, altura do voo no momento da exposição, sendo esta fotografia uma perspectiva geometricamente relacionada com o tipo de câmera a ser utilizada, podendo ser vertical ou oblíqua.

A Fotogrametria é a ciência, arte e tecnologia que visa obter informações de confiança sobre objetos e do meio ambiente a partir de processos como registro e medições interpretações das imagens fotográficas (ASP, 1966).

Segundo Temba (2000), pode-se utilizar várias técnicas de exames de fotos conseguir as informações desejadas, sendo estes conhecidos como fotointerpretação, sendo técnicas independentes como foto-leitura, foto-análise e foto-dedução. No qual possui fatores básicos de interpretação, sendo estes elementos de reconhecimento possuindo a forma, o tamanho, padrão, textura e tonalidade.

5.9 PLANO DE VOO

O voo fotogramétrico possui a finalidade de obter a cobertura aerofotogramétrica da área, obtendo as feições de toda a área em modelos estereoscópicos, obtidos a partir da sobreposição de duas fotografias sucessivas (PINA e SANTOS, 2000).

Gonçalves (2010) comenta que a prática do procedimento está relacionada a determinadas limitações, que restringe ao tempo de realização do voo, trazendo parâmetros técnicos como distância focal, recobrimento lateral, recobrimento

longitudinal e altura do voo, são esses parâmetros que caracterizam a natureza fotogramétrica da operação.

Os voos devem ser planejados em uma determinada escala, atendendo as demandas de reconhecimento e o mapeamento final do projeto, sendo este levantamento realizado por faixas (PINA e SANTOS, 2000). De acordo Reis, Tommaselli e Ruy (2006), a partir dos recursos são calculados os elementos necessários para a preparação do mapa de voo, esse orientara a equipe para execução do voo.

No recobrimento da área, ocorrerá que o VANT seguirá em um determinado sentido durante o voo, retornando em seguida em sentido oposto, em faixas pré-determinadas, paralelas e de espaçamento igual, para cada faixa de voo é tirado uma determinada quantidade de fotografias para compor uma sequência de pares que serão empregados (ORTH, 2008).

5.10 PONTOS DE CONTROLE

Para apontar a precisão de um determinado levantamento fotográfico, este deve ser levado em conta o conhecimento da posição da câmera no instante da captação das imagens. Os pontos de controle são considerados as coordenadas conhecidas que iram auxiliar o software a calcular com precisão a posição, com isto apontando uma maior exatidão, transformando assim em produtos mais confiáveis e com os dados os mais próximos da realidade (JANUÁRIO, 2019).

Para o levantamento de pontos de controle, pode-se considerar dois modelos, sendo eles o alvo natural e o alvo artificial. O alvo natural é encontrado no próprio solo, como objetos já instalados bueiros, pedras grandes, meio-fio, ou qualquer outro objeto que é possível ter o seu centro devidamente identificado nas fotos tiradas pelo RPA, deve-se priorizar pontos mais nivelados possíveis, para aumentar a eficácia de seu uso. O alvo artificial é materializado no solo antes de ocorrer o levantamento, existem vários modelos de alvos artificiais, os materiais utilizados são madeira, metal, plástico entre outros (MONICO, 2009).

Segundo Zanetti (2017), é encontrando alguns problemas recorrentes na geração das ortofotos, sendo que a falta de análise efetiva do número e distribuição dos pontos de controle, por esse motivo é importante destacar a influência de tal análise.

5.11 ORTOMOSAICO

O mosaico é definido como o conjunto de fotos de escala aproximada, de uma determinada região, recortada e montada, a montagem de um mosaico é um passo de fundamental importância na produção de uma ortofoto de boa qualidade (ANDRADE, 1998).

O ortomosaico corresponde ao mosaico das ortofotos, este é obtido a partir das imagens retificadas diferencialmente, este produto é mais complexo do que apenas o mosaico, pois este que é gerado tem todas as características geométricas de uma carta com vantagens de conter as informações radiométricas de uma imagem (HASEGAWA e ARRUDA, 2004).

De acordo com o grego surgiu o prefixo orto com o significado de correto, e mosaico remete a um determinado padrão visual ou imagem composta por várias outras imagens (podendo ser chamado de cenas), ou seja, desse modo é um mapa composto por diversas ortofotos unidas em uma única representação. A ortofoto é basicamente uma fotográfica que passa por correções de distorções, como o deslocamento e a inclinação presentes no momento da captura da foto (SOPCHAKI, 2018).

5.12 *Araucária angustifolia* (BERTOL) O.K.

Segundo Reitz & Klein (1966), a derivação da palavra *Araucária* vem de Araucó, que vem de origem localizado no Chile que surgem a denominação do gênero botânico, enquanto *angustifolia* possui a origem do latim *angustus*, com significado de estreito, pontudo e por último *folium* é a denominação de folha, esta espécie que é uma conífera arbórea, dioica, com crescimento monopodial, sendo capaz de atingir uma altura de 52 m e 8,5 m de diâmetro, possuindo estruturas unissexuais.

Araucaria angustifolia (Bertol) O. K. é vulgarmente conhecida como araucária, pinheiro do Paraná ou pinheiro brasileiro, sendo considerada uma das espécies nativas do Brasil mais importante da região Sul, encontrando-se também em determinadas regiões de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito

Santo na forma de pequenos fragmentos isolados, principalmente em locais com temperaturas mais baixas e terrenos mais altos (ZANETTE et al, 2017).

Conforme relata Rogge-Renner et al. (2017), *A. angustifolia* é considerada uma das espécies com maior interesse econômico do Sul do Brasil, sendo uma valiosa fonte de vários produtos madeireiros e não madeireiros, possuindo madeira em tora e sua semente (popularmente chamada de pinhão) sendo consumida pela fauna silvestre e seres humanos.

De acordo com Castro-Faria (2018), a espécie conífera *Araucária angustifolia* (Bertol.) O. K. entra na lista de uma das principais espécies da flora brasileira, voltando ao seu valor cultural, ambiental e econômico, no qual o aproveitamento da mesma foi fundamental para a evolução do Estado do Paraná. Pelo seu grande valor madeireiro no final do século XX a exploração da madeira quase levou à beira da extinção, por conta disso atualmente a espécie está incluída na lista oficial de espécies ameaçadas de extinção (BRASIL, 2008).

Segundo Guerra et al. (2008) a exploração descontrolada gerou resultados negativos, com isto sendo incluída na categoria de espécies ameaçadas, em função da vulnerabilidade da espécie, as populações de remanescentes naturais necessitam ser conhecidas e estudadas, de uma maneira que se consiga produzir informações que promovam sua conservação *in situ*.

Conforme Castro-Faria (2019), as pesquisas em relação a vulnerabilidade dos ecossistemas vêm ganhando grande importância no meio científico, com isto destacando a importância das análises interdisciplinares, objetivando o monitoramento de padrões e tendências da mortalidade como um dos fatores o clima.

Segundo Zanette et al. (2017), a espécie é uma arvores de vida longa, sendo que pode viver de 200 a 300 anos, chegando a uma altura média de 20m a 25m, podendo atingir alturas maiores de acordo com as condições e ambiente que está.

Conforme Castro-Faria (2018), a araucária é uma arvore que pode se desenvolver em ambientes sombreados ou com mais incidência de luz, conforme o sítio que está localizado expressa métodos de crescimento diferentes. Para Zanette et al. (2017), pinheiros que estão em locais com uma maior quantidade de espécies arbóreas estimulam a competição por conta disto atingindo alturas maiores,

enquanto isto pinheiros isolados, por conta de seu desenvolvimento livre acabam tendo alturas relativamente menores.

5.13 LEGISLAÇÃO FLORESTAL

Sparovek et al. (2011) apresenta que o Brasil, mesmo na época de colônia, possuía regras para reduzir a extração dos recursos naturais, porém estas regras beneficiavam apenas a coroa portuguesas de modo a proteger a mesma, reduzindo assim a extração por terceiros, mantendo total domínio sobre a exploração, desse modo não possuindo intuito da proteção da flora e fauna, mas sim mantendo o monopólio da coroa em relação a exploração.

De acordo com Praes (2012) o primeiro governo a promover um código ambiental foi o de Getúlio Vargas em 1934, editado pelo Decreto Federal nº 23.793, surgindo mediante aos desmatamentos gerados pela produção de café e criação de gado.

Este Decreto trazia que proprietários de terras sem exceções poderiam abater mais de três, quartas partes da vegetação existente, definindo também o conceito de florestas protetoras (Art. 23, Art. 4, Decreto Federal 23.793/1934).

O conceito de Área de Preservação Permanente (APP) é similar ao de florestas protetoras, porém este conceito na época não trazia a margem de florestas a serem preservadas.

Nesse sentido, a partir da década de 1960, com os movimentos ambientalistas, esse conceito começou a ganhar força perante a população, sendo em 15 de setembro de 195 que foi revogado o Decreto Federal nº23.793/1934, passando a obter normas para a preservação do meio ambiente em propriedades rurais e urbanas privadas (Lei Federal nº4.771/1965), devendo o proprietário rural deverá destinar parte de sua terra a, manutenção da vegetação, sendo ai que surgiu o termo de Área de Preservação Permanente e Reserva Legal.

O Código Florestal de 1965 foi o pontapé inicial para as definições de APPs, estabelecendo devidamente suas distâncias e os limites de Reserva Legal, com 50% de reserva para áreas de florestas da Amazônia e 20% para demais regiões do país (Lei nº4.771/1965).

A reformulação do Código Florestal se deu a partir dos altos índices de desmatamento na Amazônia nos anos de 1994 e 1995 (INPE), por conta disto no

governo de Fernando Henrique Cardoso, início a modificação de Lei 4.771/1965, impondo uma Medida Provisória de nº 2.166, esta medida sofreu diversas alterações até o ano de 2001.

A Lei de Crimes ambientais surgiu em 1998, com a função de punir as propriedades que estivesse em desconformidade com as normas do Código Florestal de 1965 (Lei nº 6.514/1988), este decreto foi editado em 2008 que além de Crimes Ambientais, estabelecia sanções administrativas e penais.

Porém, foi apenas em 2011 que começou a tramitar pela Câmara dos Deputados a aprovação de revisão para o código florestal, prosseguindo para a aprovação no Senado, seguiu novamente para a Câmara Dos Deputados, aprovado no dia 25 de abril de 2012, obtendo mudanças como os percentuais de Reserva Legal (80% para florestas da Amazônia, 35% do Cerrado e 20% para as demais regiões), entre outras mudanças como os limites de APP havendo redução nos limites protegidos, além de que as multas previstas, conforme adesão de um Termo de Ajustamento de Condutas (TAC) as mesma ficariam suspensas, desde que o proprietários recompôs-se toda a vegetação desmatada. (Lei 12.651/2012).

Foi em 2006 que se destacou a Lei da Mata Atlântica, onde o foco principal eram remanescentes de diversas fitofisionomias, sendo parte dessas a Floresta Ombrófila Mista (FOM), no qual apenas descendentes de secundários de fase inicial poderiam ser permitidos para exploração (Lei 11.428/2006). Por conta da Portaria do MMA 443/2014 considerou-se que a *A. angustifolia* estando agora considerada com a classificação de “Em Perigo (EM)”. Resolução CONAMA (art. 1. 278/2001) suspendeu as autorizações para corte e exploração de espécies ameaçadas de extinção, na população natural do Bioma Mata Atlântica, até realização de critérios técnicos, que garantam a sustentabilidade da exploração e a conservação genética.

Segundo Castro-Faria (2018) são necessários maiores estudos para a valorização ambiental da *A. angustifolia*, visando subsidiar um Plano de Ação Nacional (PAN), para realização da conservação de pinheiros isolados ou em ambientes naturais.

5.14 MANEJO FITOSSANITÁRIO

O manejo fitossanitário se baseia na prevenção, nos quais criam condições que desfavorecem o surgimento de doenças e pragas nas plantas cultivadas. Como

o próprio nome já diz fitossanitário é a medida para preservação ou defesa dos vegetais (EMBRAPA, 2012).

De acordo com Buzzato (2018) a espécie Araucária angustifolia vem sendo muito debatida, desde que foram homologadas restrições legais proibindo assim seu manejo, pois a mesma é considerada ameaçada de extinção.

Castro-Faria (2018) apresenta que para o Serviço Florestal, os norte-americanos reconhecem a necessidade de plantas saudáveis para não serem atacadas por vetores, extraíndo o conceito de Bem-Estar dos ecossistemas.

5.6.1. Manejo Fitossanitário das Araucárias

Rosot (2007) propõe que apresentar um modelo de manejo para Floresta Ombrófila Mista é extremamente complicado, pela multiplicidade e fragilidade dos ecossistemas que estão envolvidos, através dos fatores e variáveis, além das faltas de parâmetros técnicos suficiente por experiências anteriores.

Soares e Mota (2004) apresenta que diversos fatores influenciam no crescimento, como a duração da planta, estado de desenvolvimento, considerado, temperatura luz, umidade, ventos, geadas, pragas etc., no qual a competição por recursos irá influenciar nesse crescimento, sendo as espécies que crescem dentro da mata possuem alturas superiores e espécies que crescem em ambiente aberto irão crescer mais em diâmetro.

Muitos fatores podem causar o estresse nos pinheiros, sendo estes observados por sinais, como feridas causadas por facões, podendo alcançar o cambio da casca, fazendo como que a planta reaja buscando se recuperar, estas feridas deixar as plantas mais susceptíveis a presença de vetores (CASTRO-FARIA, 2018)

Alguns estudos apontaram que árvores com feridas abertas, exalam substâncias químicas como álcoois e fenóis que irão atrair certos tipos de besouros (PEDROSA-MACEDO et al., 1985).

Outros processos naturais podem acarretar estresse nos indivíduos, também atraindo pragas, ocorrendo danos desde queda foliar, amarelamento, descamação de tronco, murcha foliar, causadas por interação de patógeno e hospedeiro. Castro-Faria (2018), determinou uma classificação quanto ao estado de saúde fitossanitário

dos pinheiros podendo estar saudáveis, estressadas, desvitalizadas ou mortas, no qual uma árvore adulta podendo estar ou não desvitalizada.

Gentilesca et al (2017) defende que a remoção de indivíduos e operação de podas, estas práticas auxiliam na resistência das florestas naturais, aumentando assim os serviços ecossistêmicos das florestas, desse modo o manejo fitossanitário dispõe de técnicas silviculturas para alcançar os objetivos.

Conforme apresentado por Hartmann *et al* (2018b) se faz urgente a necessidade de se apresentar conceitos e critérios de classificação para as árvores mortas, como outras já trouxeram essa necessidade de classificação, pois os conceitos já existentes são quanto ao estágio de desenvolvimento. Os estágios de maturação são eles estágio inicial de desenvolvimento, juvenil não madura, juvenil-madura e madura. Mas um ponto interessante que Castro-Faria (2018) apresenta é que podemos apontar que uma Araucária possui uma expectativa de vida indefinida, caso não possua agentes que sejam capazes de ocasionar o seu estresse, este apresenta a classificação dos pinheiros quanto ao estado de saúde fitossanitário, propondo uma classificação de fácil interpretação, no qual os pinheiros podem estar saudáveis, estressados, desvitalizados ou mortos, ou seja, uma árvore adulta poderá ou não estar desvitalizada ou morta.

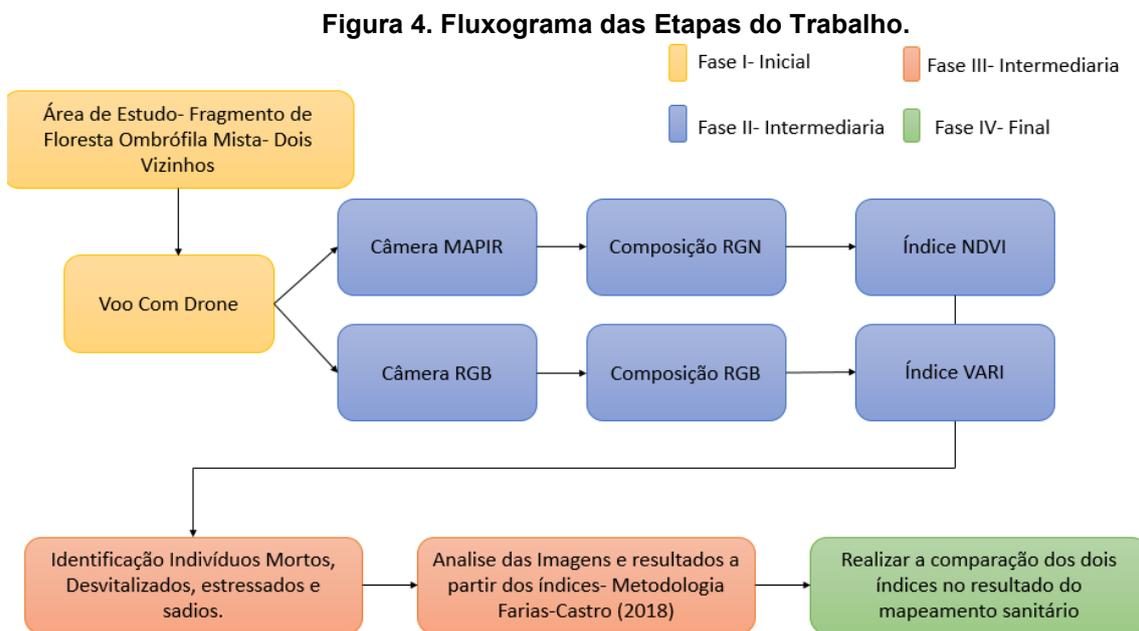
O autor Manion (1991) descreve que diversos fatores interagindo, podem causar a deterioração e a morte das árvores, sendo esta chamada de Síndrome do Declínio, levando ao estresse crônico e com isto resultando em sinais e sintomas parecidos. Castro-Faria (2018) aponta que o declínio ocorre geralmente em árvores fisiologicamente maduras, pelo fato de seu vigor vegetativo estar mais presente na fase juvenil, podendo este ser visualizado pela queda da biomassa verde da copa de árvores maduras.

Por este motivo auxiliando no manejo fitossanitário de indivíduos de *A. angustifolia* Castro-Faria (2018) criou um protocolo de avaliação, para a identificação de indivíduos desvitalizados ou mortos, recomendado para utilização em indivíduos maduros, verificando a partir da queda foliar nas copas dos pinheiros.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 FLUXOGRAMA DAS ETAPAS REALIZADAS

As fases propostas para a realização do trabalho estão organizadas em forma de fluxograma (Figura 4), apresentando assim de forma resumida e simplificada a fim de demonstrar o passo a passo das atividades que foram realizadas.

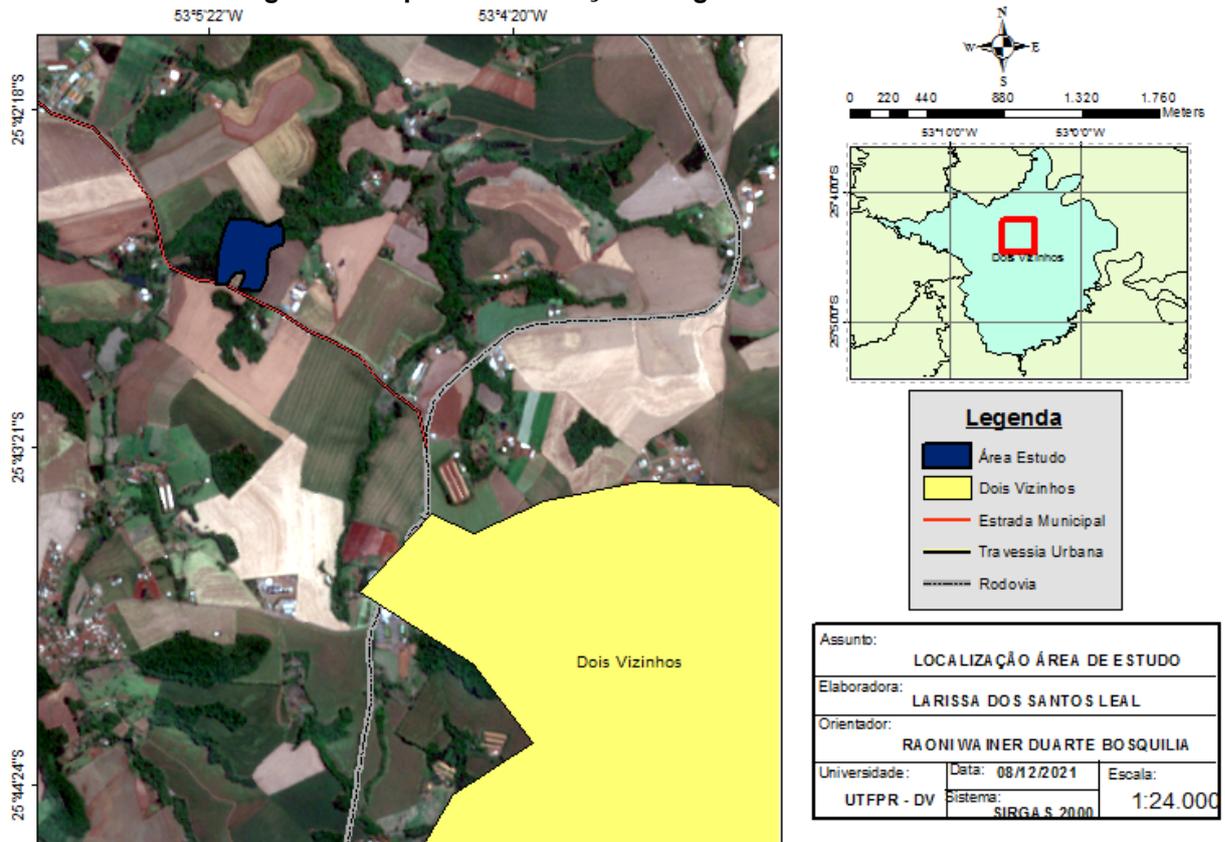


Fonte: O Autor (2021).

6.2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para realização do presente trabalho está localizada próximo ao Campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR- Dois Vizinhos, no município de mesmo nome, com localização geográfica nas coordenadas de Latitude 25°42'46.80"S e Longitude 53° 5'15.52"O (Figura 5).

Figura 5. Mapa de Localização Geográfica Área de Estudo.



Fonte: Autor (2021).

A área de estudo é um remanescente de Floresta Ombrófila Mista, possuindo um perímetro total de 23,4 hectares, no qual foi realizado um voo por veículo aéreo não tripulado (VANT), sendo imaginado uma área de 11 hectares.

A delimitação de apenas uma parte deste remanescente se dá pelo fato deste local possuir a maior concentração de indivíduos de *Araucária angustifólia*.

6.3 IMAGENS E CÂMERAS UTILIZADAS

Para o presente estudo realizou dois planos de voo de VANT com recobrimento longitudinal e lateral de 80% no aplicativo MapPilot, sendo um para a Câmera RGN (câmera MAPIR 3W RGN) e outro para a Câmera RGB (sensor original do VANT DJI Mavic PRO), gerando no final do processo um mosaico ortorretificado para cada câmera utilizada.

A partir da coleta das imagens e processamentos dos dados coletados, obteve-se um mapa, em ambiente SIG, no qual se tornou possível realizar a aplicação dos índices de vegetação já pré-determinados.

As câmeras com sensor RGB obtêm fotografias com coloração natural, mostrando o objeto com suas cores reais. Já a câmera multiespectral modificada conta com filtros, permitindo que sejam registrados apenas os comprimentos de onda RGN (Vermelho/Verde/Infravermelho Próximo), representando, com maior intensidade, a energia do infravermelho próximo, uma vez que essa faixa espectral interage com as plantas, permitindo compreender o desenvolvimento e saúde destas.

6.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS

A partir do processamento das imagens, foi realizado o processamento para os índices de vegetação.

O primeiro índice a ser utilizado após o processamento das imagens foi o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), sendo o cálculo realizado em ambiente SIG, a partir da ferramenta de cálculo de raster, onde é necessário alimentar o sistema com a fórmula, sendo esta a diferença das refletâncias das bandas do infravermelho próximo e vermelho dividido pela soma das refletâncias dessas duas bandas; este índice varia de -1 a 1.

Para realizar o processamento do índice VARI, primeiramente foi necessário realizar a divisão das bandas que foram geradas no processamento do ortomosaico, para a elaboração do índice VARI (Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível). Esse índice é calculado utilizando as bandas do vermelho, verde e azul, a partir da subtração das bandas do verde e vermelho e dividindo pela soma das bandas verde e vermelho menos a banda do azul, utilizando a mesma ferramenta que o índice NDVI.

As equações utilizadas para os índices NDVI e VARI estão apresentadas nas Equações 1 e 2.

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: NDVI = Índice de vegetação da diferença normalizada;
 NIR = Valor médio da banda do infravermelho próximo;
 R = Valor médio da banda do vermelho.

$$VARI = \frac{(Rg-Rr)}{(Rg+Rr-Rb)} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde R_g , R_r e R_b são respectivamente as refletâncias das bandas verde, vermelho e azul.

6.5 IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS INDIVÍDUOS

Pelo fato das copas dos indivíduos de Araucária serem características, podendo ser identificadas apenas pela seu formato de taça, foi realizado a delimitação dos indivíduos mais sobressalentes, para que fosse possível realizar esta identificação sendo encontrado 24 indivíduos na área que eram possíveis verificar sua copa completa, delimitando um raio a partir do indivíduo, no qual tornasse possível realizar uma média aritmética para cada índice neste raio.

Assim, a classificação dos indivíduos seguiu os valores propostos na tabela 1, utilizando uma padronização para análise dos índices de NDVI e VARI, classificando-os, conforme a proposta por Castro-Faria (2018), em saudável, estressada, desvitalizada e morta, adaptando para cada valor de pixel encontrado.

Tabela 1- Variação dos valores de NDVI e VARI para a classificação.

Valores	Classificação
1 - 0,66	Saudável
0,67 - 0,33	Estressada
0,34 - 0,01	Desvitalizada
0 - -1	Morta

Fonte: Adaptado a partir de Rosendo (2005) e Castro-Faria (2018).

Para cada classificação foi definida uma variação de número de classes apresentados no mapa, tanto para o índice NDVI e o índice VARI, pois a área a ser trabalhada era extremamente homogênea, causando uma dificuldade de visualização no quesito coloração, caso fossem mantidas apenas 4 classes. Por esse motivo, preferiu-se realizar a classificação em 8 classes na geração do mapa final.

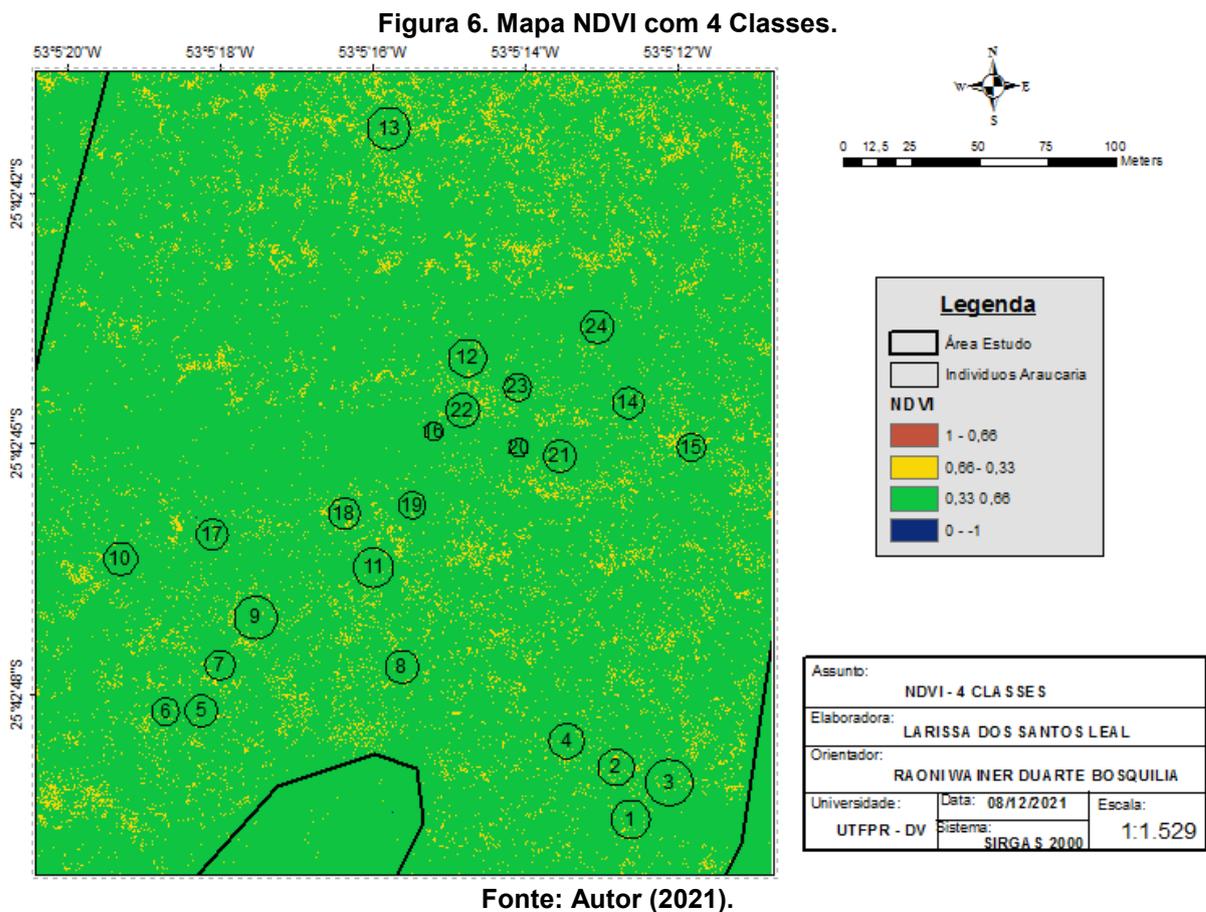
A Tabela de classificação foi mantida com os termos já propostos por Castro-Faria (2018).

Ao final foi gerado tabelas contendo cada indivíduo analisado e seus valores médios para cada índice estudado e sua identificação fitossanitária.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 ÍNDICE NDVI

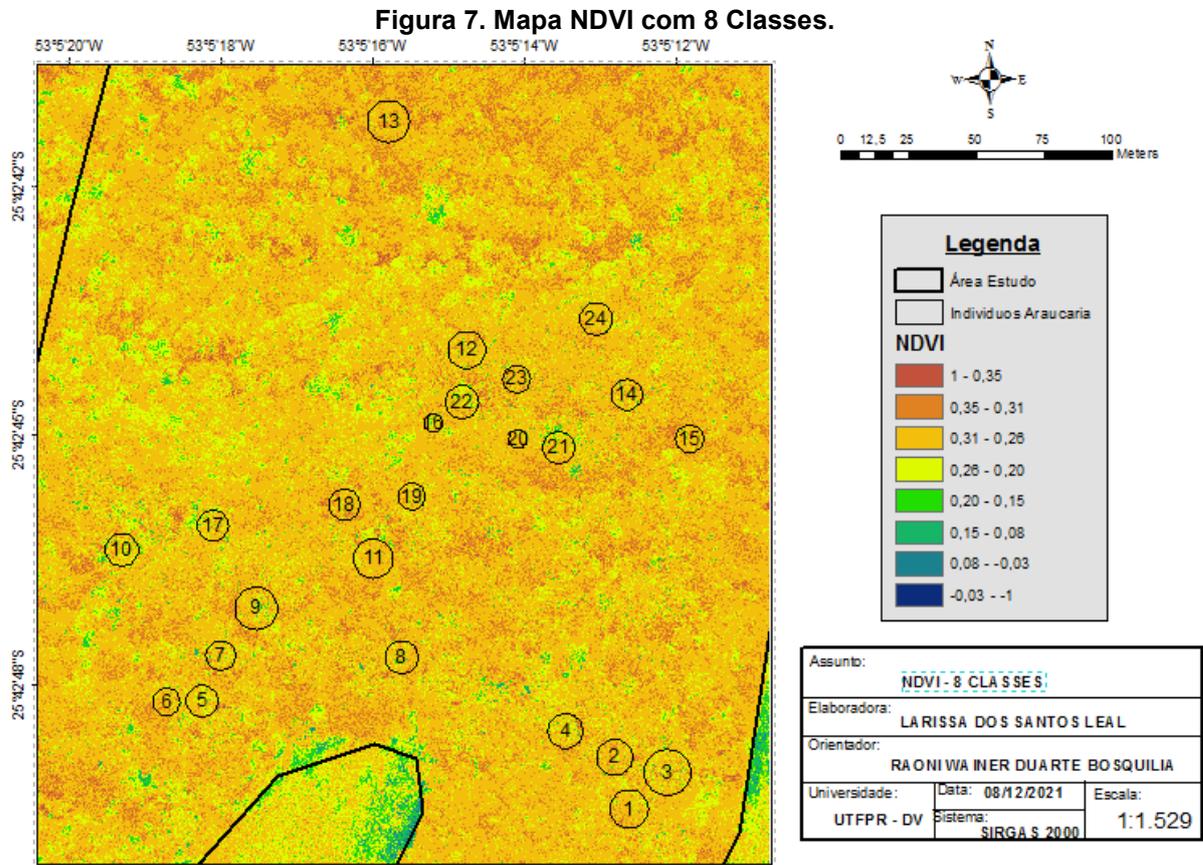
A análise foi realizada primeiramente apresentando os dados do NDVI, sendo elaborado dois mapas para este índice, o primeiro com 4 classes, conforme as variações de valores propostas neste trabalho e um segundo mapa com 8 classes para se obter uma melhor visualização.



O mapa (Figura 6) apresenta o Índice NDVI, com a visualização de 4 classes, conforme o que foi descrito na Tabela 1, entretanto para uma melhor visualização do mapa elaborou-se um mapa possuindo 8 classes, conforme descrito na metodologia.

Já é possível verificar que o valor mais representativo para o índice de vegetação por diferença normalizada é entre 0,33 e 0. Foi realizado o aumento de classes gradualmente, até chegar a um valor que se torna-se mais confortável a visualização no mapa final. Apontou-se que esta variação de classes dentro de 1 a -

1 não interfere no resultado desta pesquisa, apenas para que se torne visualmente mais coerente o mapa.



Ambos os mapas (Figura 6 e 7) apresentam a localização dos indivíduos de Araucária levantados para esta pesquisa, estando todos enumerados de 1 a 24.

Para cada indivíduo foi verificado o valor médio de pixel apresentado para cada delimitação de indivíduo, para que fosse possível realizar a classificação fitossanitária, no qual está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2- Classificação a partir do valor dos pixels encontrados em conjunto com classificação de Castro-Faria (2018) – índice NDVI.

Classificação NDVI (Continua)		
Indivíduos	Valor Pixel	Classificação
1	0,285801	Desvitalizada
2	0,289967	Desvitalizada
3	0,281823	Desvitalizada
4	0,27754	Desvitalizada
5	0,2741344	Desvitalizada
6	0,291148514	Desvitalizada
7	0,28060605	Desvitalizada
8	0,286869	Desvitalizada

Classificação VARI (Conclusão)		
Valor Pixel	Valor Pixel	Valor Pixel
9	0,283067	Desvitalizada
10	0,2767431	Desvitalizada
11	0,28986132	Desvitalizada
12	0,288176924	Desvitalizada
13	0,298591	Desvitalizada
14	0,2863425	Desvitalizada
15	0,295427412	Desvitalizada
16	0,267685	Desvitalizada
17	0,274479	Desvitalizada
18	0,29258132	Desvitalizada
19	0,286309	Desvitalizada
20	0,2875508	Desvitalizada
21	0,278924	Desvitalizada
22	0,2751159	Desvitalizada
23	0,289949	Desvitalizada
24	0,2881	Desvitalizada

Fonte: Autor (2021).

A partir destes dados do NDVI foi possível verificar que o índice pode realçar a variação espacial da biomassa existentes, conforme já apresentado por Marcussi (2010), sendo considerado o índice NDVI, um dos mais sensíveis a vegetação.

Para o estudo entende-se que atendeu aos parâmetros, apresentando um valor médio de pixel para cada indivíduo, entretanto não houve uma boa definição para a classificação. Ao verificar a coloração do mapa com 8 classes, de maneira geral, apresentou uma variação entre 1 a 0,20, ou seja, podendo ser considerada uma vegetação moderadamente sadia á sadia, entretanto se for realizar a verificação de indivíduos de Araucária as 24 árvores delimitadas estão todas classificadas como desvitalizada (100%), e de acordo com Castro-Faria (2018) indivíduos que estão classificados nesta faixa apresentam sinais de injurias ou sintomas de ataques de agentes bióticos, com isto não sendo possível definir se a árvores conseguira se recuperar naturalmente.

Conforme os dados apresentados foi possível observar que para o índice de vegetação por diferença normalizada não houve uma grande variação de valores, todos concentrados de 0,28 a 0,26. De acordo com Sims e Gamon (2003) afirma que o NDVI possui uma boa correlação com o teor de umidade da planta, podendo ser aplicado em Agricultura de Precisão, ou seja, a variação de umidade pode

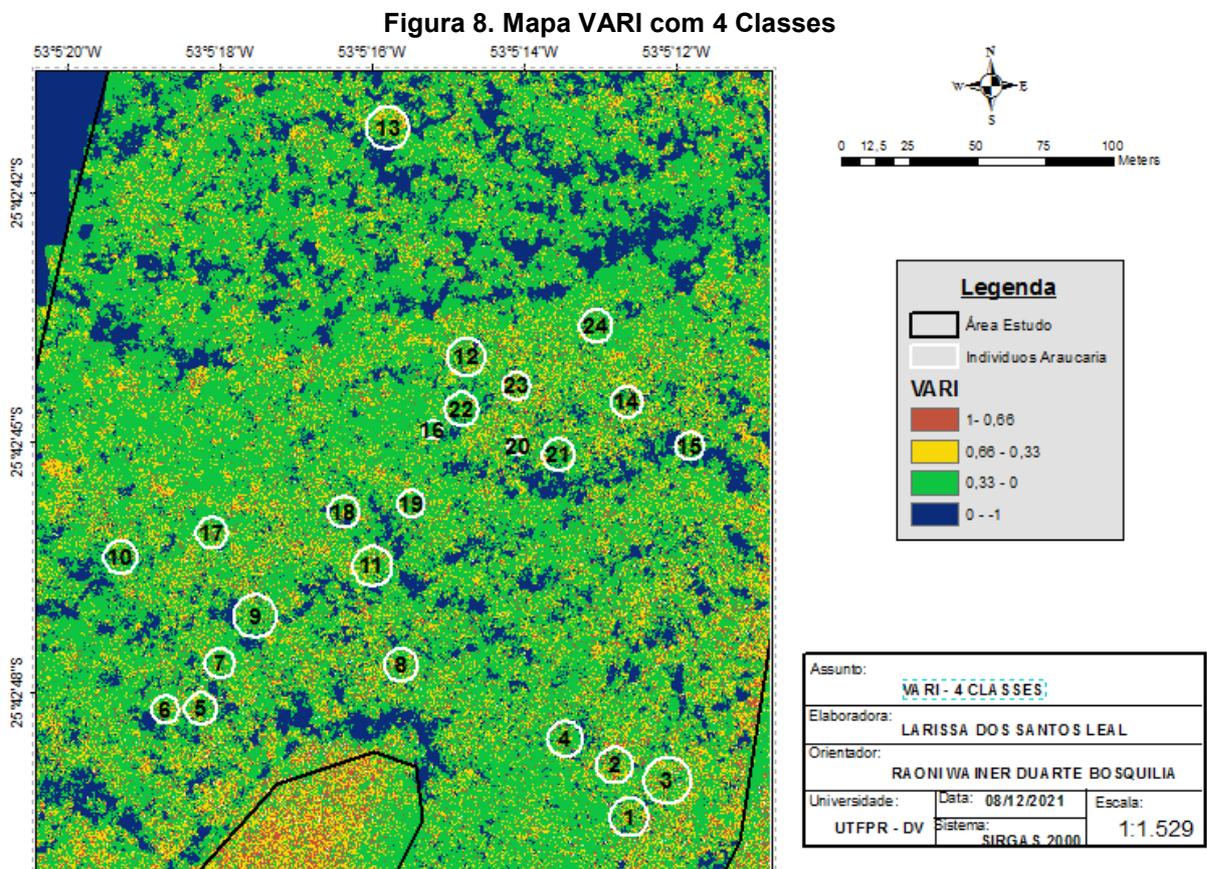
interferir na verificação deste item, caso o levantamento seja realizado no período de seca, apresenta valores mais baixos.

7.2 ÍNDICE VARI

A segunda análise realizada foi a do índice VARI, que como já foi pontuado é gerado a partir da separação das bandas do ortomosaico, sendo utilizado as bandas do Verde, Vermelho e Azul, apresentando as áreas com maior ou menor estresse, sendo baseado na variabilidade de vigor e estresse da planta

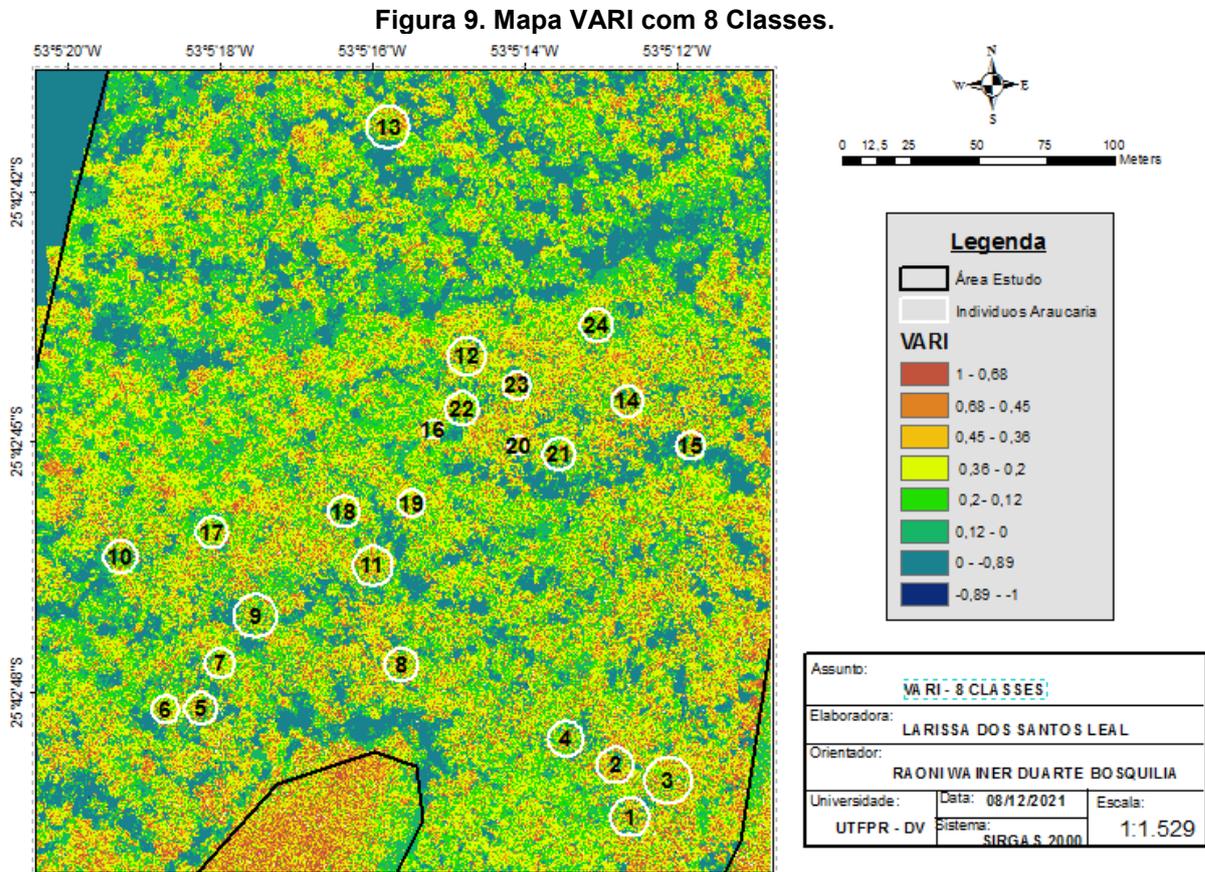
Foi seguido o mesmo método de avaliação que foi realizado para o índice NDVI, para que se fosse possível, posteriormente, apresentar o comparativo e a melhor opção para o estudo.

Para este índice foi possível realizar a apresentação do mapa em 4 classes, no qual verificou-se que houve uma distribuição de entre todas as classes, ou seja, não estando concentrado em uma única classe os valores.



Fonte: Autor (2021).

Igualmente ao outro índice, apresentou-se um mapa com 8 classes do índice VARI (Figura 9), para que pode-se realizar a análise a partir da coloração apenas, não verificando os valores.



Fonte: Autor (2021).

Para o índice VARI, observou-se que houve pouca variação no aumento de classes, ou seja, para este índice é possível manter para elaboração dos mapas a quantidade de classes e delimitações já propostas.

A próxima etapa de avaliação foi o valor médio dos pixels apresentados para cada indivíduo delimitado, com isto se apresenta na tabela a seguir com os valores estimados e a classificação apresentada junto a Tabela 3.

Tabela 3- Classificação a partir do valor dos pixels encontrados em conjunto com classificação de Castro-Faria (2018) - índice VARI.

Classificação VARI (Continua)		
Indivíduos	Valor Pixel	Classificação
1	0,34586	Estressada
2	0,42311	Estressada
3	0,386631	Estressada

4	0,28813	Desvitalizada
Classificação VARI (Conclusão)		
Valor Pixel	Valor Pixel	Valor Pixel
5	0,306783	Desvitalizada
6	0,339053	Estressada
7	0,319159	Desvitalizada
8	0,34586	Estressada
9	0,264125	Desvitalizada
10	0,252614	Desvitalizada
11	0,37149	Estressada
12	0,2985350	Desvitalizada
13	0,3158608	Desvitalizada
14	0,344918	Estressada
15	0,287424	Desvitalizada
16	0,256462	Desvitalizada
17	0,329869	Desvitalizada
18	0,261683	Desvitalizada
19	0,35559	Estressada
20	0,37708	Estressada
21	0,2760786	Desvitalizada
22	0,315857	Desvitalizada
23	0,41759	Estressada
24	0,268712	Desvitalizada

Fonte: Autor (2021).

Conforme é possível se observar para este índice, houve uma variação maior entre os valores, sendo o maior 0,42 e o menor encontrado 0,25, ou seja, não houve uma homogeneidade dos valores, que conforme as classificações apresentadas foram definidas como desvitalizada e estressada.

Indivíduos caracterizados como estressados, apresentam sinais de injúria ou sintomas de ataque de agente bióticos, porém, a árvore pode se recuperar naturalmente, desse modo permanecendo viva por tempo indeterminado, sendo a diferença para indivíduos desvitalizados a capacidade de permanecer viva.

Este resultado demonstrou que este índice foi mais sensível a refletância da vegetação apresentando um quantitativo de 41,66% para indivíduos estressados e 58,33% para indivíduos desvitalizados.

Com o resultado visualizado percebeu-se que o índice de vegetação resistente a atmosfera na região do visível utilizando a banda verde, possui a capacidade de corrigir os efeitos atmosféricos do espalhamento atmosférico evidenciado na banda do vermelho, é corrigido pixel a pixel, por conta da diferença entre as reflectância do azul e vermelho, conforme já estudado e apresentado por Marcussi (2009).

7.3 COMPARATIVO DOS ÍNDICES

Os índices de vegetação são usados para diversas aplicações, havendo índices para a mesma aplicação com fórmulas diferentes, que é o caso da avaliação deste estudo. A etapa final deste trabalho permitiu chegar ao resultado mais aconselhável para o objetivo específico.

Na Tabela 4 apresenta-se o resultado deste comparativo de ambos os índices estudados e sua variação de valores.

Tabela 4- Levantamento de variação de valores dos índices estudados NDVI e VARI.

Indivíduos	Valor Pixel NDVI	Valor Pixel VARI	Diferença Valor Índices (%)
1	0,285	0,345	17,37
2	0,289	0,423	31,47
3	0,281	0,386	27,11
4	0,277	0,288	3,68
5	0,274	0,306	10,64
6	0,291	0,339	14,13
7	0,280	0,319	12,08
8	0,286	0,345	17,06
9	0,283	0,264	6,69
10	0,276	0,252	8,72
11	0,289	0,371	21,97
12	0,288	0,298	3,47
13	0,298	0,315	5,47
14	0,286	0,344	16,98
15	0,295	0,287	2,71
16	0,267	0,256	4,19
17	0,274	0,329	16,79
18	0,292	0,261	10,56
19	0,286	0,355	19,48
20	0,287	0,377	23,74
21	0,278	0,276	1,02
22	0,275	0,315	12,90
23	0,289	0,417	30,57
24	0,288	0,268	6,73

Fonte: Autor (2021)

De acordo com a Tabela 4, foi possível verificar alguns valores que apresentaram uma variação podendo chegar a 31,47%, sendo esta uma diferença considerável, já alguns valores apontaram diferenças menores, próximas a 2,71%. Realizando uma média dessa variação total se chega a um quantitativo de 13% de diferença de um índice para o outro, que como já apontado anteriormente para o NDVI houve uma homogeneidade nos valores, enquanto para o VARI verificou-se

uma variação maior. O VARI apresentou um melhor desempenho em relação ao NDVI, pois conseguiu captar uma variedade maior de refletância por indivíduo, pelo fato do mesmo realizar a correção atmosférica, como aerossóis (fumaça, partículas de poluição do ar poeira, etc), por esse motivo se tornando mais preciso que outros índices, que é o que pode-se observar nesta discrepância de valores na análise final.

De acordo com Beltrame (2007), o VARI tem apresentado melhores resultados nos estudos de vegetação, mostrando-se quatro vezes mais sensível a atmosfera que o NDVI, se tornando mais indicado para áreas predominantemente ocupadas por vegetação.

De acordo com Gates et al. (1965) os índices de vegetação têm sido vastamente utilizados, no qual sua fundamentação teórica esta baseada tanto na alta absorção da radiação solar fotossinteticamente ativa pelos pigmentos das plantas, referente ao alto espalhamento da radiação solar de acordo com a estrutura celular das folhas na região do infravermelho próximo, ou seja, quanto menos água possuir em seu interior maior é a absorção e menor será sua reflectância.

Gantzel (1979) realizou avaliações de florestas de *A. angustifolia*, através de imagens do satélite Landsat-II e com isto conseguiu constatar que as acículas, conforme a idade apresentam características peculiares de tonalidade e devido a diferenças de reflectância espectral apresentadas no processo analítico de interpretação visual, com isto supôs que fatores internos de qualidade fisiológica, aliado a característica morfológica da espécie, fossem responsável pelo fenômeno desta alteração de reflectância.

Com esta observação se pode apontar que a estrutura celular da *A. angustifolia*, pode interferir no resultado do índice NDVI, pois este trabalha diretamente com as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, no qual já é de conhecimento que a água é um fator limitante em maior ou menor quantidade, sendo esta que interfere na energia eletromagnética refletida pelas coníferas e folhosas.

Sendo o pinheiro uma espécie que possui características de espécie não-suculenta, no qual suas acículas possuem pouca porcentagem de água com um parênquima paliçádico bastante desenvolvido e um mesófilo sem ou com pouco vacúolos e muita lignina (GANTZEL, 1979).

Embora os índices não tenham apresentado uma alta diferença significativa, pode-se observar que o VARI se tornou o mais indicado para este estudo, pois como

apresentado acima o índice NDVI necessitada de uma alta reflectância na banda com infravermelho próximo e como apresentando o teor de água na estrutura celular interfere diretamente neste índice, apontando neste estudo que o Índice de Resistencia Atmosférica na Região do Visível (VARI) se mostrou o mais eficiente na avaliação fitossanitária de indivíduos de *Araucária angustifolia*.

Devendo se levar em conta que para melhores resultados pode-se realizar um trabalho em campo realizando o reconhecimento dos indivíduos delimitados para relacioná-los com as imagens coletadas a partir do voo por RPA, para que possa ocorrer a correção dos valores conforme a estrutura real por indivíduo e estudando outros índices para ver sua melhor aplicação.

Mas neste momento conforme apresentado na tabela 4 o melhor índice para este estudo com identificação de indivíduos de *A. angustifolia* foi o índice de Resistencia Atmosferica na Região do Visivel (VARIA

8 CONCLUSÃO

Para ambos os índices foi possível verificar os valores capturados e apresentar de acordo com a classificação fitossanitária proposta, observando-se a importância dos conceitos e equações destes dois índices propostos, sendo aplicado para indivíduos específicos. Entretanto para o índice NDVI não houve uma boa classificação utilizando apenas quatro classes, tornando difícil a identificação e discriminação visual do estado de cada indivíduo, de forma satisfatória na vegetação, pois houve grande concentração dos valores encontrados em uma única classe.

A melhor resposta espectral dos indivíduos de *Araucária angustifolia* foi a partir do índice VARI, sendo possível capturar uma maior reflectância da área, apresentando valores mais variados de acordo com cada indivíduo analisado, ao contrário do índice NDVI que apresentou uma homogeneidade de valores, podendo ocorrer por conta da estrutura celular das folhas de *A. angustifolia*.

Para que seja possível melhorar a elaboração destes índices junto a identificação fitossanitária, pode-se verificar a possibilidade de redistribuir os valores propostos, se adequando em conjunto a um levantamento em campo para chegar a valores que sejam passíveis de aplicação em outras áreas.

Apontamos que este estudo pode ser realizado para outras espécies, realizando a correção dos valores conforme sua estrutura foliar.

Por fim os índices apresentados principalmente o VARI, pode-se tornar um aliado na identificação fitossanitária dos indivíduos de *Araucária angustifolia*, permitindo uma melhor avaliação, através do geoprocessamento de dados levantados.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, Selma Alves *et al.* **Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia.** Revista Brasileira de Zootecnia, [S. l.], ano 2009, v. 38, n. 9, p. 1637-1644, 17 nov. 2008.
- ALVES, Olinda De Lima Faria - **Planejamento e Controle de Missões e um Vant de Asa Fixa**, Ministério da Defesa Exército Brasileiro Departamento de Ciência e Tecnologia Instituto Militar de Engenharia. Mestrado em Engenharia Elétrica.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (ASP). **Manual of Photogrammetry**, 1966, 1220p
- ANDRADE, J. B. **Fotogrametria. Curitiba**, Universidade Federal do Paraná, 1998.
- ARMADA. **The Growing Word of Unmanned Airborne Spies.** IN: Armada International, vol.28, nº3, 2004.
- BARBOSA, K. M. do N. **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado, 131 p., 2006.
- BRASIL. Resolução Conama nº278, de 22 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2001.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução normativa nº 6 de 23 de setembro de 2008. Lista as espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção e com deficiência de dados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 185, seção 1, p. 75-85, 24 set. 2008.
- BRASIL. **DECRETO Federal 23.793/1934.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d23793.htm>. Acesso em: 08 de janeiro de 2021
- BRASIL. Lei Federal 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, n.246, p.1-4, dez.2006.
- BRASIL. Lei Federal 12.651, de 25 de maio de 2012. Lei de aprovação da vegetação nativa. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 2012.
- BRYN, Leonardo Monteiro. **Página Dinâmica para Aprendizado do Sensoriamento Remoto.** Orientador: Prof. Dr. Sérgio Florêncio de Souza. 2008.

170 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - UFRGS/CEPSRM, Porto Alegre- RS, 2008.

CÂMARA, Giberto *et al.* **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São Jose dos Campos: INPE, 2001. 345 p. v. 1.

CASTRO-FARIA, Alvaro Boson. **Conservação e Saúde das Araucárias: fundamentos legais e ecossistêmicos**. Curitiba: Juruá, 2018.

CASTRO-FARIA, Alvaro Boson *et al.* **Pinheiros antigos podem entrar em declínio devido ao efeito de mudanças climáticas**. Biofix, Biofix Scientific Journal, ano 2019, v. 4, n. 1, p. 16-25, 21 mar. 19

CRÓSTA, Álvaro Penteadó – **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto/ Álvaro Penteadó Crósta. – ed. Ver. – Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992.**

DE MORAES, Elisabete Caria. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. *In*: DE MORAES, Elisabete Caria. **Sensoriamento Remoto**. São Jose dos Campos: INPE, 2002. cap. 1, p. 7-22.

DOS SANTOS, Walbert Júnior Reis. **Geotecnologias para o estudo espaço-temporal da cafeicultura da região de são sebastião do paraíso, MG**. Orientador: Tatiana Grossi Chquiloff Vieira. 2009. 49 f. Dissertação (Agronomia) - Universidade Federal de Lavras- Minas Gerais, [S. l.], 2009.

EASTMAN, J.R. **Idrisi Andes – Guide to GIS and Image Processing**. Clark Laboratory. Clark university. Worcester/MA. USA. 2006. 284p.

FREIRE SILVA, Jadson *et al.* **Índices de vegetação do Sensoriamento Remoto para processamento de imagens na faixa do visível (RGB)**. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, EUA, ano 2019, v. 9, n. 4, p. 228-239, 30 out. 2019.

GANTZEL, O.L. **Avaliação das Florestas de Araucaria angustifolia (BERT.) O KTZE do sul do Brasil, através de imagens do Satélite Landsat-II**. 1979. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, [S. l.], 1979. GATES, D.M.; Keegan, J.H.; Schleiter, J.C.; Weidner, V.R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**. V. 4, p. 11– 20, 1965.

GENTILESCA, T. *et al.* **Drought-inducet oak decline in the westem Mediterranean region: na overview on current evidences, mechanisms and management options to improve forest resilience**. iForest.v.10, 2007

GONÇALVES, Rodrigo Augusto Pinheiro. **SOFTWARE DE CÁLCULO DE PLANO DE VÔO FOTOGRAFAMÉTRICO**. Orientador: Prof. Dr. Gilson Candido Santana. 2010. 58 p. Dissertação (Engenharia de Agrimensura) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropedica, 2010.

GUERRA, Miguel Pedro; Neusa Steiner; Adelar Mantovani; Rubens Onofre Nodari; Maurício Sedrez dos Reis & Karine Louise dos Santos. **Evolução, ontogênese e diversidade genética em *Araucaria angustifolia***. In: Barbieri, Rosa Lia & Elisabeth Regina Tempel Stumpf. (Orgs.). Origem e evolução de plantas cultivadas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 149-184.

GITELSON, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., Rundquist, D., 2002. **Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction**. Remote Sensing of Environment 80, 76–87.

HASEGAWA, J.K e ARRUDA Jr, E.R. **Mosaico com Imagens Digitais**. Ciencie Geodesica, Sec.. Artigos, Curitiba,v. 10, nº 1, p.31-50, 2004.

JENSEN, John R. **Sensoriamento remoto do ambiente : uma perspectiva em recursos terrestres** / John R. Jensen ; tradução José Carlos Neves Epiphânio (coordenador)... [et al.]. - São José dos Campos, SP-: Parêntese, 2009.

QUARTAROLI, Carlos Fernando et al. **Sensoriamento Remoto**. In: GEOTECNOLOGIAS e geoinformação. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 4, p. 61-79.

KALAF, R.; BRASILEIRO, R.; CARDOSO, P.V.; CRUZ, C.B.M. Landsat8: **Avanços para mapeamento em mesoescala**. In. 4º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. 2013. Rio de Janeiro, 2013.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade BA avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo 2010.

MARCUSSI, Aline Braga *et al.* UTILIZAÇÃO DE INDICES DE VEGETAÇÃO PARA OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, ano 2010, v. 11, n. 35, p. 41-53, 19 jul. 2010.

MENESES, P.R. **Sensores Imageadores Multiespectrais na Faixa Óptica**. In: Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto, 2012.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos, 2001. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 208p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo. ed. : Edgard Blücher, 1989, 308p.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes; PONZONI, Flávio Jorge. **INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO**. São Jose dos Campos: [s. n.], 2001.

ORTH D. **Topografia aplicada**. Trabalho Acadêmico – Laboratório de ciências geodésicas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

PINA, M. de F. de; SANTOS S. M. **Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicada à saúde**. 121 p. Monografia em Geoprocessamento – Brasília, 2000.

PEDROSA-MACEDO, JOSE HENRIQUE; SCHOENHERR, J. Manual dos Scolytidae nos Reflorestamentos Brasileiros. 01. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1985. p.69.

PONZONI, Flavio Jorge. **Comportamento Espectral da Vegetação**. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (org) Sensoriamento remoto, refletância dos alvos naturais. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p 157-199, 2001.

PRAES, Elaine Oliveira. **Código florestal brasileiro: evolução histórica e discussões atuais sobre o novo código florestal**. VI Colóquio Internacional, São Cristovão-SE, p. 1-14, 20 set. 2012.

RAY, R.G. *Aerial photographs in geological interpretation and mapping*. U.S. Geological Survey, paper 373, Washington, U.S.A., 1963,88 p.

REIS T. T. dos; TOMMASELLI A. M. G.; RUY R. da S. **Módulo computacional para geração semi-automática de planos de voo fotogramétricos**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, Florianópolis, 2006 1 CD-ROM.

REITZ, Raulino & Roberto Miguel Klein. **Araucariáceas**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues / Flora Ilustrada Catarinense; 1966. 62 p.

ROSENDO, Jussara dos Santos. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio araguari - mg - utilizando dados do sensor modis**. Uberlândia; 2005. 152 p.

ROGGE-RENNER, Gladys Daniela *et al.* **Ortogenia de megaestróbilos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (Araucariaceae)**. Acta Biológica Catarinense, Joinville, ano 2017, v. 4, n. 2, p. 30-41, 20 set. 2017.

ROSOT, M. A. D. **Manejo Florestal de uso múltiplo: uma alternativa contra a extinção da Floresta com *Araucaria*?** Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, n.55, p. 75-886, jun./dez.2007.

SILVA, Liliane Garcia *et al.* Identificação da composição colorida de imagem CBERS-2 na dinâmica de ocupação territorial em sub-bacia hidrográfica. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, ano 2007, p. 1141-1145, 21 abr. 2007.

SOARES, Thelma Shirlen; MOTA, José Hortêncio. ARAUCÁRIA - O PINHEIRO BRASILEIRO. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, Mato Grosso**, ano II, ed. 3, Fevereiro 2004.

SOARES, Randielly Barbosa *et al.* Aplicação de técnica de fusão em imagens Landsat 8/ OLI. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa - PB, n. 17, p. 4836-4843, 25 set. 2015.

SOAPCHAKI, C.H. *et al.* **Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada sem o uso de pontos de apoio.** Temático de Geotecnologias, v. 43, p. 200-214, 2018.

SPAROVEK, G.; BARRETTO, A.; KLUG, I.; PAPP, L.; LINO, J. **A revisão do código florestal brasileiro.** Novos estudos CEBRAP, 2011, p. 111-135.

SPRING. **Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling.** Câmara G, Souza RCM., Freitas UM., Garrido J. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-jun 1996.

XAVIER, Rodrigo. **A utilização do vant em levantamentos ambientais.** Orientador: Prof, M. Sc. Marciel Lohmann. 2013. 36 p. Dissertação (Geografia) - UFPR, Curitiba, 2013.

ZANETTE, Flavio *et al.* **Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucária angustifolia*.** In: ARAUCÁRIA: particularidades, propagação e manejo de plantios. [S. l.]: EMBRAPA, 2017. cap. 1, p. 15-39.

ZANETTI, Juliette, 1989- **Influencia do Número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT – Viçosa, MG, 2017.** Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Viçosa. CDD 22. Ed 623