Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Engenharia Agrícola

Laís Silva de Oliveira

Uso de imagens de RPA na Identificação de Falhas em Plantios de Eucalipto

Campinas

2020

Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Engenharia Agrícola

Laís Silva de Oliveira

Uso de imagens de RPA na Identificação de Falhas em Plantios de Eucalipto

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrícola à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

Orientadora: Prof(a). Dr(a). Gleyce Kelly Dantas Araujo Figueiredo

Campinas

2020

Uso de imagens de RPA na Identificação de Falhas em Plantios de Eucalipto

Laís Silva de Oliveira

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Dr(a). Gleyce Kelly Dantas Araujo Figueiredo

Orientador (a)

Professor Dr. Julio César Dalla Mora Esquerdo

Ma. Cecilia Lira Melo de Oliveira Santos

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Antônio Santir (in memorian) e Maria Neuza, por me incentivarem a seguir meus sonhos e terem dedicado suas vidas para prover os meios que me permitissem realizá-los. Ao meu irmão Fabiano que sempre foi um apoio importante nos momentos difíceis de nossas vidas. As minhas sobrinhas que tornaram a jornada até aqui mais leve e feliz.

A todos os professores da Faculdade de Engenharia Agrícola - Feagri da Unicamp, que com seus ensinamentos me forneceram subsídios para alavancar e direcionar a minha carreira profissional. Ao professor Luiz Henrique Antunes Rodriguez (Lique) pela inspiração que com sua didática e sua forma humana de ver o outro me fez ver que o ambiente acadêmico pode e deve ser acolhedor.

A todos os colaboradores da Feagri que com seu trabalho tornam a rotina acadêmica mais fácil. Ao Antonio Donizete Sipriano (Pequeno) pelas conversas enriquecedoras e cheias de bom humor. Ao Antonio Javarez Junior (Junior) pelos jogos de vôlei e pelas palavras reconfortantes em momentos difíceis. A Rosângela Gomes (Rô) pela primazia e alegria com que executa seu trabalho e por toda atenção despendida a mim.

Aos professores Jansle Vieira Rocha e Rubens Augusto Camargo Lamparelli e a pesquisadora Michelle Picoli que me deram a primeira oportunidade na área de Geotecnologias e me permitiram conhecer e aplicar os conceitos de Sensoriamento Remoto, a partir desta oportunidade muitas outras vieram e foi em uma delas que o presente trabalho foi gerado.

A minha orientadora Gleyce Figueiredo pelo auxílio na elaboração e conclusão deste trabalho e pela amizade.

Aos meus colegas de curso que através do suporte mútuo me auxiliaram a cumprir mais essa etapa. Aos amigos Stella Stopa, Guilherme Buck e Adrian Macri que com bom humor e palavras de incentivo contribuíram para que eu superasse os momentos difíceis e continuasse firme na busca das minhas realizações. A minha amiga Cecilia Lira, por estar presente e me apoiando desde o início dessa jornada, na época em que morávamos na casa de estudante da Unicamp, passando pelo momento da realização do nosso intercâmbio até o presente momento.

A Raianny Duarte por todo suporte, compreensão e amor.

A todos os meus amigos e toda a minha família que, com todo suporte e apoio, também foram fundamentais nesse processo.

EPIGRÁFE

“O verdadeiro heroísmo consiste em
persistir por mais um momento,
quando tudo parece perdido”
W. F. Grenfel

RESUMO

Florestas plantadas de eucalipto apresentam por natureza falhas de distribuição nas linhas de plantio. É importante que se faça a aplicação de métodos simples e eficazes que permitam quantificar de maneira precisa estas falhas, de modo a alcançar uma produção satisfatória da cultura. O uso das aeronaves remotamente pilotadas (RPA) tornam a coleta de dados em campo mais dinâmica, devido ao aumento na frequência de aquisição de imagens.

Esse trabalho avaliou a qualidade do plantio de eucaliptos localizados na cidade de Bofete no estado de São Paulo. A análise se baseou na aplicabilidade das imagens de RPA, quando comparadas a metodologia atual baseada em levantamento amostral em campo, quanto a identificação e quantificação das falhas na área de plantio.

Os resultados obtidos mostraram que as imagens de RPA apresentam resultado satisfatório, com assertividade de 82,2% quando comparado a realidade de campo e por possuir caráter censitário conseguiu identificar falhas que o método por amostragem não conseguiu identificar. Dessa forma se apresentou como uma metodologia promissora, pois apresenta resultados rápidos, precisos e que também podem ser utilizados como subsídio para um rápido diagnóstico da produção florestal.

Palavras chave: eucalipto, falhas, amostragem, RPA.

ABSTRACT

Eucalyptus planted forests have by nature distribution failures in the planting lines. It is important to apply simple and effective methods to accurately quantify these flaws in order to achieve satisfactory crop production. The use of remotely piloted aircraft (RPAs) makes field data collection more dynamic due to the increased frequency of image acquisition.

This work evaluated the quality of eucalyptus plantation located in the city of Bofete in the state of São Paulo. The analysis was based on the applicability of RPA images, when compared to the current methodology based on field sampling, as the identification and quantification of failures in the planting area.

The results showed that the RPA images present a satisfactory result with 82.2% assertiveness when compared to the field reality and due to its census character it was able to identify flaws that the sampling method could not identify. This it presented itself as a promising methodology, as it presents fast, accurate results that can also be used as a subsidy for a quick diagnosis of forest production.

Key words: eucalyptus, failures, sampling, RPA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Níveis de detecção dos sensores remotos (BARCELLOS, 2017)..... 13

Figura 2: Exemplo de falhas de plantio em cultivo de eucalipto (Elaboração própria, 2019). 16

Figura 3: Avião remotamente pilotado (PONTES E FREITAS, 2015). 15

Figura 4: Localização do município de Bofete no Estado São Paulo (Wikimedia Commons, 2020). 21

Figura 5: Distribuição amostral de cada UP (Elaboração própria, 2019). 21

Figura 6: Representação das parcelas amostrais (Elaboração própria, 2019). 22

Figura 7: RPA eBee S.O.D.A. (SANTIAGO & CINTRA, 2020). 22

Figura 8: Distribuição da assertividade do levantamento com RPA (Elaboração própria, 2019). 26

Figura 9: Mapa de sobrevivência de talhão da UP 62A001 (Elaboração própria, 2019). 27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO....9
1.1 JUSTIFICATIVA....9
1.2 OBJETIVOS....9
1.2.1 Objetivo Geral....9
1.2.2 Objetivos Específicos....9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA....10
2.1 Eucalipto....10
2.2 Sensoriamento remoto e métodos de identificação....11
2.3 Sensoriamento remoto na Silvicultura....13
2.4 Plantio e falhas em cultivos de eucalipto 15
2.5 Identificação de falhas de plantio por sensoriamento remoto....16
2.6 Uso de RPA na silvicultura....18
3 MATERIAIS E MÉTODOS....19
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES....22
5 CONCLUSÃO....25
REFERÊNCIAS....27

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

As falhas em plantios de eucalipto são comumente associadas a perda de produtividade, por isso são sistematicamente mensuradas pelas empresas florestais, no intuito de promover formas de mitiga-las. Para isso, essas empresas tradicionalmente contratam uma auditoria externa que faz o levantamento em campo através de parcelas amostrais, esse método é oneroso financeira e temporalmente, além de demandar um grande número de pessoas em campo. O uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) tem sido estudado como potencial forma de substituir a metodologia atual por tornar possível a avaliação de maneira remota, mais rápida, censitária e menos custosa. Portanto, esse trabalho busca avaliar e validar o uso dessa tecnologia no monitoramento e avaliação das falhas em plantios de eucalipto aos 120 dias.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho buscou avaliar e validar a eficácia do uso de imagens de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) na identificação e quantificação de falhas em áreas com plantios de eucalipto localizadas no munícipio de Bofete no Estado de São Paulo. Espera-se a partir desse estudo orientar a tomada de decisão quanto a realização de atividades de replantio e controle de plantas daninhas, reduzindo os custos de produção e aumentando a produtividade.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificação de falhas de plantio em áreas de eucalipto.
- Quantificação das falhas de plantio em cada Unidade de Produção.
- Confecção de mapas de sobrevivência das Unidades de Produção.
- Comparação dos resultados obtidos através do processamento das imagens de aeronaves remotamente pilotadas com a realidade do campo e com o manejo atual.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Eucalipto

Pertencente à família das mirtáceas e originário da Austrália, país no qual possui mais de 670 espécies identificadas, o eucalipto foi introduzido no Brasil no século XIX tendo como principal uso o plantio decorativo, devido, principalmente, à sua altura e a sua utilidade como quebra-vento, (BERTOLA, 2008).

O uso do eucalipto para fins de cultura florestal foi introduzido apenas no século XX pelo Dr. Edmundo Navarro, que na busca por uma árvore que suprisse as necessidades de carvão para as locomotivas e madeira para as ferrovias, realizou diversos experimentos e conseguiu identificar inúmeras vantagens do eucalipto quanto a produtividade versus tempo de desenvolvimento, quando comparado com outras espécies nativas, (CARVAS, 2017).

Desde então a produção de eucalipto no Brasil tem ganhado força e o país, é hoje, um dos maiores produtores de florestas plantadas de eucalipto do mundo, totalizando, segundo dados do IBGE, cerca de 7,5 milhões de hectares. Esse crescimento se deve as condições favoráveis (clima, topografia, uso de tecnologias) que fazem com que as empresas florestais consigam ter um ciclo de produção de sete anos, muito menor que o ciclo em países de clima temperado, (MENDES, 2005).

A produção de eucalipto é destinada, principalmente, para as indústrias de papel e celulose, chapas, celulose solúvel e carvão vegetal, com destaque para os dois últimos segmentos. Dados da ABRAF (2013) indicam que os plantios de eucalipto, no país, possuem uma produtividade média ponderada anual em função da área plantada superior a 39 m^3ha^{-1}.ano. Fernandes (2015) explica que o eucalipto é responsável por 2% do PIB brasileiro, gerando uma receita de aproximadamente 6 bilhões por ano.

Sabe-se também que a importância da produção de florestas plantadas vai além dos aspectos econômicos, a considerar que as florestas de eucaliptos são altamente benéficas para o meio ambiente. Dados do relatório de Avaliação Global dos Recursos Florestais de 2015, apontam que as florestas plantadas contribuem para a melhoria na qualidade da água, conservação e recuperação do solo, aumento e proteção da biodiversidade e mitigação de mudanças climáticas.

SILVEIRA (2018) ressalta que florestas se constituem, também, em sumidouros de carbono, ou seja, através da fotossíntese, as florestas em crescimento absorvem CO_2 da

atmosfera que são armazenados em sua biomassa, na forma de um reservatório de carbono. Essa característica propicia um balanço global positivo de emissão de gases de efeito estufa, já que o sequestro de carbono no período de crescimento da floresta é superior a quantidade gasta no corte e retirada do ambiente (DERECZYNSKY et al., 1998).

Com todos os benefícios ambientais e econômicos que a produção de florestas plantadas gera, o setor está aquecido e a estimativa é que haja o aumento dos plantios, ampliação e construção de fábricas, até 2022, com investimentos de R$ 22,2 bilhões, segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2020).

2.2 Sensoriamento remoto e métodos de identificação

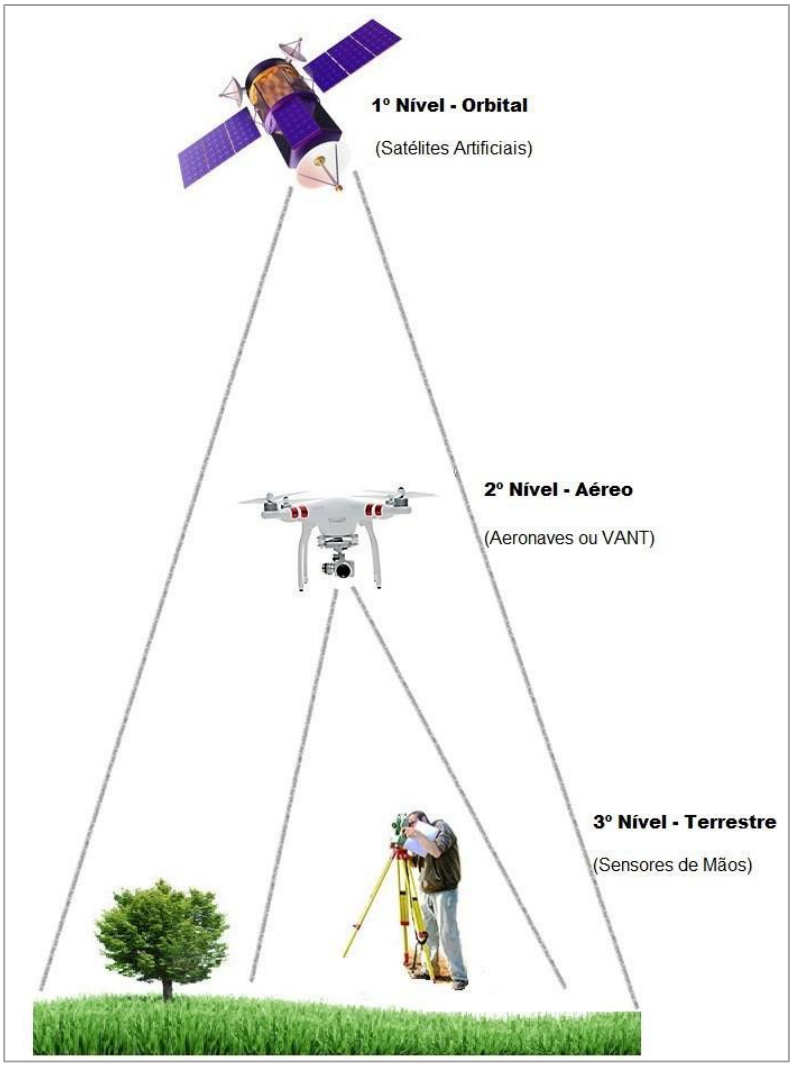
Colwell (1983) definiu o sensoriamento remoto como “a medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno em estudo”. Alguns anos depois Lillesand & Kiefer (1994), descreveram o sensoriamento remoto como “a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo (sensor) que não está em contato direto com o objeto sob investigação”.

Os sensores remotos são capazes de capturar a porcentagem de energia eletromagnética que os alvos refletem e podem ser classificados de acordo com o produto: sensores imageadores e não imageadores, nos quais os produtos gerados são imagens e gráficos ou valores numéricos, respectivamente; outra classificação possível diz respeito a fonte de energia, dessa forma são classificados em: ativos ou passivos, sendo que os primeiros possuem fonte própria, enquanto os passivos são dependentes da radiação eletromagnética proveniente de uma fonte externa (JENSEN, 2009).

Baseada na distância entre o alvo e o sensor, a coleta de dados pode se dar em três níveis distintos (Figura 1), a saber: nível terrestre, aéreo e orbital (LONGHITANO, 2010).

Os dados e tipos de resposta obtidos variam de acordo com as combinações das resoluções espacial[1], espectral[2], radiométrica[3] e temporal[4], que esses sensores possuem.

Figura 1 – Níveis de detecção dos sensores remotos.



Fonte: Barcellos (2017).

Os diferentes tipos de sensores remotos propiciam a avaliação não destrutiva do comportamento dos alvos a diferentes fatores a que eles estão sujeitos (LI et al., 2010). Majahan et al. (2014), por exemplo, identificaram mudanças bioquímicas e biofísicas da vegetação sob estresse, de acordo com as diferenças de energia refletida nas regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo.

[1] Resolução espacial: capacidade do sensor em discriminar objetos de acordo com o tamanho destes.
[2] Resolução espectral: larguras espectrais das medidas do sensor.
[3] Resolução radiométrica: capacidade do sensor em detectar pequenos sinais.
[4] Resolução temporal: intervalo de tempo em que o sensor coleta informações.

A partir do estudo das características espectrais da vegetação muitos métodos de detecção de mudanças foram gerados e com o objetivo de detectar, por exemplo, o teor de biomassa, a porcentagem de cobertura do solo, o índice de área foliar (IAF) e produtividade (EPIPHANIO et al., 1996). Alguns exemplos de métodos são: método de análise por componentes principais, razão de imagens, subtração de imagens, análise do vetor de mudança, análise de pós-classificação e a diferença de índices de vegetação (ROSENDO, 2015).

Santos (2019) destacou a dificuldade de encontrar imagens livres de nuvens e ruídos ao longo de todo o ciclo vegetativo das culturas. Para mitigar este problema, a autora conseguiu resultados promissores, com acurácia global de cerca de 84%, ao utilizar o método de classificação orientada ao objeto a partir da combinação de séries temporais de imagens de múltiplos sensores (ativos e passivos) e da utilização da técnica de preenchimento de dados ausentes, para completar pixels faltantes, na classificação dos diferentes tipos de biomassa estudados.

Moraes (1999) enumera algumas fontes de erros no processo de identificação remota dos alvos, dentre elas: distorções atmosféricas de absorção e dispersão, mudanças na assinatura espectral em função da presença de nuvens e baixa qualidade da luz refletida. Com isso, o autor destaca que é primordial a escolha correta dos canais e combinações espectrais que serão avaliados, bem como dos sensores e métodos de detecção mais adequados para cada estudo.

2.3 Sensoriamento remoto na Silvicultura

Técnicas de sensoriamento remoto, sejam elas provenientes de sensores ativos ou passivos, são utilizadas para as mais diversas aplicações e áreas, tais como: agricultura, estudo de solos, recursos hídricos, urbana, florestas nativas e plantadas (ANDRADE, 2011). Moreira (1984) e Rosot et al. (2004), relatam que pela sua importância e natureza dinâmica, os cultivos florestais necessitam de monitoramento e avaliações constantes, para tal, o uso de técnicas de sensoriamento remoto se tornou uma importante ferramenta e está cada vez mais difundido dentro das empresas florestais.

Vettorazzi et al. (2005) chamam a atenção para o grande avanço do uso do sensoriamento remoto pelas empresas florestais, nos últimos 15 anos, seja por meio da

contratação de empresas terceiras ou através da criação de áreas de geotecnologia nas próprias empresas. Os autores também enfatizam as diversas aplicabilidades, que vão desde análises espaciais a mapeamentos temáticos.

Antunes et al. (2018) utilizou a técnica de classificação não supervisionada em imagens dos sensores Landsat – 5 e 8 para quantificar as mudanças temporais de uso e ocupação do solo que a expansão da silvicultura provocou no munícipio de Três Lagoas no Estado do Mato Grosso do Sul. Os autores constataram que no período de 1987 a 2017, a área de plantio silvicultural passou de 3,6% para 27,3% da área total da cidade. O resultado, considerado satisfatório pelos autores, foi compatível com os dados de plantio divulgados pelas empresas florestais, validando assim a metodologia utilizada.

Jim (2018) comparou o potencial de imagens de VANT's (veículos aéreos não tripulados) com os dados de um espectro radiômetro, tendo como objetivo a identificação e classificação por níveis de severidade da Ferrugem (Autropuccinia psidii), em plantios de eucalipto. Os resultados demonstraram que as imagens provenientes do VANT, apesar de possuírem menor sensibilidade espectral, são uma ótima fonte de dados para uma análise preliminar de ocorrência da ferrugem e, assim, orientar a tomada de decisão de quais áreas deverão ser analisadas, em laboratório, com o uso de equipamentos de maior sensibilidade espectral, como o espectro radiômetro.

Oliveira et al. (2014) avaliaram o potencial do uso de dados LiDAR (Light Detection and Ranging) aerotransportado (Airbone Laser scanning) na inferência do diâmetro a altura do peito (DAP) de plantios de eucalipto. Os valores de DAP foram correlacionados, a partir de diversos modelos, ao volume de madeira. A análise mostrou que modelos parabólicos proporcionaram resultados mais próximos dos valores de metros cúbicos de madeira computados na fábrica e que, de maneira geral, os resultados foram satisfatórios, mesmo havendo uma subestimativa do valor de volume total de madeira obtidos a partir dos dados do escâner a laser.

Silva (2013) obteve resultados promissores a partir do uso da tecnologia LiDAR através de um sensor aerotransportado para a estimativa de estoque de carbono na parte aérea de plantios de eucalipto. O autor, que comparou os resultados do LiDAR com os resultados de uma análise destrutiva de biomassa, aponta que além da vantagem de não ser uma técnica destrutiva, o uso do LiDAR oferece a oportunidade de estimativa rápida e

censitária. Por fim, destacou a importância de mais estudos sobre o tema no setor florestal, afim de validar o uso operacional desta técnica pelas empresas florestais.

Além dos exemplos descritos, diversos autores também aplicaram técnicas de sensoriamento remoto em florestas plantadas de eucalipto. Em sua pesquisa Souza et al. (2007) montaram um referencial bibliográfico reunindo alguns destes trabalhos, que possuem as mais variadas aplicações, como exemplo: o planejamento de reforma da área, levantamento de dados para o inventário florestal, mapeamento temporal dos plantios, discriminação espectral de eucalipto e pinus e a presença de pragas e falhas de plantio nos cultivos florestais.

2.4 Plantio e falhas em cultivos de eucalipto

O plantio consiste no estabelecimento de novas mudas que formarão o plantio florestal (FORMENTO, 2014). O plantio de qualidade é fundamental, principalmente para o eucalipto. Por ser uma cultura perene, com ciclo muito superior ao ciclo agrícola das commodities tradicionais, o impacto das falhas no plantio, só será perceptível sete anos depois, na colheita, através do impacto negativo na produtividade.

As falhas de plantio (Figura 2) são caracterizadas pela ausência de copa das árvores nas linhas de plantio (PONTES e FREITAS, 2015). Por possuir relação direta com a produtividade, elas são sistematicamente monitoradas e estimadas de modo a auxiliar na tomada de decisão em operações de silvicultura, como o replantio, que pode ser realizado até 120 dias após o plantio (RODRIGUEZ, 2001).

Figura 2 – Exemplo de falhas de plantio em cultivo de eucalipto.

Fonte: Elaboração própria (2019).

O monitoramento de falhas de plantio é um dos indicativos mais utilizados para detectar e auxiliar no planejamento das ações para o controle de insetos e pragas invasoras. Dentre essas pragas, a principal são as formigas cortadeiras, que alcançaram o nível de praga devido aos grandes prejuízos que causam aos cultivos florestais (BURATTO et al., 2011). Bonetti Filho (2017) destaca que as formigas cortadeiras são capazes de cortar grande quantidade de material vegetal, provocando perdas de produtividade estimadas em 15%, considerando a infestação média nacional.

Outro indicativo importante das falhas de plantio, que auxilia na tomada de decisão dos gestores de silvicultura, refere-se à incidência de plantas invasoras nos cultivos florestais. Essas plantas competem com as mudas de eucalipto por água, nutrientes e luz, reduzindo o estande da cultura, através da elevação da mortalidade, provocando custos com replantio e perdas na produtividade (TOLEDO, 2002).

Paiva et al. (2011) alertam que sempre que a porcentagem de falhas em plantios florestais for superior a 5% ou, mesmo que inferiores a este percentual, possuírem forma de reboleira[5], é necessário realizar o replantio, comumente manual, das mudas nas áreas atingidas. Além disso, os autores enfatizam a onerosidade dessa atividade e a necessidade de realiza-la em tempo próximo ao do plantio anterior, na tentativa de mitigar os possíveis impactos negativos na produtividade, em metros cúbicos de madeira, que a heterogeneidade na idade das árvores de eucalipto pode causar.

2.5 Identificação de falhas de plantio por sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto na agricultura provém da interação da radiação eletromagnética com o alvo, podendo ser o solo ou a planta (MULLA, 2013). De acordo com Lemaire (1997) as interações da vegetação com os sensores remotos são caracterizadas pelas propriedades óticas do alvo, correspondentes as frações da radiação incidente que são refletidas, transmitidas e absorvidas.

Baseados neste princípio Antuniassi & Salvador (2002) relataram o uso de imagens, provenientes de vários tipos de sensores remotos, na identificação de manchas em lavouras agrícolas, dentre eles, aeromodelos e aeronaves remotamente pilotadas.

[5] Reboleira: formação arbórea de pequena extensão; capão, moita, touça.

Frasson et al. (2007) e Alvares et al. (2015) estudaram o uso de um sensor ótico ativo para a identificação de falhas em culturas de cana-de-açúcar a partir da sua correlação com o NDVI calculado, e concluíram que, apesar da necessidade de calibração prévia do sensor às condições da cultura, os resultados foram satisfatórios e apresentaram altas correlações entre as variações de NDVI observadas nas imagens e a porcentagem de falhas de plantio detectadas no campo.

Medeiros et al. (2008) verificaram a possibilidade de identificação de falhas em cultivos de soja, na região de Santa Maria no Rio Grande do Sul, através de um VANT do subgrupo de aeronave remotamente pilotada, desenvolvida por eles. Os resultados satisfatórios, mesmo que dependente de alguns tratamentos das imagens, validaram o potencial do uso do RPA no reconhecimento de áreas com falhas de germinação e de semeadura.

Ruza et al. (2016) utilizaram ortofotos geradas por um VANT do subgrupo RPA como base para o estudo da aplicação de redes neurais na identificação de mudas de eucalipto. Como resultado os autores destacaram a importância do pós-processamento das imagens na mitigação dos erros, o que garantiu assertividade aproximada de 98%. Os erros identificados, provenientes da comparação dos resultados obtidos com a realidade de campo, foram, principalmente, os de subnotificação e classificação errônea de feições como plantas invasoras.

Pontes e Freitas (2015) processaram imagens RGB aéreas obtidas com o auxílio de um avião controlado remotamente (Figura 3) para estimar dados da qualidade de plantio: falhas, espaçamento, homogeneidade de plantio e porcentagem do uso do solo; em áreas de eucalipto. A análise das amostras, distribuídas em parcelas circulares de 400 m^2 a cada 5 hectares de plantio, mostrou que as fotografias apresentaram bons níveis de detalhe e tem potencial para serem utilizadas no monitoramento do plantio e na determinação dos planos de ação. Os autores também indicaram que a utilização de câmeras que abrangessem outras bandas do espectro eletromagnético[6] poderia trazer melhores resultados e aprimorar o estudo realizado.

[6] Espectro eletromagnético: representação gráfica dos diferentes comprimentos de onda (ou frequências) das radiações eletromagnéticas.

Figura 3 – Avião remotamente pilotado.

Fonte: Pontes e Freitas (2015).

Carneiro (2017) que obteve resultados significativos através do uso de VANT no monitoramento de plantios de eucalipto aos 120 dias, afirma que, apesar de algumas empresas florestais possuírem VANT's, poucas delas fazem uso operacional do mesmo no inventário florestal de plantios mais jovens, como por exemplo, aos 120 dias. A autora destaca, também, a importância de se ampliar pesquisas sobre o tema a fim de automatizar a contagem e marcação das plantas, bem como, servir de base para validar o uso operacional da técnica dentro das companhias do setor.

2.6 Uso de RPA na silvicultura

As aeronaves remotamente pilotadas (RPA) são um subgrupo de VANT, utilizada em atividades não recreativas e operadas remotamente (ANAC, 2019). Desde seu surgimento aeronaves remotamente pilotadas são empregadas no monitoramento da agricultura (ANDERSON e GASTON, 2013). Lisein et al (2013) comprovaram, a partir de pesquisa recente, a viabilidade da utilização de imagens coletadas através de RPA's para suportar práticas de manejo florestal como, por exemplo, no planejamento da colheita.

Braga (2016) fez uso de uma RPA para mapear plantios de eucalipto aos quatro anos de idade. As variáveis analisadas foram: falhas, tamanho da copa e mapeamento de uso do solo em áreas que deveriam ser destinadas ao plantio de eucaliptos. O resultado obtido através da classificação nas imagens geradas pela RPA quando comparado com a verdade de campo, foi considerado positivo. A autora destacou que a identificação das falhas de plantio e de uso de ocupação do solo foi 100% assertiva, enquanto que houve uma diferença entre os valores de tamanho de copa estimados pelo RPA com os valores medidos em campo, possivelmente pela interferência de uma copa na outra, devido à idade já mais avançada do plantio.

Tendo como uma das principais vantagens a análise individual dos alvos, no tempo e no espaço, em áreas de silvicultura e com tempo de revisitação ajustado de acordo com a necessidade requerida, as aplicações do uso de RPA's podem se estender desde o planejamento da área para o plantio até a colheita.

Quando comparado as imagens obtidas via satélite, os RPA's se apresentam superiores, pois não são limitados a presença de nuvens, podem voar em baixas altitudes, em velocidade reduzida e permitem a obtenção de imagens de altíssima resolução espacial (WHITEHEAD e HUGENHOLTZ, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

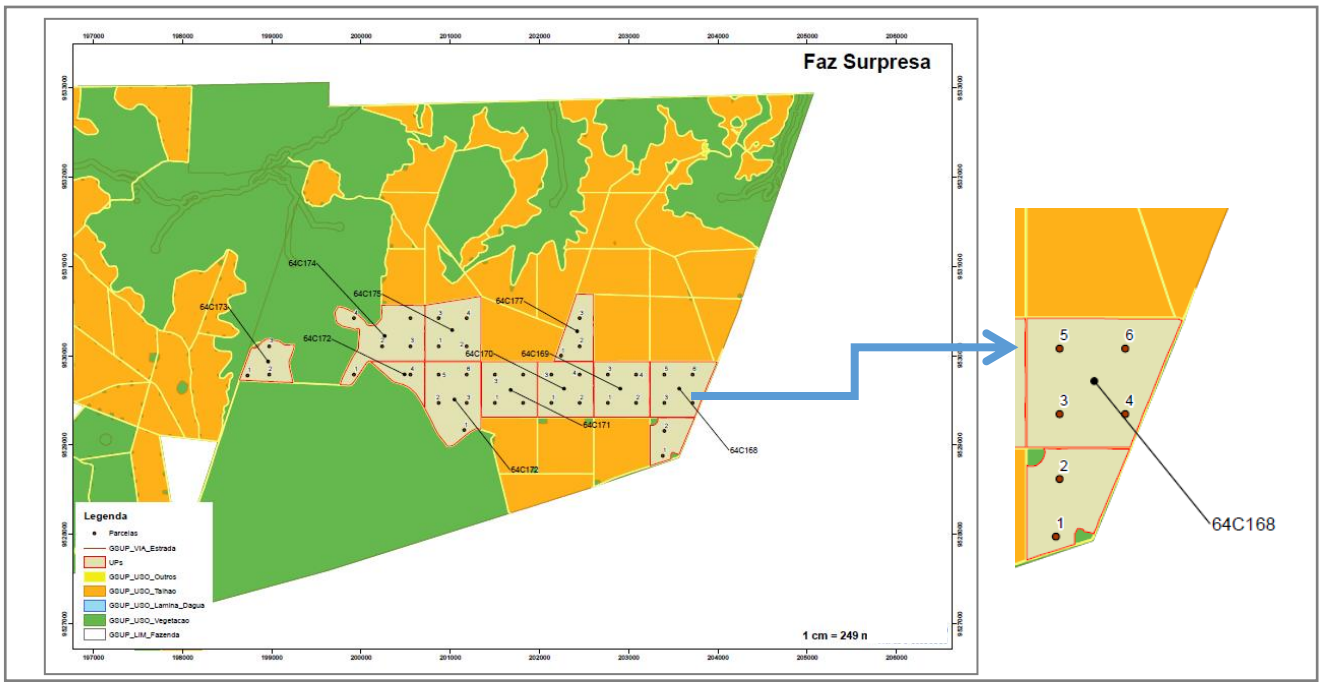
O levantamento foi realizado em unidades de produção (UPs) pertencentes a cinco fazendas de eucalipto do município de Bofete (Figura 4) no estado de São Paulo.

Figura 4 – Localização do município de Bofete no Estado de São Paulo.

Fonte: Wikimedia Commons (2020).

As coletas amostrais em campo foram obtidas a partir de parcelas circulares de 200 m^2 que foram aleatoriamente distribuídas nas UPs (Figura 5) com plantio de eucalipto de 4 meses de idade (120 dias), nos meses de agosto e setembro de 2019.

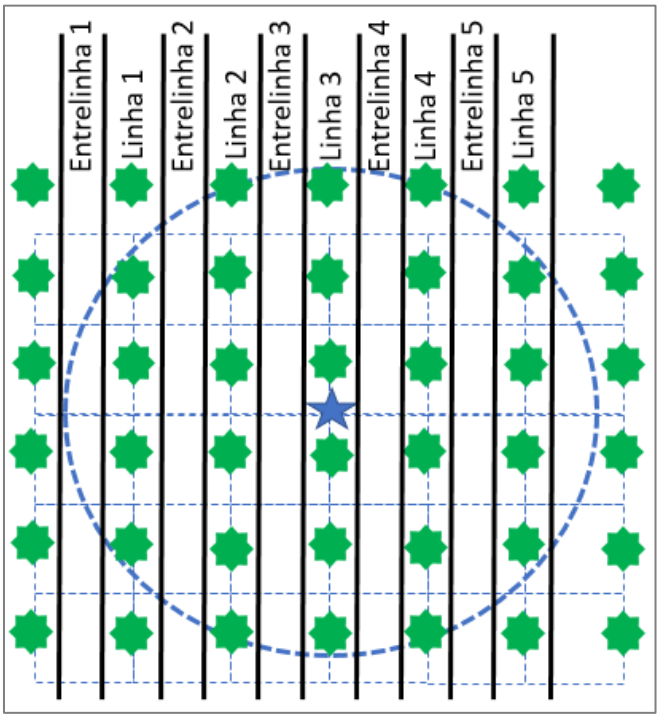
Figura 5 – Distribuição amostral de cada UP.



Fonte – Elaboração própria (2019).

Cada UP recebeu ao menos três parcelas e cada parcela circular teve seu centro georreferenciado e foi disposta de forma a conter 5 linhas de plantio e 5 entrelinhas (Figura 6).

Figura 6 – Representação das parcelas amostrais.



Fonte: Elaboração própria (2019).

No mesmo período e nas mesmas parcelas georreferenciadas do levantamento em campo, realizou-se o levantamento de avaliação de sobrevivência com o RPA a partir do modelo eBee S.O.D.A. (Figura 6) e câmera sensefly S.O.D.A. com um GSD (Ground Sample Distance) de 5 cm, comercializados, no Brasil, pela empresa Santiago & Cintra.

Figura 7 – RPA eBee S.O.D.A.

Fonte: Santiago & Cintra (2020).

Para estimar a sobrevivência aos 120 dias após o plantio inicialmente gerou-se o mosaico ortorretificado através do aplicativo emotion que vem integrado ao aplicativo do sensefly. O processamento das imagens ocorreu de forma automatizada, sendo que inicialmente foi realizado um pré-processamento principalmente para o ajuste do histograma das imagens.

Posterior ao pré-processamento realizou-se a segmentação das imagens e a análise de forma e área de objetos baseada no formato, tamanho, tonalidade, textura, localização (linha e entrelinha de plantio) e padrão. A partir da combinação desses elementos e do processamento no software ArcGis, foi possível separar o alvo de interesse (copas de eucalipto) do restante dos alvos existentes nas imagens.

A estimativa da porcentagem de falhas de cada parcela obtida pelo levantamento realizado com o RPA foi comparada com a estimativa obtida através do levantamento em campo. Além disso, também se obteve a porcentagem de falhas censitária de todas as áreas sobrevoadas, esses valores também foram comparados com os resultados de campo a fim de identificar possíveis desvios que o método convencional (por amostragem), acaba não contemplando.

Por fim, foram gerados mapas de sobrevivência, que visam geolocalizar as áreas com maiores índices de falhas e, assim, orientar a ida a campo para a identificação de possíveis causas, tais como: falha na atividade de plantio, presença de formigas cortadeiras, fitossanidade, entre outros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 estão os resultados obtidos da porcentagem de falhas através da amostragem em campo, do RPA por parcelas e do RPA de maneira censitária de cada UP.

Tabela 1 – Comparação da porcentagem de falhas.

UP	Nº Parcelas	%Falhas (amostradas no campo)	%Falhas (RPA por parcelas)	%Falhas (censo RPA)	Assertividade
62A001	5	0,8	1,0	2,0	80%
62A002	8	0,5	0,7	4,0	71%
63B173	4	1,0	1,0	2,0	100%
64A321	4	10,0	10,0	10,0	100%
64A338	8	4,0	4,0	4,0	100%
65B568	4	1,0	2,0	5,0	50%
66C033	4	2,0	2,5	5,0	80%
66C056	4	1,0	1,0	4,0	100%
81B077	7	0,6	4,5	6,0	13%
81B079	6	2,0	2,0	6,0	100%
81B221	5	0,8	1,0	5,0	80%
81B222	7	0,6	0,8	6,0	71%
81D038	4	4,0	5,6	14,0	72%
81D043	5	0,0	0,0	6,0	100%
91E001	7	4,6	4,7	5,0	97%
91E025	6	0,0	0,0	19,0	100%
Média	-	2,1	2,5	6,4	82,2%

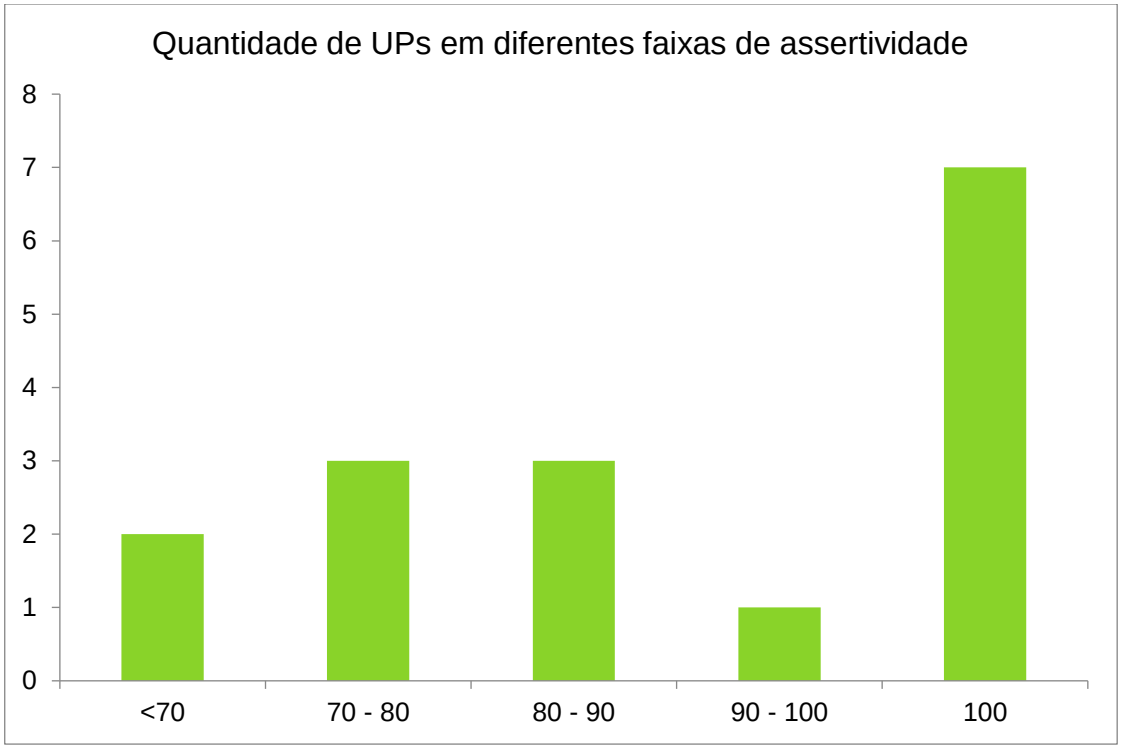
De acordo com a Tabela 1 podemos observar em alguns casos, um desvio dos valores de porcentagem de falhas nas parcelas observados em campo com os valores obtidos através do processamento das imagens de RPA, esse desvio encontra-se mensurado na coluna de assertividade.

Na Tabela 1 destaca-se a baixa assertividade, 13%, apresentada pelo levantamento de RPA da UP 81B077. O histórico de dados dessa UP não apontava a realização de nenhuma atividade e identificação de insetos ou pragas que justificassem essa diferença,

contudo com a ida a campo pode-se notar diferenças significativas de altura das mudas, provavelmente causada por uma geada que havia afetado a região. Higa (1998) estudou os efeitos da geada em plantios de eucalipto e observou que os cultivos sofreram impactos em seu crescimento, medido pelo diâmetro na altura do peito e pela altura, sobretudo os plantios mais jovens.

A assertividade média calculada foi de 82,2% e a distribuição dela nas UPs está representada na Figura 8.

Figura 8 – Distribuição da assertividade do levantamento com RPA.



Fonte: Elaboração própria (2019).

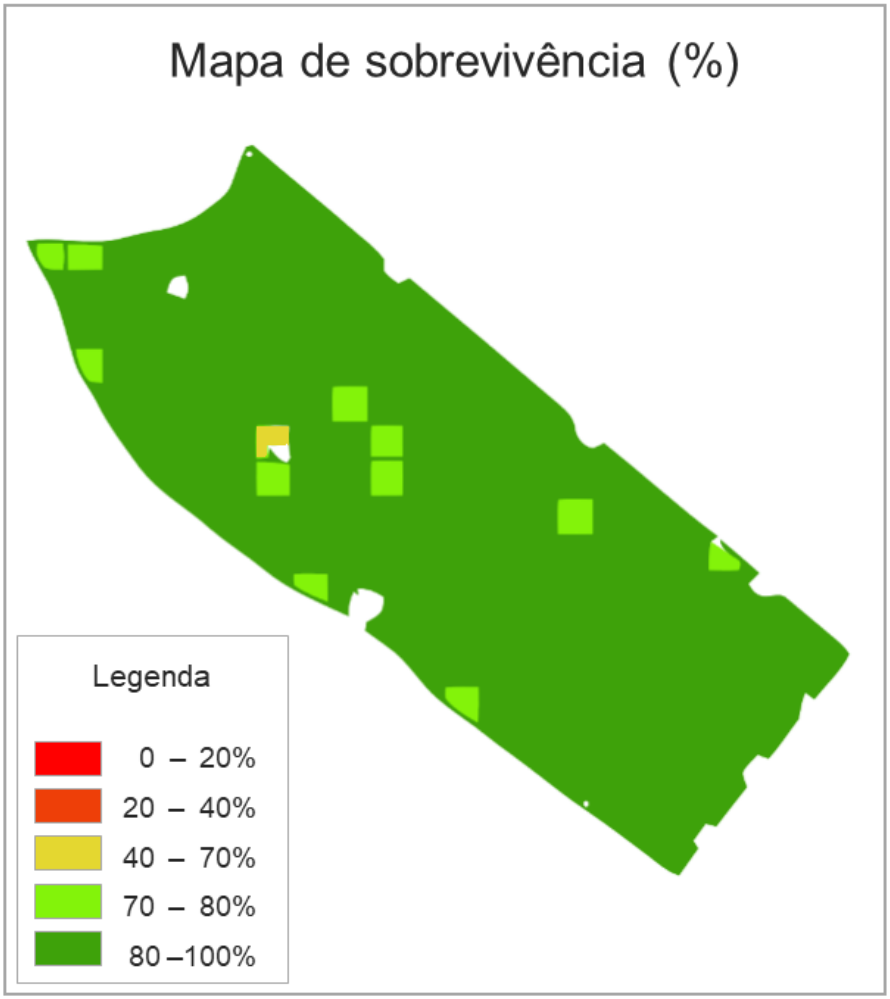
Na Figura 8, podemos observar que em apenas 2 UPs a assertividade do levantamento com RPA, quando comparada com o levantamento realizado no campo, ficou abaixo dos 70% e que em cerca de 70% a assertividade foi maior que 80%. Os erros com o processamento das imagens se deram, principalmente, pela subnotificação de mudas secas e sem folhas, que estavam com seu estágio de desenvolvimento retardado, devido principalmente ao stress hídrico e o ataque de formigas.

Por outro lado, quando comparamos, na Tabela 1, os resultados amostrais obtidos em campo com os resultados censitários do levantamento com o RPA, podemos observar desvios muito maiores. O exemplo mais crítico se deu com a UP 91E025, na qual o

levantamento amostral estimou 0% de falhas e o levantamento censitário estimou-as em 14%. Também é interessante observar que nesta UP a assertividade do RPA foi de 100%, ao se realizar a comparação das falhas nas parcelas, o que indica que o método tradicional, por amostragem em campo, pode acabar não mostrando o percentual real de falhas das áreas.

A Figura 9 ilustra o mapa de sobrevivência de plantas de um talhão pertencente a UP 62A001, que teve a sua porcentagem de falhas estimada em 2%.

Figura 9 – Mapa de sobrevivência de talhão da UP 62A001.



Fonte – Elaboração própria (2019).

Na Figura 9 podemos observar uma concentração de falhas representada pelo quadrante amarelo. A partir dessa visualização pode-se orientar uma tomada de decisão mais precisa, eficaz e eficiente, como por exemplo, a verificação em campo desse quadrante, que indicou que a ausência de mudas foi proveniente de falhas na atividade de plantio.

De maneira geral, os resultados indicam que o levantamento amostral atual não caracteriza a realidade do campo e acaba deixando de mensurar altos índices de falhas, mascarando grandes prejuízos na produtividade que acabarão sendo observados apenas na colheita da madeira. O levantamento com RPA que apresentou assertividade média de 80%, se mostrou uma boa alternativa para substituir o monitoramento atual pois, além de permitir a mitigação dos erros através de levantamento censitário, sua realização é rápida e de menor custo, quando comparado com o levantamento amostral em campo.

Não foram observados erros do levantamento com RPA referentes a identificação de mudas inexistentes.

5 CONCLUSÃO

Baseado no que foi anteriormente exposto, pode-se extrair as seguintes conclusões:

1. Os valores do levantamento com RPA apresentaram acurácia de cerca de 80%.
2. Os valores do levantamento amostral atual não representam a realidade de campo e acabam não identificando falhas que irão causar perdas significativas de produtividade do plantio.
3. Os resultados com RPA demandam uma equipe reduzida e são obtidos em menor tempo quando comparados ao manejo atual amostral.
4. Mesmo com a assertividade estimada abaixo dos 100%, o levantamento com RPA ainda é mais assertivo que o levantamento amostral e se mostrou uma boa alternativa para substituí-lo, principalmente por ser censitário e coletar as informações das áreas totais analisadas.
5. O mapa de sobrevivência é uma importante ferramenta para a promoção de tomadas de decisões corretas quando ao manejo das áreas. Vergani (2015) aponta que dados de sobrevivência são utilizados como suporte à decisão para ações de mitigação de baixas taxas de sobrevivência, principalmente na compensação de fustes.

REFERÊNCIAS

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2012**. 148p. Brasília, 2013.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Existem diferenças entre drones, aeromodelos, VANT e RPA?. Dúvidas frequentes. 2019. Disponível em: https://www.anac.gov.br/acesso-a-informacao/perguntas-frequentes/drones/existem-diferencas-entre-drones-aeromodelos-vant-e-rpa. Acessado em: 17/06/2020.

ALVARES, C. A.; OLIVEIRA, C. F; VALADÃO, T. F; MOLIN, J. P; SALVI, J. V.; FORTES, C. **Sensoriamento remoto no mapeamento de falhas de plantio em cana-de-açúcar**. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. Anais. 2008. p. 467-481.

ANDERSON, K.; GASTON, K. J. **Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology**. Frontiers in Ecology and the Environment, v. 11, n. 3, p. 138-146, 2013.

ANDRADE, S. F. **Sensoriamento remoto e algumas aplicações.** Caderno de estudos Geoambientais – CADGEO. Universidade Federal Fluminense – UFF, Rio de Janeiro – RJ, v.02, n. 01, p.13-26, 2011.

ANTUNES, R. M.; FRANCO, R. A. M.; OLIVEIRA, T. O. P.; **Evolução temporal da Silvicultura no uso e ocupação do solo no município de Três Lagoas – MS**. Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Jardim, MS, p. 903-912, 2018.

ANTUNIASSI , U.R.; SALVADOR, A. **Análise de imagens aéreas para mapeamento de plantas daninhas em sistemas de agricultura de precisão**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2002, Viçosa. Anais... Viçosa: UFV, 2002. 1 CDROM.

BARCELLOS, A. C.; **O uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) em monitoramentos de campo: aplicabilidades e viabilidades**. Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia – MG, p. 58, 2017.

BERTOLA, A.; **Eucalipto – 100 anos de Brasil, "falem mal, mas continuem falando de mim!"**. Disponível em htt://www.celso foelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf. Acessado em 25/11/2019.

BONETTI FILHO, R. Z.; **Manejo de formigas cortadeiras em florestas cultivadas**. Revista Opiniões. Ribeirão Preto – SP. Ano 14. n 46. 2017. p 21-22.

BURATTO, D. A.; CARDOSO, J. T.; ROLIM, F. A.; FILHO, W. R.; **Avaliação dos danos causados por formigas cortadeiras do gênero Acromyrmex (Hymenoptera) aos plantios de Pinus taeda no planalto sul-catarinense**. Revista Floresta Universidade Federal do Paraná. v. 42, n 4. Curitiba – PR, 2012. p. 683 - 690.

CARNEIRO, J. A.; **Análise do inventário florestal de sobrevivência por meio de informações coletadas com VANT**. Monografia (Especialização), Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba – PR, 31p., 2017.

CARVAS, C.; **Eucalipto: 100 anos da árvore no Brasil**. Disponível em https://aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/acervo/eucalipto-100-anos-arvore-brasil-434337.phtml. Acessado em 25/11/2019.

COLWELL, R. N.; **Manual of Remote Sensing**, 2nd. Ed., Falls Church: American Society of Photogrammetry – ASP, 1983.

DERECZYNSKI, C.P.; SILVA, M. G.A.J.; CRUZ, F.T.L. da. **Avaliação econômica do sequestro de CO2 a partir do plantio de florestas industriais**. 1998. Disponível em: http://www.cbmet.com/cbm-files/13163e97d0ad4920c2471a46c25246b548.pdf. Acessado em 13/01/2020.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T.; **Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão**. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FERNANDES, V.; **Curiosidade: o eucalipto no Brasil**. Blog do INFLOR. Disponível em https://www.inflor.com.br/curiosidade-o-eucalipto-no-brasil/. Acessado em 23/11/2019.

FORMENTO, S.; **Qualidade de povoamentos e correlações entre sobrevivência e altura de árvores de eucalipto em diferentes idades**. p8. Tese de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 2014. 52p.

FRASSON, F. R; MOLIN, J. P; SALVI, J. V.; POVH, F. P.; GARCIA, M. A. L. **Utilização de sensor ótico ativo no diagnóstico de falhas de plantio de cana-deaçúcar**. STAB, v. 26, n. 2, p. 34-37, 2007.

HIGA, R. C. V.; **Avaliação e recuperação de Eucalyptus dunni Maiden atingidos por geadas em Campo do Tentente - PR**. Tese (doutorado), Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba – PR, 111p., 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES – IBÁ; **Relatório 2019**. Pg 6. Disponível em https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf. Acessado em 25/11/2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE; **Produção da extração vegetal e da Silvicultura (Pevs) 2017**; Disponível em https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=publicacoes. Acessado em 20/11/2019.

LEMAIRE, G. **Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops**. New York: Springer, 239p, 1997.

LI, G.; WAN, S; YANG, Z.; ZHOU, J. **Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments, content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis L.*) seedlings to salt stress levels**. Industrial Crops and Products – IND. CROPS PRODUCTS, v. 31, p. 13-19, 2010.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R. W.; **Remote Sensing and Image Interpretation**, Chapter 7, John Wiley and Sons, Inc, New York, N.Y., 750 p, 1984.

LISEIN,J; PIERROT-DESEILLIGNY, M;BONNET, S;LEJEUNE P. **Aphotogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small unmanned aerial system imagery Forests**, p. 922-944, 2013.

LONGHITANO, G. A. **Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 148, 2010.

MAHAJAN, G. R.; SAHOO, R. N; GUPTA, V. K.; KUMAR, D.; **Using hyperspectral remote sensing techniques to monitor nitrogen, phosphorus, Sulphur and potassium in wheat (*Triticum aestivum* L.)**, Precison agriculture, v. 15, p. 499-522, 2014.

MEDEIROS, F. A.; ALONÇOL, A. S.; BALESTRA, M. R. G.; DIAS, V. O.; JÚNIOR, M. L. L.; **Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georreferenciado**. Revista Ciência Rural, Santa Maria – RS. v.38. n.8. 2008. p. 2375-2378.

MENDES, J.B. **Estratégias e Mecanismos Financeiros para Florestas Plantadas**. Foodand Agriculture Organization of the United Nations – FAO. 2005. 66p.

MORAES, R. M.; **Sensoriamento e classificação de imagens**. Apostila Processamento de Imagens. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa – PB, 1999.

MOREIRA, M. **Identificação de reflorestamentos por meio da análise quantitativa de imagens orbitais Landsat.1984**. 65 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - UFV, 1984.

MULLA, D. J. **Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps**. Biosystems Engineering, v. 114, n. 4, p. 358-371, 2013.

OLIVEIRA, L. T.; FERREIRA, M. Z.; CARVALHO, L. M. T.; FERRAZ FILHO, A. C.. OLIVEIRA, T. C. A.; SILVEIRA, E. M. O.; ARCEBI JUNIOR, F. W.; **Determinação do volume de madeira em povoamento de eucalipto por escâner a laser aerotransportado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília – DF, v.49, n.9, p.692-699, 2014.

PAIVA, H. N; JACOVINE, L.A.G.; TRINDADE, C.; RIBEIRO, G.T. **Cultivo de eucalipto: implantação e manejo**. Viçosa - MG: Aprenda fácil, 2011. 354p.

PONTES, G. R.; FREITAS, T. U. **Monitoramento de plantios de eucalipto utilizando técnicas de sensoriamento remoto aplicadas em imagens obtidas por VANT**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 17., 2015, João Pessoa. Anais... João Pessoa: SBSR/INPE, 2015. p. 4057-4064.

RODRIGUEZ, L. C. E. **Tornando o Planejamento Florestal Menos Complexo**. Revista Da Madeira. Edição N°59. Set, 2001. Disponível em http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=22&subject=E%20mais&title=Tornando%20o%20Planejamento%20Florestal%20Menos%20Complexo. Acessado em 24/11/2019.

ROSENDO, J. S.; **Índice de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari – MG – Utilizando dados do sensor Modis**. Tese (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia – MG, p. 152, 2005.

ROSOT, N. C. et al., **Uso de imagens de radar para a utilização de mapas florestais temáticos**. In: DISPERATI, A. A.; SANTOS, J. R. (Ed.). Aplicações de geotecnologias na Engenharia Florestal. Curitiba, PR: Copiadora Gabardo, 2004. p. 277-278.

RUZA, M.R.; DALLA CORTE; A.P.; HENTZ, A.M.K.; SANQUETTA, C.R.; SILVA,C.A.; SCHOENINGER, E.R. **Inventário de Sobrevivência de povoamento de Eucalyptus com uso de Redes Neurais Artificiais em Fotografias obtidas por VANTs**. Advances in Forestry Science, V.4, N.1, 2017.

SANTOS, C. L. M. O.; **Classificação de tipos de biomassa ao longo do ciclo vegetativo com séries temporais de imagens de múltiplos sensores**. Tese (mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas – Unicamp, Campinas – SP, p. 82, 2019.

SANTIAGO & CINTRA; **VANT eBee S.O.D.A**. Disponível em: https://www.santiagoecintra.com.br/produtos/vants/sensefly/vant-ebee-soda. Acessado em: 30/05/2020.

SILVA, C. A.; **Carbono na parte aérea de plantios de Eucalyptus spp. – em nível de árvore por amostragem destrutiva e para talhões inteiros após o ajuste de métricas LiDAR.** Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, p. 152, 2013.

SILVEIRA, P. **Métodos Indiretos de Estimativa do Conteúdo de Biomassa e do Estoque de Carbono em um Fragmento de Floresta Ombrófila Densa.** Tese – Programa de Engenharia Florestal / A. Concentração: Manejo Florestal - UFPR. Curitiba, 2008.

SOUZA, C. C.; MOREIRA, A. A.; SCHIMITH, R. S.; BRANDÃO, P. C.; SILVA, E.; **Técnicas de Sensoriamento Remoto como subsídios aos estudos de florestas implantadas no Brasil – uma revisão bibliográfica**. Ciência Florestal, Santa Maria – RS, v.17, n.4, p. 409-417, 2007.

TOLEDO, R. E. B.; **Faixas e períodos de controle de plantas daninhas e seus reflexos no crescimento do eucalipto**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, p 146, 2002.

VERGANI, A.R.; **Sobrevivência de brotação de Eucalipto e delimitação da áreade talhões pós-colheita utilizando Veículos Aéreos Não Tripulados**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 2015.

VETORAZZI, C. A.; ÂNGULO FILHO, R.; FERRAZ, S. F. B.; VALENTE, R. O. **Geotecnologias dão suporte à gestão dos recursos florestais**. Revista Visão Agrícola – Ciência e Tecnologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba – SP, n4, p. 97-100, 2005.

WIKIMEDIA COMMONS; **Localização do município de Bofete no Estado de São Paulo**. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SaoPaulo_Municip_Bofete.svg. Acessado em 30/05/2020.

WHITEHEAD, K; HUGENHOLTZ, C. H. **Remote sensing of the environment withsmall unmanned aircraft systems (UASs)**, part 1: a review of progress andchallenges. Journal of Unmanned Vehicle Systems, v. 2, n. 3, p. 69-85, 2014.doi:10.1139/juvs-2014-0007.