

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTIMATIVA DA SOBREVIVÊNCIA DE REBROTAS EM
POVOAMENTO DE *Eucalyptus spp* COM USO DE VEÍCULO
AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)**

Joissy Mayara de Almeida Andrade

Bacharel em Ciência da Computação

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTIMATIVA DA SOBREVIVÊNCIA DE REBROTAS EM
POVOAMENTO DE *Eucalyptus spp* COM USO DE VEÍCULO
AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)**

Discente: Joissy Mayara de Almeida Andrade

Orientador: Prof. Dr. Gener Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Denizart Bolonhezi

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

A553e Andrade, Joissy Mayara de Almeida.

Estimativa da sobrevivência de rebrotas em povoamento de *Eucalyptus spp* com uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) / Joissy Mayara de Almeida Andrade. – Jaboticabal, 2019.

30 p. : tabs., fotos + 1 CD-ROM.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

Orientador: Gener Pereira.

Coorientador: Denizart Bolonhezi.

1. Classificador de imagens. 2. Geoprocessamento. 3. Manejo florestal. 4. Uso do solo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Esta ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ESTIMATIVA DA SOBREVIVÊNCIA DE REBROTAS EM POVOAMENTO DE *Eucalyptus* spp COM USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

AUTORA: JOISSY MAYARA DE ALMEIDA ANDRADE

ORIENTADOR: GENER TADEU PEREIRA

COORDENADOR: DENIZART BOLONHEZI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GENER TADEU PEREIRA
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA
Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pesquisador Dr. MARCELO ZANATA
Divisão de Florestas e Estações Experimentais / Instituto Florestal - Batatais/SP

Jaboticabal, 25 de junho de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Joissy Mayara de Almeida Andrade – Brasileira, nascida em 7 de setembro de 1991 na cidade de Porecatu, PR. Filha de João Milton de Andrade e Maysa Luz de Almeida. Ingressou em janeiro de 2011 no curso de Bacharel em Ciência da Computação, no Centro Universitário Uniseb Coc, em Ribeirão Preto - SP. Durante o período de graduação, desenvolveu o trabalho na área de estatística voltada para a infestação de formigas cortadeiras em florestas plantadas de eucalipto, no Estado de São Paulo, e, nesta mesma linha de pesquisa, em caráter voluntário, participou do programa de Iniciação Científica da Instituição de 2012 a 2014, em ambas as atividades, sob a orientação da Prof.^a Dra. Daniela Maria Lemos Barbato Jacobovitz. Em janeiro de 2015, obteve o título de Cientista da Computação e certificado de “Honra ao Mérito” pelo trabalho de graduação apresentado. Desde novembro de 2010, trabalha na Empresa Eficiente Tecnologia e, durante a graduação, o trabalho de iniciação científica desenvolvido buscou melhorias em processos realizados na empresa. Em março de 2016, cursou disciplinas como aluna especial no programa de Mestrado em Agronomia e, em março de 2017, ingressou como aluna regular no curso de Pós-Graduação em Agronomia, Programa Ciência do Solo, na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal - SP, na linha de pesquisa de Engenharia de Água e Solo, sob orientação do Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira, desenvolvendo pesquisa voltada para a adequação de processos técnicos na Empresa em que atua, com o principal objetivo de verificar a sobrevivência de rebrotas em povoamento de eucalipto, a partir de imagens obtidas por sensores a bordo de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs).

“As nuvens mudam sempre de posição, mas são sempre nuvens no céu. Assim devemos ser todo dia, mutantes, porém leais com o que pensamos e sonhamos; lembre-se: tudo se desmancha no ar, menos os pensamentos.” - Paulo Beleki

DEDICO

A minha mãe e minha avó: Maysa Luz de Almeida e Maria da Luz Almeida, pela base e apoio dado em mais uma etapa e, acima de tudo, pelo amor incondicional. Nada disso teria sentido se vocês não existissem em minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de viver, sonhar e a cada dia adquirir mais conhecimento para entender e admirar suas criações. Sem Ele, este sonho não seria possível, e por me presentear com oportunidades e pessoas tão queridas.

À minha mãe e avó, Maysa e Maria, por sempre estarem ao meu lado, aceitarem minhas escolhas, apoiarem minhas decisões, pela paciência, por terem se privado para me proporcionar o melhor e por todos os seus esforços. Nunca conseguirei agradecer o suficiente, nem demonstrar minha admiração por vocês!

À minha tia Margarete, que aos meus sete anos, presenteou-me com a coleção “*O Reino da Frutolândia*”, e incentivou-me a enxergar na educação um modo de causar a mudança que tanto buscamos, e que os livros nos levam a lugares distantes sem que saíamos de nossas casas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira, pela orientação, pela paciência, pelos ensinamentos e por toda a confiança em mim depositada.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Denizart Bolonhezi, pelo auxílio em minha pesquisa.

À Prof^a. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissara, pela paciência em contribuir para este trabalho, pois, mesmo com outros alunos e compromissos envolvendo as aulas de Graduação e Pós-Graduação, dedicou-se, demonstrando seus conhecimentos e sua confiança neste trabalho, dando-me total atenção, em todos os momentos de que necessitei.

À Empresa Eficiente Soluções Florestais, representada na pessoa de Denis Rogério Pretto e todos os amigos, nesta jornada de quase nove anos, por me auxiliarem nesta caminhada, em que sempre me apoiou na medida do possível, incluindo liberação para assistir às aulas, disponibilizando ferramentas, para que este trabalho pudesse ser realizado e a assistência necessária para que eu pudesse realizar este sonho.

Às minhas amigas de longa data: Domênica Pereira, Elessandra Souza, Thaís Lopes, Marina Viotto, Flávia Costa, Flávia Oliveira, Eloísa Garrido, Anne Braga, Priscila Paterlini, Isabela Censi, Caroline Franchini, Caroline Buchaim e Gustavo Paziani, e também às amigadas que chegaram de repente e motivaram a seguir com este propósito: Daniela Casagrande e Carla Gomide, pela compreensão, incentivo e amizade, mesmo nos momentos em que eu estava ausente.

Aos amigos da FCAV: Yane Freitas, Paulo Henrique Soares, Hygor Siqueira, Thiago Andrade, Karolina Reis e Andreísa Flores, pelo companheirismo e acolhimento durante os momentos de alegrias e ansiedades, e de todas as palavras de apoio recebidas.

À minha família, que entendeu, durante este período, o que é trocar a reunião de família, por elaborar um projeto e por trabalhar nele. Sacrifícios são necessários, para que possamos um dia chegar aos nossos objetivos.

A todos os que, de alguma forma, colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

Todos os dias agradeço por ter iniciado este desafio e finalizá-lo com a sensação de dever cumprido, pela motivação que recebia para que pudesse vencer as dificuldades e chegar até aqui.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes” (Martin Luther King)

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
 1 INTRODUÇÃO	 1
 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	 3
2.1 Florestas Plantadas	3
2.2 Desenvolvimento do Eucalipto	4
2.3 Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs).....	5
2.3.1 VANT de Produção Florestal	6
2.4 Sensoriamento Remoto	7
2.5 Geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas (SIG)	8
2.6 Classificadores de Imagens.....	8
2.6.1 Classificação não supervisionada.....	10
 3 OBJETIVOS.....	 13
 4 MATERIAL E MÉTODOS	 14
4.1 Caracterização da área de estudo, tipo de solo e declividade	14
4.2 Amostragem e Coleta de Dados	15
4.3 Obtenção de Fotos	17
4.4 Classificação Supervisionada e Classificadores	18
4.5 Pós-classificação supervisionada	20
 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	 23
 6 CONCLUSÕES	 26
 7 REFERÊNCIAS.....	 27

Estimativa da Sobrevivência de Rebrotas em Povoamento de *Eucalyptus spp* com uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)

RESUMO – O manejo florestal é de grande valia para aprimorar o processo de condução de florestas plantadas. As tecnologias inovadoras podem ser utilizadas como apoio na melhoria de processos, como o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs), que vêm destacando-se por suas inúmeras aplicações. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência das imagens aéreas obtidas por sensores a bordo de VANT para a detecção e a estimativa da sobrevivência de rebrotas em povoamento de *Eucalyptus spp* e verificar a viabilidade do uso de VANT para obter a estimativa de rebrotas em povoamento de eucalipto, tendo como testemunha as técnicas tradicionais de levantamento em campo para a avaliação de sobrevivência de 90 até 110 dias após a colheita, quantificando o número de regenerações presentes nos talhões observados. O estudo foi conduzido em uma área com indivíduos de uma floresta plantada da cultura de *Eucalyptus spp*, localizada no município de Capão Bonito – SP. A técnica estatística utilizada foi o classificador de máxima verossimilhança implementado no Sistema de Informação Geográfica (SIG). Concluiu-se que o classificador de máxima verossimilhança apresenta precisão (confiabilidade nas informações retornadas). Assim o processo de classificação por sensor de VANT foi eficiente para aprimorar o manejo em campo.

Palavras-chave: classificador de imagens, geoprocessamento, manejo florestal, uso do solo.

Estimation of Survival of Sprouts in *Eucalyptus* Population Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

ABSTRACT – The forest management is of great value to improve the process of management in planted forests. Innovative technologies can be used as support in improving processes, such as the use of Unmanned Aerial Vehicle (UAV), that have been outstanding for their many applications. The objective of this work was to evaluate the efficiency of aerial images obtained by sensors aboard UAV for detecting and estimating the survival of sprouts in *Eucalyptus* spp. *eucalyptus*, bearing in mind the traditional techniques of field survey for survival evaluation from 90 to 110 days after harvest, quantifying the number of regenerations present in the fields observed. The study was conducted in an area with individuals from a planted forest of *Eucalyptus* spp, located in Capão Bonito - SP. The statistical technique used was the maximum likelihood classifier implemented in the Geographic Information System (GIS). It was concluded that the maximum likelihood classifier presents precision (reliability in the information returned). The process UAV sensor image classification process was efficient to improve field management.

Key words: image classifiers, geoprocessing, forest management, land use.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de florestas e seus segmentos	3
Figura 2. Comparativo obtenção de imagens.....	6
Figura 3. Limite de decisão.....	11
Figura 4. Esquema de aplicação do algoritmo da máxima verossimilhança (Eastman, 1998, adaptado).....	12
Figura 5. Fluxograma Máxima Verossimilhança.....	12
Figura 6. Localização da área de estudo em Capão Bonito – SP, Brasil	14
Figura 7. Mapa de Declividade da área de estudo em Capão Bonito – SP, Brasil	15
Figura 8. Área de Estudo - Fazenda Inglês: T002, T006, T012 e T013 – Capão Bonito – SP, Brasil.....	16
Figura 9. Pontos coletados a partir de amostra (A) e censo (B)	17
Figura 10. Ortofotos processadas a partir da saída do software Pix4d em RGB.....	18
Figura 11. Gerenciador de amostra de treinamento, considerando os Pixels e as áreas de interesse.	19
Figura 12. Classificações de imagens utilizadas depois de criada a assinatura espectral.....	20
Figura 13. Exemplo de aplicação da classificação supervisionada a partir da assinatura digital em uma das áreas trabalhadas.	20
Figura 14. Conversão da classificação supervisionada em polígonos.	21
Figura 15. Conversão dos polígonos para ponto, no centro de cada polígono.	22
Figura 16. Gráfico de regressão linear: Censo x Estimativa MaxVer	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Identificação das áreas de estudo e número de brotações encontradas, por amostra, censo e classificação supervisionada.....	23
Tabela 2. Regressão linear e erro padrão da regressão.	24

1 INTRODUÇÃO

No desenvolvimento do sistema de produção de florestas plantadas, o Eucalipto está dividido da seguinte maneira: o papel e a celulose concentram 34% de área plantada, os produtores independentes com 26,8%, a siderurgia e o carvão vegetal 15,2%, os investidores financeiros 10,2%, os de painéis de madeira industrializada 6,8% e os serrados, móveis e outros produtos sólidos 7%. Os plantios de *Pinus* e *Eucalyptus* no Brasil, em 2016 totalizaram 7,7 milhões de hectares, sendo que 76,60% equivalem às áreas de cultivo de *Eucalyptus* (ABRAF, 2016).

O cultivo intensivo das florestas é a base para a Silvicultura, em que se busca produzir a maior quantidade de madeira, em menor tempo, com o menor custo e com as adequadas características da madeira para sua utilização (Romero, 2008). O manejo de florestas utilizando a regeneração por brotação das cepas vem sendo praticado há muitos anos, em diversas partes do mundo (FAO, 1981; Anderson et al., 1983; Daniel et al., 1979; Taylor et al., 1982; Klein, 1997).

O manejo das regenerações de eucalipto pode tornar-se vantajoso, pois a taxa do crescimento inicial do Eucalipto por brotação é superior à de povoamentos para alto fuste, com a mesma idade, ou seja, é possível antecipar a produtividade máxima em determinada área (Cacau et al., 2008).

A talhadia é a condução do crescimento dos brotos nas cepas da floresta recém-cortada, dando início a um novo ciclo florestal, e aplica-se somente às espécies florestais que tenham capacidade de brotar após o seu corte. A utilização deste sistema proporciona menores custos na produção madeireira, produção de madeira de menores dimensões, dispensa de preparo de solo e aquisição de mudas, e ciclos de cortes mais curtos, com antecipação de retornos financeiros mais rápidos (Lamprecht, 1990; Evans, 1992).

Visando aumentar a eficiência e utilizando o manejo diferenciado das áreas, tem sido adotado o uso da Silvicultura de Precisão - SP, que utiliza, entre outras técnicas, os veículos aéreos não tripulados (VANTs) e o sensoriamento remoto. Com a SP é possível otimizar as operações, melhorar a produtividade e o rendimento, reduzir custos e fornecer informações para a gestão e a tomada de decisão nas etapas do manejo, as quais devem ser rápidas e eficientes (Mantovani et al., 1998).

A utilização dos VANTs no sistema de produção florestal teve seu início no Brasil, na década de 80 (Medeiros et al., 2008), com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto, o que proporcionou uma redução do custo no manejo. A aquisição de dados de alta resolução espacial por sensores, quando comparados a uma aeronave tripulada ou a um satélite, para os mesmos fins (Jensen, 2009), é mais onerosa. Os VANTs representam ferramentas auxiliares no processo de gerenciamento operacional e contam com os recursos e sensores capazes de gerar imagens com nível de detalhamento em menor custo que os satélites tradicionais (Molin, 2011).

Para distintas abordagens, estudos já comprovaram a eficiência do uso de dados obtidos por VANTs na geração de informações sobre a cobertura florestal. Podem-se destacar alguns deles, como: o estudo desenvolvido que utilizou dados no infravermelho termal e multiespectrais para o monitoramento da vegetação (Berni et al., 2009); ou o estudo que demonstrou a utilização de índices de vegetação como base para a geração de informações biofísicas da vegetação (Glenn et al., 2008; Baatz e Shäpe, 2000; Whiteside e Ahmad, 2005; Chubey et al., 2006).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência das imagens aéreas obtidas por sensores a bordo de VANT para a detecção e a estimativa da sobrevivência de rebrotas em povoamento de eucalipto, e verificar a viabilidade do uso de VANT para obter a estimativa de rebrotas em povoamento de eucalipto, tendo como testemunha as técnicas tradicionais de levantamento em campo para a estimativa de sobrevivência de 90 até 110 dias após a colheita, quantificando o número de regenerações presentes nos talhões observados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Florestas Plantadas

Florestas plantadas são compostas de árvores estabelecidas por plantio e semeadura deliberada de espécies nativas ou introduzidas. O estabelecimento é feito por reflorestamento em terra que não carregou a floresta em memória viva ou pelo reflorestamento de terras anteriormente florestadas (Silva, 2010).

As florestas plantadas compreendem o componente plantado em florestas seminaturais e plantações florestais para fins produtivos e de proteção. A lógica do agrupamento recém-aplicado é que o componente plantado de floresta seminatural, com padrões de estabelecimento semelhantes e tratamentos silviculturais intensivos, não é materialmente diferente das plantações florestais. O escopo das florestas plantadas no contínuo de tipos florestais é descrito na Figura 1. Subsequentemente apresentam-se algumas imagens referentes à comparativa proposta (Mattos, 2002).

Floresta natural		Florestas Plantadas			
Primário	Florestas naturalmente regeneradas	Semi- Natural		Plantação	
Floresta de espécies nativas, onde não há indicações claramente visíveis de atividades humanas e os processos ecológicos não são significativamente perturbados	Floresta de espécies nativas naturalmente regeneradas onde existem indicações claramente visíveis de atividades humanas	<u>Regeneração natural assistida</u> através de práticas silviculturais	Componente Plantado	Produtivo	Protetora
		• Remoção de ervas daninhas • Adubação • Desbaste • Registro seletivo	Floresta de espécies nativas, estabelecida através de plantio, semeadura, talhadia	Mata de espécies principalmente introduzidas e nativas, estabelecidas através de plantio ou semeadura, principalmente para <u>produção de madeira ou produtos não-madeireiros</u>	Mata de espécies nativas ou introduzidas, estabelecidas através de plantio ou semeadura, principalmente para <u>prestação de serviços</u>

Figura 1. Tipos de florestas e seus segmentos

Fonte: Mattos (2002)

2.2 Desenvolvimento do Eucalipto

Os eucaliptos foram introduzidos da Austrália para os demais países após a expedição de Cook, em 1770. Coletados por Sir Joseph Banks, botânico da expedição, eles foram posteriormente distribuídos a muitas partes do mundo, especialmente Califórnia, Brasil, Equador, Colômbia, Etiópia, Marrocos, Portugal, África do Sul, Uganda, Israel-Palestina, Galícia e Chile (Ahrens e Pinto Junior, 2010).

Na ordem de 250 espécies, estão sob cultivo na Califórnia. Em Portugal e na Espanha, foram plantados eucaliptos para a produção de madeira para celulose. Os eucaliptos são a base de vários setores, como serrarias, celulose, carvão e outros. Entretanto, várias espécies tornaram-se invasoras e estão causando grandes problemas para os ecossistemas locais, principalmente devido à ausência de corredores de vida selvagem e manejo de rotação. Os eucaliptos têm muitos usos que os tornaram árvores economicamente importantes e tornaram-se uma cultura comercial em áreas pobres como Timbuktu, Mali e Andes peruanos, apesar das preocupações de que as árvores sejam invasivas em alguns países como a África do Sul. As mais conhecidas são talvez as variedades karri e yellow box (Mendes, 2004).

Devido ao seu rápido crescimento, o principal benefício dessas árvores é a madeira. Os indivíduos podem ser cortados na raiz e voltar a crescer. Eles fornecem muitas características desejáveis, para uso como ornamento, madeira, lenha e madeira para celulose, e também é usado em várias indústrias, desde mourões e carvão até à extração de celulose para biocombustíveis. O rápido crescimento também os torna árvores com grandes possibilidades de quebra devido aos ventos (Serviço Florestal Brasileiro, 2012). Os eucaliptos extraem uma enorme quantidade de água do solo por processo de transpiração. São plantados (ou replantados) em alguns lugares para baixar o lençol freático e reduzir a salinização do solo.

Os eucaliptos também têm sido usados como uma forma de reduzir a malária, drenando o solo, na Argélia, no Líbano, na Sicília, em outras partes da Europa, no Cáucaso (oeste da Geórgia) e na Califórnia (Ahrens e Pinto Junior, 2010). A drenagem remove pântanos que fornecem um habitat para larvas de mosquito, mas também pode destruir áreas ecologicamente produtivas. Essa drenagem não se limita à superfície do solo, pois as raízes do eucalipto têm até 2,5 m de comprimento e podem, dependendo da localização, atingir a zona freática (Mendes, 2004).

2.3 Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs)

Um veículo aéreo não tripulado (VANT), comumente conhecido como drone, é uma aeronave sem um piloto humano a bordo. O VANT é o componente de um sistema de aeronaves não tripuladas (ANT) que incluem um controlador terrestre e um sistema de comunicação entre os dois. O voo do VANT pode operar com vários graus de autonomia: sob controle remoto por um operador humano ou de forma autônoma por computadores de bordo (Jardim, 2007).

Comparado a aeronaves tripuladas, os VANTs eram originalmente usados para missões muito "perigosas" para humanos. Embora tenham-se originado principalmente em aplicações militares, seu uso está expandindo-se rapidamente para aplicações comerciais, científicas, recreativas, agrícolas e outras, como policiamento, manutenção da paz e vigilância, entregas de produtos, fotografia aérea, agricultura, contrabando e corridas de zumbido. Os VANTs civis agora superam amplamente os VANTs militares, com estimativas de mais de um milhão vendidos até 2015, para que possam ser vistos como uma aplicação comercial inicial de coisas autônomas, a serem seguidas por robôs autônomos de carro e casa (Fernandes, 2010).

Várias terminologias são usadas para VANTs, que geralmente se referem ao mesmo conceito. O termo drone, mais amplamente utilizado pelo público, foi cunhado em referência à aeronave-alvo, no início remotamente pilotado, usado para a prática de tiro de armas de um navio de guerra, e o termo foi usado pela primeira vez na década de 1920 de Fairey Rainha e 1930 de *Havilland Queen Bee* - alvo aeronave. Estes dois foram seguidos em serviço pelo *Airspeed Queen Wasp* e *Miles Queen Martinet*, antes da substituição definitiva pelo GAF Jindivik (Eliot, 2007).

Um VANT é definido como um "veículo aéreo motorizado que não transporta um operador humano e usa forças aerodinâmicas para fornecer sustentação de veículo, pode voar autonomamente ou ser pilotado remotamente". Portanto, os mísseis não são considerados VANTs porque o veículo em si é uma arma que não é reutilizada, embora seja também não tripulada e, em alguns casos, guiada remotamente (Francisco, 2004).

A relação dos VANTs com aeronaves modelo controladas remotamente não é clara. VANTs podem ou não incluir modelos de aeronaves. Algumas jurisdições baseiam sua definição em tamanho ou peso; no entanto, a *US Federal Aviation Administration* define qualquer nave voadora não tripulada como um VANT,

independentemente do tamanho. Para usos recreativos, um drone (em oposição a um VANT) é um modelo que possui vídeo em primeira pessoa, recursos autônomos ou ambos (Jardim, 2007).

A Figura 2, a seguir, exhibe uma comparação genérica entre as três diferentes técnicas de aquisição de imagens aéreas: satélite, fotogrametria tradicional e VANT. Foram levados em consideração fatores como Condições, Tempo, Qualidade e Custos (Silva Neto, 2013).

				
		SATÉLITE	FOTOGRAMETRIA TRADICIONAL	VANT
CONDIÇÕES	SOBREVOAR ÁREAS URBANAS	POSSÍVEL	POSSÍVEL	NÃO É POSSÍVEL
	SOBREVOAR ABAIXO DAS NÚVENS	NÃO É POSSÍVEL	NÃO É POSSÍVEL	POSSÍVEL
TEMPO	PERÍODO DE REVISITA	SEMANAS	ALGUNS DIAS	DIÁRIO
	TEMPO PARA OBTENÇÃO DOS DADOS BRUTOS	RÁPIDO	MÉDIO	RÁPIDO
	TEMPO PARA AQUISIÇÃO DA ORTOFOTO	RÁPIDO	MÉDIO	RÁPIDO
QUALIDADE	RESOLUÇÃO ESPACIAL (GSD)	RUIM	ÓTIMA	ÓTIMA
	ACURÁCIA PLANIMÉTRICA	RUIM	ÓTIMA	BOA
	ACURÁCIA ALTIMÉTRICA	RUIM (SRTM)	ÓTIMA	BOA

Figura 2. Comparativo obtenção de imagens.
Fonte: Silva Netto (2013).

2.3.1 VANT de Produção Florestal

O uso de VANTs no sistema de produção florestal teve início no Brasil na década de 80 (Medeiros et al., 2008). Os VANTs representam ferramentas auxiliares com grande potencial, para que seja possível gerar mapas de produtividade em diferentes tipos de cultura, por contar com recursos capazes de gerar imagens com nível de detalhamento maior que satélites tradicionais (Molin, 2011). Entretanto, muito ainda precisa avançar para usarmos VANTs em florestas plantadas ou nativas. E a difusão de tecnologias ainda segue rotinas e preceitos criados na extensão rural, que norteiam sempre a demonstração de resultados como forma de estimular o produtor florestal a adotar tecnologias inovadoras, conforme cita Roncoletta (2016).

Para distintas abordagens e estudos já comprovados a eficiência do uso de dados obtidos por VANTs na geração de informações sobre a cobertura florestal, podem-se destacar alguns deles, tais como: o estudo desenvolvido que utilizou dados no infravermelho termal e multiespectrais para o monitoramento da vegetação (Berni et al., 2009), demonstrou a utilização de índices de vegetação como base para a geração de informações biofísicas da vegetação (Glenn et al., 2008; Baatz e Schäpe, 2000; Whiteside e Ahmad, 2005; Chubey et al., 2006).

2.4 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é a aquisição de informações sobre um objeto ou fenômeno sem fazer contato físico com o objeto e, portanto, em contraste com a observação no local, especialmente a Terra (Calijuri e Röhm 1994).

O termo "sensoriamento remoto" geralmente se refere ao uso de tecnologias de sensores baseados em satélites ou em aeronaves para detectar e classificar objetos na Terra, incluindo na superfície, na atmosfera e nos oceanos, com base em sinais propagados (por exemplo, radiação eletromagnética). Pode ser dividido em sensoriamento remoto "ativo" (ou seja, quando um sinal é emitido por um satélite ou aeronave, e sua reflexão pelo objeto é detectada pelo sensor) e sensoriamento remoto "passivo" (ou seja, quando a reflexão da luz do sol é detectada pelo sensor) (Corrêa, 2009).

Sensores passivos coletam radiação emitida ou refletida pelo objeto ou por áreas adjacentes. A luz solar refletida é a fonte mais comum de radiação medida por sensores passivos. Exemplos de sensores remotos passivos incluem a fotografia de filme, infravermelho, dispositivos de carga acoplada e radiômetros. A coleta ativa, por outro lado, emite energia para escanear objetos e áreas onde um sensor detecta e mede a radiação que é refletida ou retro difundida do alvo. RADAR e LiDAR são exemplos de sensoriamento remoto ativo onde o tempo de atraso entre emissão e retorno é medido, estabelecendo a localização, a velocidade e a direção de um objeto.

O sensoriamento remoto possibilita a coleta de dados de áreas perigosas ou inacessíveis. As aplicações de sensoriamento remoto incluem o monitoramento do desmatamento em áreas como a Bacia Amazônica, características glaciais nas regiões árticas, antárticas, profundidades litorâneas e oceânicas. A coleta militar durante a Guerra Fria fez uso da coleta de dados sobre áreas de fronteira perigosas.

O sensoriamento remoto também substitui a coleta de dados onerosa e lenta no solo, garantindo no processo que as áreas ou os objetos não sejam afetados (Corrêa, 2009).

As plataformas orbitais coletam e transmitem dados de diferentes partes do espectro eletromagnético que, em conjunto com a detecção e a análise aérea ou terrestre em escala maior, fornecem aos pesquisadores informações suficientes para monitorar tendências como o *El Niño* e outros fenômenos naturais de longo e de curto prazo. Outros usos incluem diferentes áreas das ciências da terra, tais como manejo de recursos naturais, campos agrícolas, por exemplo: uso e conservação da terra, segurança nacional, coleta aérea, terrestre e impasse em áreas de fronteira (Calijuri, 1994).

2.5 Geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas (SIG)

O geoprocessamento é um forte instrumento territorial e apresenta uma gama extensa de possibilidades e utilizações (Chaves, 2005). Sua função é abstrair e transferir, de maneira ordenada, informações obtidas no mundo real para sistemas computacionais, através de técnicas adequadas para gerenciá-las e manipulá-las (Chaves, 2005).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são ferramentas computacionais de processamento que automatizam a produção de dados cartográficos. Os SIGs foram tecnologicamente melhorados de uma cartografia com soluções matemáticas e gráficas, para representação de feições naturais, artificiais e de área (Brandalize, 1993).

Esses sistemas permitem a integração de dados de diversas fontes de informações, tais como: levantamentos cadastrais, levantamentos topográficos e censos (Quintanilha, 1995), criando um banco de dados (BD) georreferenciado. Os BDs são estruturas responsáveis por armazenar de maneira integrada registros, permitindo que diversos conjuntos de dados sejam usados por diferentes programas (Date, 2000).

2.6 Classificadores de Imagens

A classificação de imagens é o processo de atribuição de classes de cobertura terrestre a *pixels*. O Processamento Digital de Imagens (PDI) é entendido como a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída deste processo sejam imagens. O objetivo de se usar processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições, gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos, para extrair informações por imagens (Camara et al., 1996).

Em geral, estas são três técnicas principais de classificação de imagens em sensoriamento remoto:

- Classificação de imagem não supervisionada;
- Classificação de imagem supervisionada;
- Análise de imagem baseada em objeto.

Técnicas de classificação de imagem supervisionadas e não supervisionadas são as duas abordagens mais comuns.

Na classificação não supervisionada, primeiro agrupa os *pixels* em "*clusters*" com base em suas propriedades. Para criar "*clusters*", os analistas usam algoritmos de agrupamento de imagens, como *K-means* e *Isodata*. Na maior parte, eles podem usar essa lista de softwares de sensoriamento remoto gratuito para criar mapas de cobertura terrestre (Kux, 2005).

Depois de escolher um algoritmo de *clustering*, identifica-se o número de grupos que deseja gerar. Por exemplo, é possível criar 8; 20 ou 42 *clusters*. Esses clusters não são classificados porque, na próxima etapa, identifica-se manualmente cada cluster com classes de cobertura terrestre. No geral, a classificação não supervisionada é a técnica mais básica. Como não se precisa de amostras para classificação não supervisionada, é uma maneira fácil de segmentar e entender uma imagem (Assis et al., 2009).

Na classificação supervisionada, primeiro selecionam-se amostras representativas para cada classe de cobertura do solo. O software então usa esses "*sites de treinamento*" e aplica-os a toda a imagem (Brenna, 1997).

A classificação supervisionada usa a assinatura espectral definida no conjunto de treinamento. Por exemplo, ele determina cada classe sobre o que mais se parece com o conjunto de treinamento. Os algoritmos comuns de classificação supervisionada são a máxima verossimilhança e a classificação de distância mínima.

A classificação supervisionada e não supervisionada é baseada em *pixels*. Em outras palavras, ele cria *pixels* quadrados, e cada *pixel* tem uma classe. Mas a classificação de imagens baseada em objeto agrupa *pixels* em formas e tamanhos representativos. Esse processo é a segmentação de múltiplas resoluções ou deslocamento médio de segmento (Netto e Brena, 2001).

A segmentação de multirresolução produz objetos de imagem homogêneos agrupando *pixels*. Ele gera objetos com diferentes escalas em uma imagem simultaneamente. Esses objetos são mais significativos porque representam recursos na imagem (Baatz e Schäpe, 2000).

2.6.1 Classificação de Máxima Verossimilhança

O algoritmo da máxima verossimilhança avalia a variância e a covariância das categorias de padrões de resposta espectral quando classifica um pixel desconhecido. Assim, assume-se que a distribuição da nuvem de pontos, que forma a categoria dos dados de treinamento, é Gaussiana (distribuição normal). Assumindo essa suposição, a distribuição de um padrão de resposta espectral da categoria pode ser descrita por um valor de média e pela matriz de covariância. A partir desses parâmetros, é possível calcular a probabilidade estatística de um determinado valor de pixel pertencer a uma classe particular de cobertura da terra (Lillesand e Kieffer, 2004).

O algoritmo da máxima verossimilhança pode ser expresso pela seguinte fórmula (Equação 1):

$$P_c = [-0,5 \log_e(Det(V_c))] - [0,5 (X - M_c)^T (V_c)^{-1} (X - M_c)] \quad (1)$$

Em que,

P_c = probabilidade de o vetor X ser assinalado;

V_c = matriz de covariância da classe c contemplando todas as bandas ($K, \dots, L$);

$Det(V_c)$ = determinante da matriz de covariância V_c ;

X = vetor de medidas dos pixels desconhecidos;

M_c = vetor das médias para cada classe c ;

T = matriz transposta.

Os limites de classificação são definidos a partir de pontos de mesma probabilidade de classificação de um ou de outra classe.

A Figura 3 apresenta o limite de decisão de uma classificação, no ponto onde as duas distribuições se cruzam. Assim, um “*pixel*” localizado na região sombreada, mesmo que pertença à classe 2, será classificado como classe 1, pelo limite de decisão estabelecido.

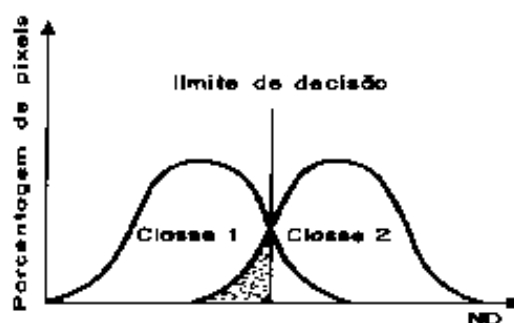


Figura 3. Limite de decisão

O limiar de decisão indica a porcentagem (%) de “*pixels*” da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente a esta classe. Um limite de 99%, por exemplo, engloba 99% dos *pixels*, sendo que 1% será ignorado (aqueles com menor probabilidade), compensando a possibilidade de alguns *pixels* terem sido introduzidos no treinamento por engano, nesta classe, ou até mesmo estarem no limite entre duas classes. Um limiar de 100% resultará em uma imagem classificada sem rejeição, ou seja, todos os *pixels* serão classificados.

Para que se diminua a confusão entre as classes, que significa reduzir a sobreposição entre as distribuições de probabilidade das classes, é aconselhado que a aquisição das amostras seja significativa e alvos distintos para a avaliação da matriz de classificação das amostras.

O diagrama heurístico da Figura 4 mostra a distribuição dos valores de reflectância em uma amostra de treinamento, descrita por uma função de densidade de probabilidade, sendo tal classificador tendente a apresentar resultados mais acurados. Assim, os *pixels* 1 e 2 serão classificados corretamente, sendo atribuídos às categorias urbanização (u) e solo exposto (s), respectivamente.

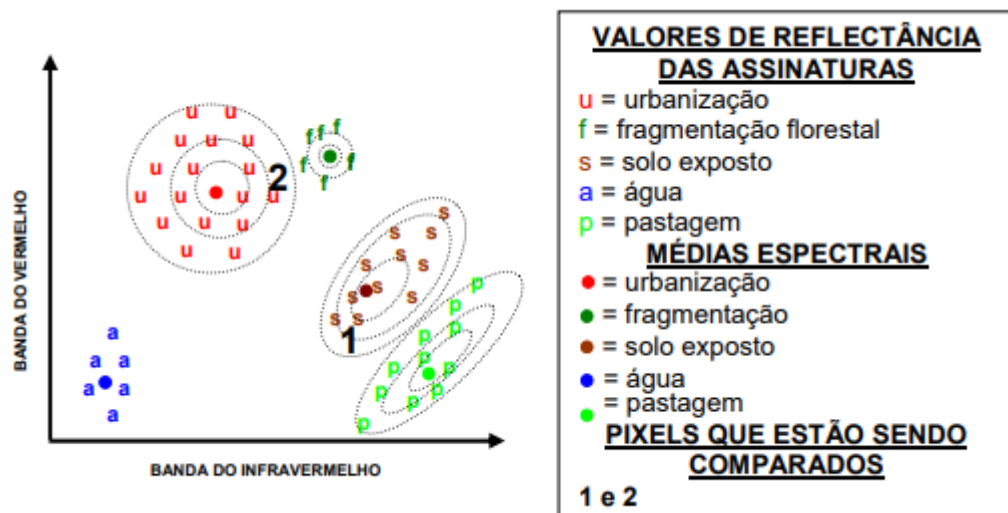


Figura 4. Esquema de aplicação do algoritmo da máxima verossimilhança (Eastman, 1998, adaptado).

A Figura 5 apresenta o fluxograma das etapas do algoritmo de classificação de máxima verossimilhança.



Figura 5. Fluxograma Máxima Verossimilhança

3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência das imagens aéreas obtidas por sensores a bordo de VANT para a detecção e a estimativa da sobrevivência de rebrotas em povoamento de eucalipto e verificar a viabilidade do uso de VANT para obter a estimativa de rebrotas em povoamento de eucalipto, tendo como testemunha as técnicas tradicionais de levantamento em campo para a avaliação de sobrevivência de 90 até 110 dias após a colheita, quantificando o número de regenerações presentes nos talhões observados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo, tipo de solo e declividade

A área de estudo está localizada no município de Capão Bonito – SP, com extensão de 1.645,02 km², sendo suas coordenadas: 24°0'14" S, 48°20'21" O e altitude de 728 m, microrregião de Capão Bonito e mesorregião de Itapetininga, Estado de São Paulo (Figura 2).

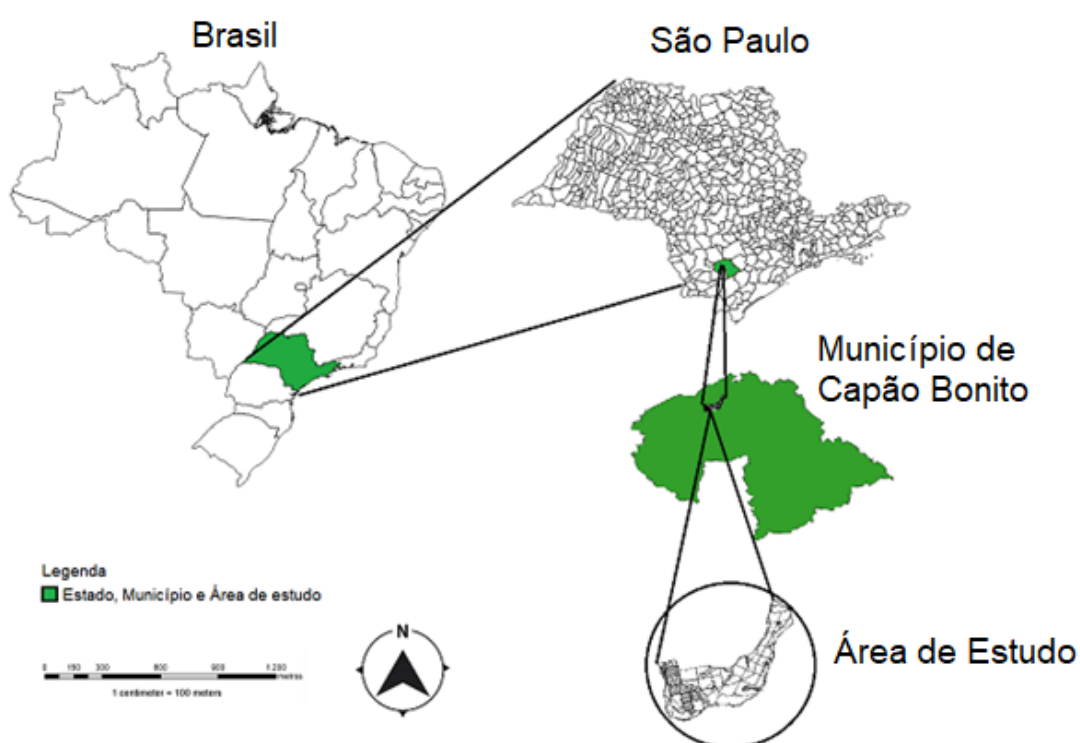


Figura 6. Localização da área de estudo em Capão Bonito – SP, Brasil

A geologia caracteriza-se pelo Maciço Granítico Capão Bonito, ao sul do Estado de São Paulo, na forma de um corpo alongado, de direção geral NE-SW, intrusivo em rochas epimetamórficas do Grupo Açungui (Formação Votuverava) e em rochas graníticas do Complexo Três Córregos e parcialmente encoberto por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, Grupo Itararé (Bolonini, 2011).

Na fazenda em que o trabalho foi realizado, os solos dos talhões utilizados foram classificados como: LVd11 (Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa).

Em Capão Bonito, existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano, com média anual do Município de 1.241mm (Climate-Data, 2019).

As classes de relevo são conhecidas e classificadas como: Plano (0 a 3%), Suave Ondulado (3 a 8%), Ondulado (8 a 20%), Forte Ondulado (20 a 45%), Montanhoso (45 a 75%) e escarpado, com declividades ultrapassando 75% (EMBRAPA, 2006).

A área de estudo (Figura 3) mostra que mais de 80% da declividade presente nos talhões, caracterizam-se como Plano e Suave Ondulado, adequados para o cultivo da cultura do Eucalipto, pois são solos férteis, drenados, profundos e com boa capacidade de armazenamento de água.

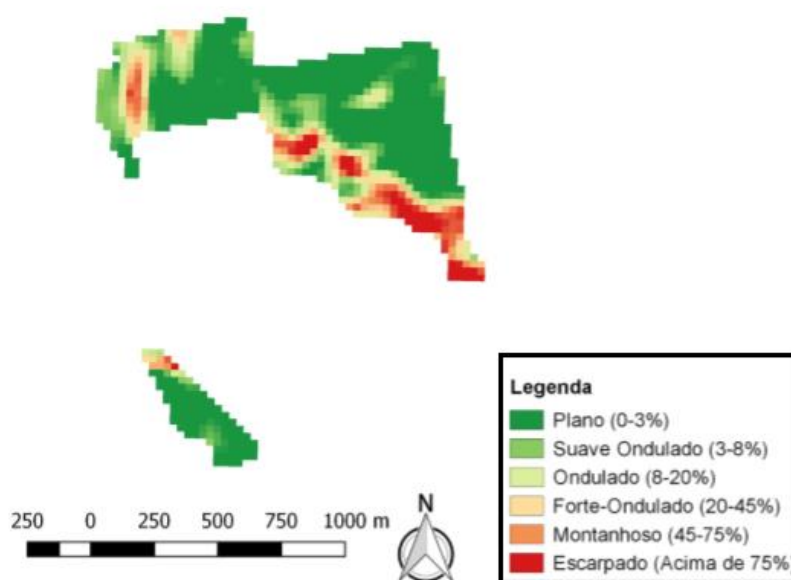


Figura 7. Mapa de Declividade da área de estudo em Capão Bonito – SP, Brasil

4.2 Amostragem e Coleta de Dados

Para a condução do experimento, foi selecionada uma área de estudo no município de Capão Bonito, constituída de 4 repetições: T002, T006, T012 e T013 com área total de 78,80 ha (Figura 4), localizado a 24°0'14" S, 48°20'21" O do Meridiano de Greenwich e altitude de 728 m.



Figura 8. Área de Estudo - Fazenda Inglês: T002, T006, T012 e T013 – Capão Bonito – SP, Brasil.

Geralmente, a sobrevivência das mudas não é de 100%, pois ocorrem falhas nas mudas que não rebrotam. O período de avaliação da área variou entre 90 e 110 dias após a colheita. A distribuição dos pontos amostrais foi realizada de maneira aleatória e distribuído em todo o talhão.

A ideia da amostragem refere-se à coleta de dados relativos a alguns elementos de uma população, e sua análise pode proporcionar informações relevantes sobre toda a população (Mattar, 1996).

A recomendação para coleta de dados consiste em percorrer a área de maneira aleatória e avaliar um total de 5% das plantas regeneradas. A quantidade de plantas a serem avaliadas é definida (Equação 2).

$$\text{Nº Plantas Amostragem} = \left(\frac{\text{Área do talhão em m}^2}{(\text{Esp. Entre Linhas (m)} * \text{Esp. Entre Plantas (m)})} \right) * 5\% \quad (2)$$

Após a amostragem de 5% da área, extrapola-se a quantidade de mudas que o talhão possui (Equação 3).

$$\text{Total Plantas Talhão} = \text{Nº de Plantas Amostradas} * \text{Área do Talhão} \quad (3)$$

Se tal porcentagem for de 95% de sobrevivência, então as plantas são mantidas nas áreas, e a rebrota é conduzida até o crescimento da floresta, caso o percentual de sobrevivência seja inferior a 95%, então é realizada a reforma dessa área. E o processo de plantio é realizado: preparo de solo, adubação, plantio, irrigação e demais operações.

Os dados georreferenciados foram coletados em campo de duas maneiras: cadastrando os pontos que correspondem à sobrevivência dos indivíduos, seguindo o procedimento de amostragem acima descrito, e também foi realizado um censo em cada um dos talhões (Figura 5).

O censo é uma abordagem exaustiva ou de 100% dos indivíduos de uma população, e uma população pode ser definida como um conjunto de seres da mesma natureza e que ocupam um determinado espaço em um determinado tempo (Netto e Brena, 1997).

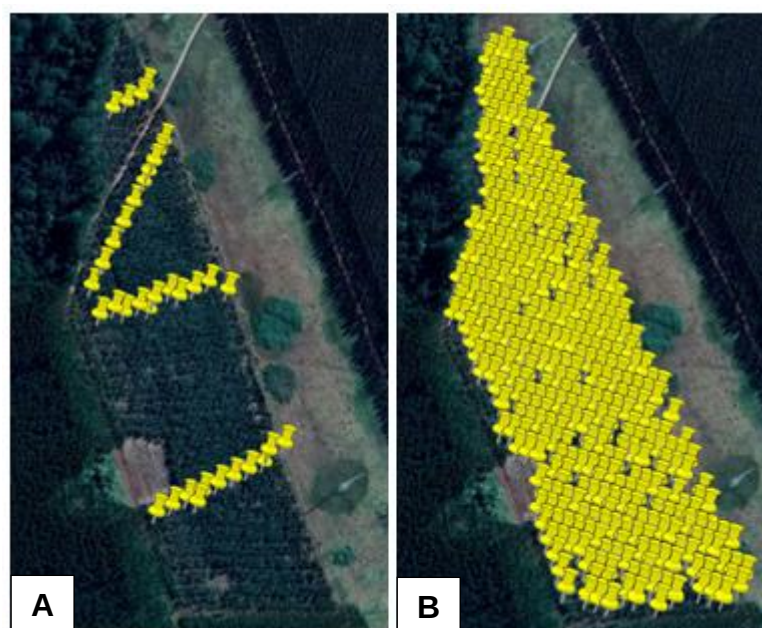


Figura 9. Pontos coletados a partir de amostra (A) e censo (B)

4.3 Obtenção das Imagens

Para a contagem de indivíduos de maneira semiautomatizada, o uso de um VANT foi para a captura de imagens, com *pixel* em resolução de 5,4 cm, imagens geradas em RGB, com uma altitude de voo de aproximadamente 100 m e sobreposição fotogramétrica de aproximadamente 60%, a fim de garantir que haja o

recobrimento total da região de interesse. Uma vez capturadas as imagens, elas foram processadas, utilizando do *software Pix4d*. A correção de escala foi realizada na banda gerada da Ortofoto e processada para este trabalho nas bandas Red Green Blue - RGB. Este *software* tem a função de gerar o mosaico das fotos, originando, assim, a Ortofoto Base da área para o trabalho (Figura 6).



Figura 10. Ortofotos processadas a partir da saída do software Pix4d em RGB.

4.4 Classificação Supervisionada e Classificadores

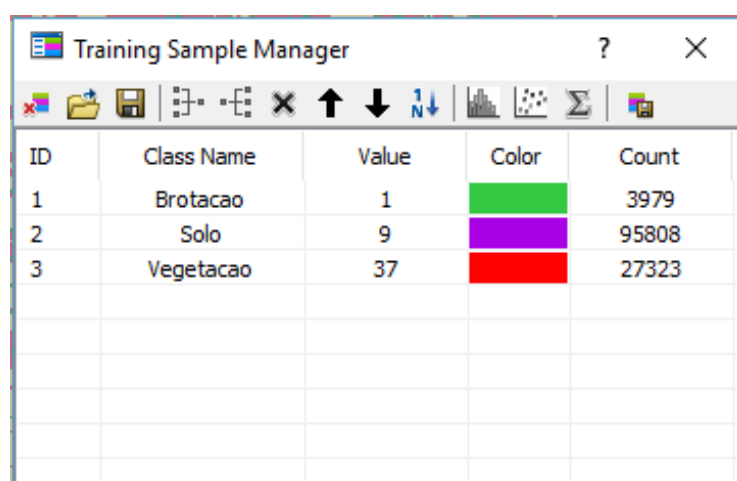
As fotos adquiridas foram processadas e transformadas em ortofotos, utilizando técnicas de processamento digital de imagens no SIG. Os limites para as amostragens da área de treinamento foram traçados diretamente sobre a imagem no monitor de vídeo do sistema de processamento de imagens (Crosta, 1992).

Por definição, uma ortofoto é uma fotografia que mostra imagens de objetos em suas posições ortográficas verdadeiras. Segundo Wolf (1983), as ortofotos são geometricamente equivalentes a mapas convencionais planimétricos de linhas e símbolos, os quais também mostram as posições ortográficas verdadeiras dos objetos.

O processo inicial da classificação foi dividido em duas etapas:

1 – Definir as classes de uso de solo: solo, vegetação e o alvo do trabalho: as brotações (Figura 7).

2 – Fazer o levantamento e o cadastro das amostras para o treinamento do algoritmo de classificação. Nessa etapa, foi preciso conhecimento prévio da área de estudo e cuidado para a amostragem. Esse processo é realizado com a geração da região de interesse para cada classe criada.



ID	Class Name	Value	Color	Count
1	Brotacao	1	Green	3979
2	Solo	9	Purple	95808
3	Vegetacao	37	Red	27323

Figura 11. Gerenciador de amostra de treinamento, considerando os Pixels e as áreas de interesse.

Após a criação dessa amostragem para cada talhão, a imagem foi salva como uma assinatura espectral, que foi utilizada com o classificador citado, através do *Image Classification*.

O arquivo da assinatura registra as assinaturas espectrais de diferentes classes, para a classificação supervisionada, como se fosse um local central, utilizado para a realização da classificação supervisionada e não supervisionada, com o *ArcGIS*.

A assinatura espectral foi importante na etapa de criação da primeira análise: a classificação supervisionada da imagem, e devido ao tempo de processamento e

qualidade dos materiais gerados, foi utilizado classificador: *Maximum Likelihood Classification* (Figura 8).

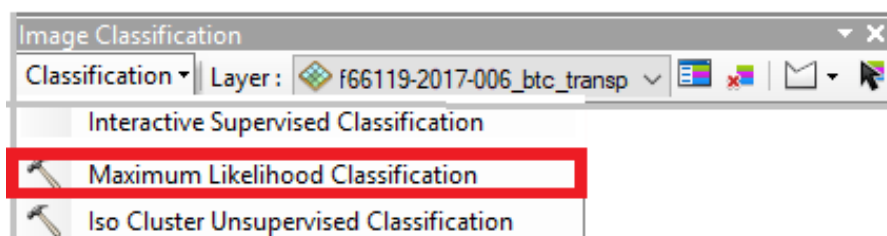


Figura 12. Classificações de imagens utilizadas depois de criada a assinatura espectral.

4.5 Pós-classificação supervisionada

Para cada um dos talhões trabalhados, foi utilizada a mesma técnica de classificação supervisionada, para que, após essa etapa, o refinamento pudesse ser aplicado, considerando a assinatura espectral criada para cada talhão (Figura 9).

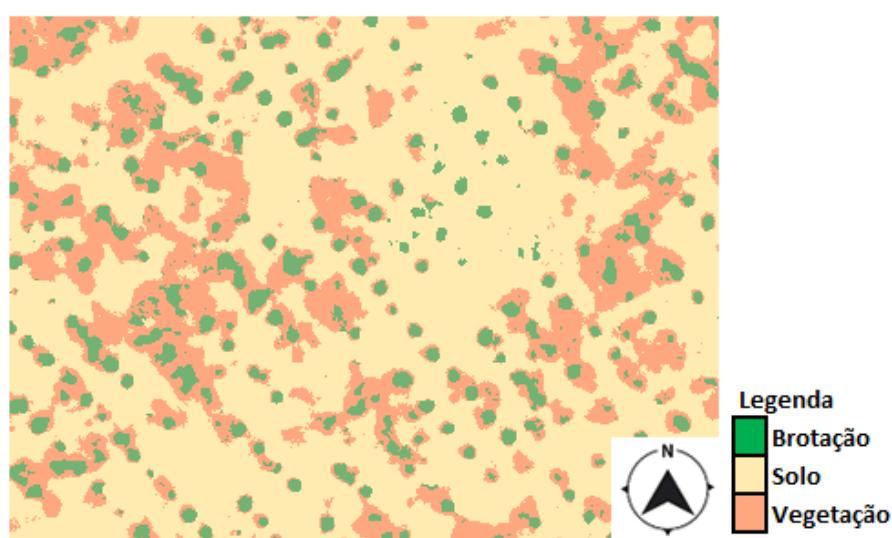


Figura 13. Exemplo de aplicação da classificação supervisionada a partir da assinatura digital em uma das áreas trabalhadas.

Nas imagens, foi aplicado o *Majority Filter* (Filtro majoritário), que executa uma “limpeza” dos *pixels* que, possivelmente, tenham sido classificados de maneira equivocada pelo software, aparecendo como pequenos pontos dentro de classes maiores, uniformizando as classes de uso e eliminando pontos isolados, classificados diferentemente de grupos vizinhos. Uma segunda classificação é gerada, só que, com menos ruídos e um erro menor agregado.

A partir da classificação supervisionada e após o uso do Filtro Majoritário, foi realizada a conversão para polígonos. Com base nos polígonos criados, a tabela de atributos foi utilizada para “refinar” os dados, de maneira que, de acordo com a identificação das Brotações, somente elas não foram excluídas da tabela, deixando o arquivo para manipulação com as informações-alvo. Assim, foi possível “filtrar” aquilo que seriam as brotações. Um limite foi estabelecido, para que áreas inferiores a 0,5 m² e superiores a 2 m² fossem excluídas, pois são áreas muito aquém e além do que uma brotação com idade média de até 110 dias pode apresentar (Figura 10).

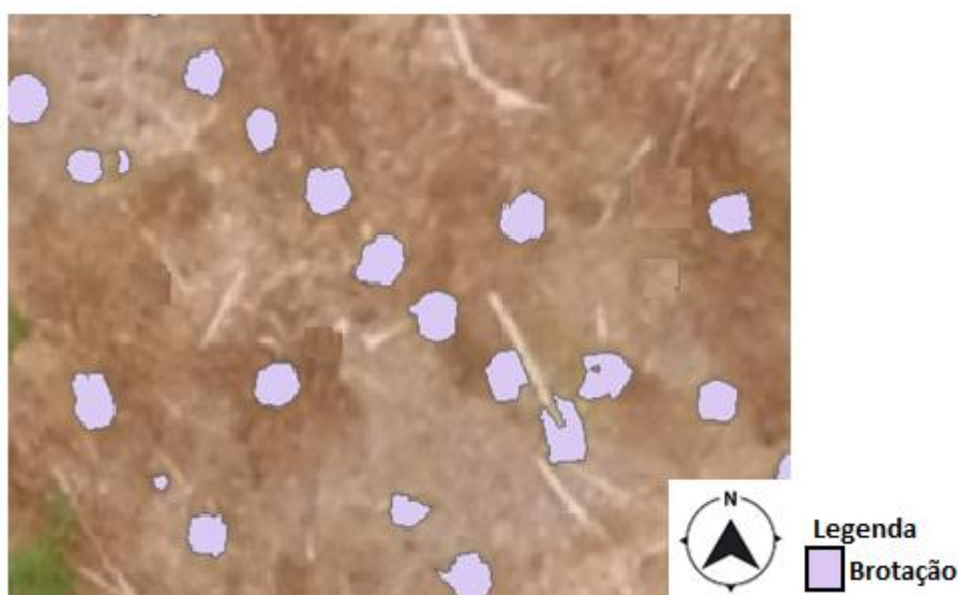


Figura 14. Conversão da classificação supervisionada em polígonos.

Uma vez realizado esse procedimento, então foi utilizado a *Feature to Point* (recurso para ponto). Essa função converte os polígonos para pontos, de forma que o centro (x, y) de cada polígono se torna um ponto (Figura 11).

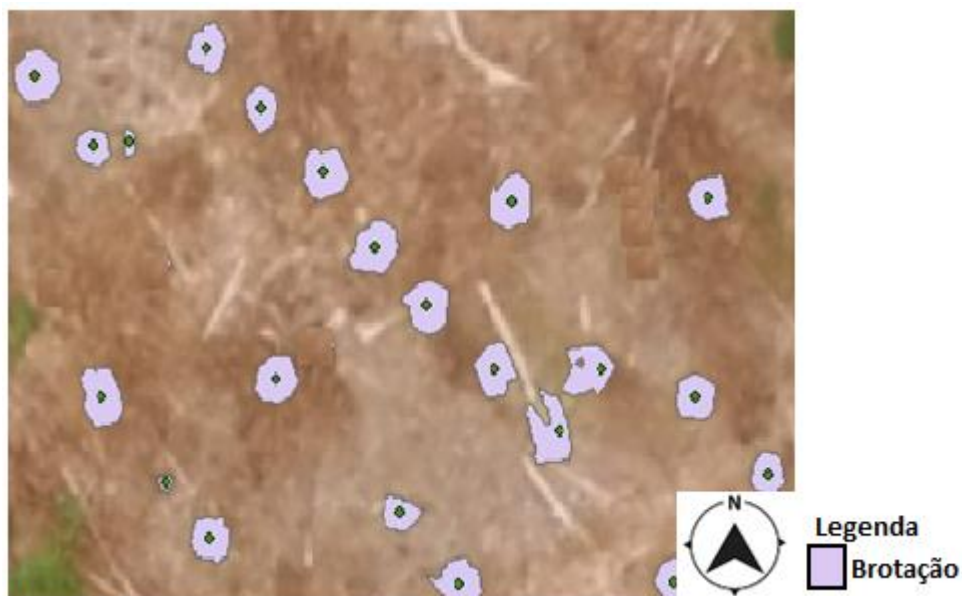


Figura 15. Conversão dos polígonos para ponto, no centro de cada polígono.

Depois de convertidos, os pontos foram salvos em formato *shape* (*shapefile* é um formato para bases de dados geoespaciais e vetoriais em sistemas de informação geográfica).

Após a criação do *shape*, em cada um dos talhões avaliados, foi utilizada a ferramenta SIG, para que pudessem ser importadas as camadas de: *raster* (Ortofoto) e o *shape* contendo os pontos, a fim de verificar em formato visual se os pontos gerados retratam a realidade da Ortofoto gerada, e com essas bases de informações, considerando que o *shape* é editável, pontos que não representam uma rebrota podem ser excluídos, e locais que apresentam rebrotas, mas não foram identificados, podem ser inseridos manualmente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois de finalizados os dados amostrados e extrapolados para a área de cada talhão, os valores obtidos pelo censo e pelas contagens das brotações na classificação supervisionada podem ser observados na Tabela 1, com as informações relacionadas aos levantamentos.

Tabela 1. Identificação das áreas de estudo e número de brotações encontradas, por amostra, censo e classificação supervisionada.

Talhão	Área (Ha)	Amostragem 5% (Extrapolado)	Censo	MaxVer
T002	24,30	31.986	32.47 4	31.454
T006	6,77	8.356	8.786	8.248
T012	34,06	43.833	41.47 2	33.928
T013	13,67	18.724	21.40 8	16.205

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, foi aplicada a regressão linear, considerando o censo realizado e os dados da classificação supervisionada de máxima verossimilhança, mostrada na Tabela 2. Observando-a, percebe-se uma forte correlação entre as variáveis, em que R está muito próximo de 1. Foram calculados dois valores para R, sendo: o R múltiplo, R-Quadrado apresentam coeficientes superiores a 0,99. Entretanto, o erro padrão da regressão é 1363,95. Os valores de Estatística t foi de 0,0670 e o valor-P muito baixo, com aproximação de 0,0001.

As observações são independentes, os grupos comparados apresentam a mesma variância e os erros são independentes e provenientes de uma distribuição normal com média igual a zero e variância constante. Através da soma dos quadrados dos resíduos, pode-se observar a pequena variação dentro de cada amostra.

Tabela 2. Regressão linear e erro padrão da regressão.

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,997
R-Quadrado	0,995
Erro padrão	1363,95
Observações	5
Estatística t	0,0670
valor-P	0,0001

O gráfico de regressão linear (Figura 16) mostra a relação entre o censo realizado e a classificação de máxima verossimilhança. O coeficiente de determinação R^2 indica a proporção da variação total na variável dependente y, que é explicada pela variação da variável independente x.

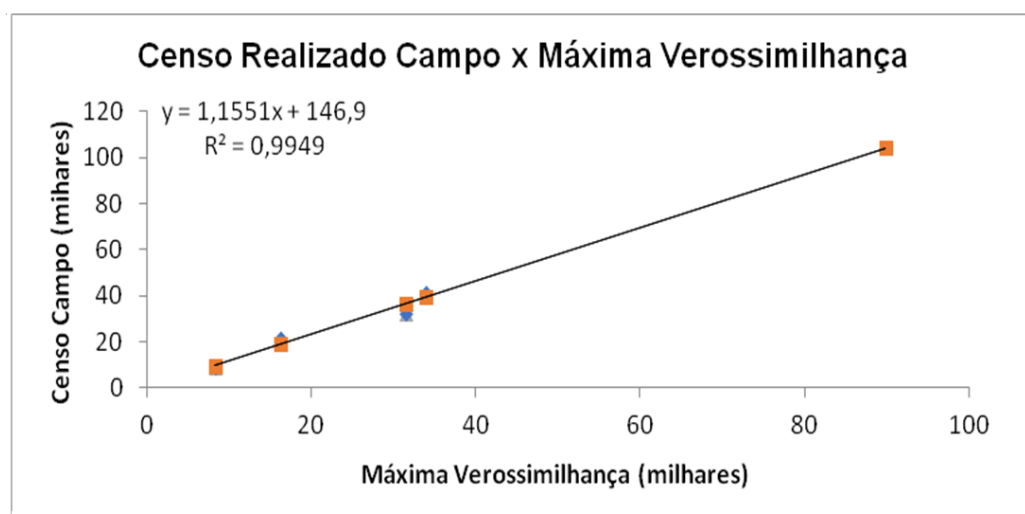


Figura 16. Gráfico de regressão linear: Censo x Estimativa MaxVer

Para melhor classificação supervisionada, deve considerar-se a quantidade de *pixels* amostrados para a classificação e como os registros fotográficos podem ser realizados em diferentes horários do dia. É importante que a amostragem dos *pixels* seja bem distribuída em toda a ortofoto e na medida do possível, que as imagens que darão origem à ortofoto sejam tomadas, preferencialmente, no mesmo período do dia, por exemplo: no período da manhã, com poucas nuvens e evitar que sombras sejam geradas, acarretando em melhor qualidade da imagem. Obter uma imagem adequada para a análise é de extrema importância. Devem-se levar em consideração o

equipamento, a técnica e a prática de tomada fotográfica, a angulação, a configuração padrão de cortes a fim de garantir a maior qualidade possível no material adquirido, de maneira que possa ser assertiva a obtenção de informações.

O R^2 apresentou resultado satisfatório na classificação, quando comparados os dados obtidos pela Ortofoto e o censo, com $R^2 = 0,99$, bem próximo de 1. Pode-se entender que os dados, apresentam precisão, assim, o uso de VANT para nível de sobrevivência, torna-a exata, devido ao seu pequeno número de erros.

Para avaliações de indicador de sobrevivência em Inventário Florestal, essa é uma ferramenta que contribuirá para o avanço de tecnologias para a atividade, o que acarretará em diminuição de custos.

A técnica apresentada substitui a mão de obra em campo, haja vista os números obtidos, ou seja, o melhor método para a avaliação continua sendo a avaliação em campo.

6 CONCLUSÕES

As imagens aéreas obtidas por sensores a bordo de VANT podem ser utilizadas para a detecção e a estimativa de sobrevivência de rebrotas em povoamento de Eucalipto.

O classificador de máxima verossimilhança mostrou-se eficiente na contagem dos indivíduos mostrando ser uma alternativa na otimização de mão de obra, redução de custos e planejamento de atividades em campo.

7 REFERÊNCIAS

ABRAF (2016) **Anuário estatístico da ABRAF**. Brasília: ABRAF. 130 p.

Ahrens S, Pinto Junior JE (2010) **Aspectos socioeconômicos, ambientais e legais da eucaliptocultura**. 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas. 295 p. (Sistema de Produção, 4). Disponível em: <<http://www.painelflorestal.com.br/arquivo/aspectos-socioeconomicos-ambientais-e-legais-da-eucaliptocultura-4998b985af62cf03e2e75967ad115681>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

Anderson HW, Papadopol CS, Zsuffa, I (1983) Wood Energy plantations in temperate climates. **Forest Ecology and Management** 6:281-309.

Assis AL, Mello JM, Guedes ICL, Scolfor, JRS, Oliveira, AD (2009) Development of a sampling strategy for young stands of Eucalyptus sp. using geostatistics. **Cerne** 15:166-173.

Baatz M, Schäpe A (2000) Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation. In: ANGEWANDTE GEOGRAPHISCHE INFORMATIONS VERARBEITUNG. **Proceedings...** Salzburg: Wichmann-Verlag, p. 12-23.

Berni JAJ, Zarco-Tejada PJ, Suarez L, Fereres E (2009) Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle. **IEEE: Transactions on Geoscience and Remote Sensing** 47:722–738.

Bolonini TM (2011) **Geologia e potencialidade do granito Vermelho Capão Bonito (Sudoeste do Estado de São Paulo) como rocha ornamental**. 170 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Unesp, Rio Claro.

Brandalize AA (1993) Cartografia: modernizando conceitos. **Fator GIS** 1:19-22.

Brenna DA (1997) **Inventário floresta**. Curitiba: [S.n.]. 316 p.

Cacau FV, Reis GG, Reis MGF, Leite HG, Alves FF, Souza FC (2008) Decepa de plantas jovens de Eucalipto e manejo de brotações em Sistema Agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 43:1457-1465.

Calijuri ML, Röhm SA (1994) **Sistema de informações geográficas**. Viçosa: Imprensa Universitária. 34 p.

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

Chaves FT (2005) **Uso do geoprocessamento para o planejamento de corredores de biodiversidade na bacia hidrográfica do Rio Caraíva em um modelo de gestão compartilhada** 42 f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) - UFMG, Belo Horizonte.

Chubey MS, Wulder M, Franklin SE (2006) Object-oriented analysis of Ikonos-2 imagery for extraction of forest inventory parameters. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** 72:383–394.

Climate-Data.Org (2017). **Clima Capão Bonito**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/capao-bonito-43702/>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

Corrêa RL (2009). **O espaço urbano**. São Paulo: Ática-São Paulo.

Crosta AP (1992) **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG-Unicamp. 170 p.

Daniel TW, Helms HA, Baker FS (1979) **Principles of Silviculture**. New York: McGraw-Hill, p. 436-459

Date CJ (2000) **Introdução a sistemas de banco de dados**. Rio de Janeiro: Campus. 802 p

Eastman JR (1998) **Idrisi for Windows: introdução e exercícios tutorais**. Porto Alegre: UFRGS/Centro de recursos Idrisi. 224 p.

Eliot DA (2007) **As sete maiores descobertas científicas da história**. São Paulo, SP: Companhia de Bolso. 240 p.

EMBRAPA (2006) **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI. 206 p.

Evans J (1992) **Plantation forestry in the Clarendon press**. Oxford: Clarendon Press. 403 p.

FAO (1981) **Eucalyptus for Planting**. Roma: FAO. 677p. (FAO Forestry Series, 11),

Fernandes BO (2010) **Proposta de um sistema eletrônico embarcado para fiscalização automática de veículos rodoviários de carga**. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Usp, São Carlos.

Francisco MAS (2004) **Servo motores**. São Paulo: [s.n.].

Glenn EP, Huete AR, Nagler PL, Nelson SG (2008) Relationship between remotely sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. **Sensors** 8:2136–2160.

Green DS (2004) Descrevendo os determinantes específicos da competição em estandes de madeira mista boreal e sub-boreal. **Crônica Florestal** 80:736-42.

Jardim FM (2007) **Treinamento avançado em redes Wireless**. São Paulo: Digerati Books. 128 p.

Jensen JR (2009) **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva sobre recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese. 672 p.

Klein JEM, Bortolas EP, Assis TF, Perrando E (1997) **Fatores operacionais que afetam a regeneração do *Eucalyptus* manejado por talhadia**. Piracicaba: IPEF. 10p. (Série Técnica IPEF, v. 30).

Kux H (2005) **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos. 286 p.

Lamprecht H (1990) **Silvicultura nos trópicos**. Eschborn: GTZ. 343p.

Lillesand TM, Kieffer RW (1994) **Remote sensing and image interpretation**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons. 750p.

Mantovani EC, Queiroz DM, Dias GP (1998) Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: Silva FM. **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, p. 109-157.

Mattar F (1996) **Pesquisa de marketing**. São Paulo: Atlas. 2v.

Mattos RLG (2002) **O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento**. Rio de Janeiro: BNDES. 29p.

Medeiros FA, Alonço AS, Balestra MRG, Dias VO, Landerhal Júnior, ML (2008) Utilização de um veículo aéreo não tripulado em atividades de imageamento georreferenciado. **Ciência Rural** 38:2375-2378.

Mendes JB (2004) **Incentivos e mecanismos financeiros para o manejo florestal sustentável na Região Sul do Brasil**. Curitiba: FAO. 136 p.

Molin JP (2011) **Agricultura de precisão**. Brasília: Mapa/ACS. 27 p.

Netto S, Brena DA (1997) **Inventário florestal**. Curitiba: UFPr. 316p.

Quintanilha JÁ (1995) Entrada e conversão de dados: processos de construção de bases de dados espaciais. In: S IMPÓSIO B RASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. **Anais ...** São Paulo: USP, p. 29-58.

Romero RR (2008) **Resposta fisiológica de plantas de *Eucalyptus grandis* à adubação com potássio ou sódio**. 57f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - USP, Piracicaba.

Roncoletta M (2016) **O que tem sido falado sobre drones na área florestal**. 2016. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/drones-na-area-florestal/>>. Acesso em: 23 abr. 2019.

Serviço Florestal Brasileiro (SFB) (2012) **Brasil com florestas: oportunidades para o desenvolvimento de uma economia florestal e a reestruturação necessária do setor**. Brasília: SFB. 40.

Silva Neto M (2013) **Como utilizar imagens aéreas na agricultura de precisão?** Disponível em: <<https://www.agrimensordofuturo.com/como-utilizar-imagens-aereas/>>. Acesso em: 23 abr 2019.

Silva Netto M (2013) **Como utilizar imagens aéreas na agricultura de precisão?** Disponível em: <https://www.agrimensordofuturo.com/como-utilizar-imagens-aereas/>. Acesso em: 23 abr. 2019.

Silva RL (2010) Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense** 34:93-98.

Taylor JS, Blake TJ, Pharis RP (1982) The role of plant hormones and carbohydrates in the growth and survival of coppiced *Eucalyptus* seedlings. **Physiology Plant** 55: 421-430.

Whiteside T, Ahmad W (2005) **A comparison of object oriented and pixel based classification methods for mapping land cover in North Australia.** In SPATIAL SCIENCE INSTITUTE BIENNIAL CONFERENCE SSC2. Proceedings... Melbourne, Australia: SSC, p. 1225-1231.

Wolf PR (1983) **Elements of photogrammetry.** Singapore: McGraw-Hill Book Company. 628 p.