

MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

Samara Cristiele Barros Cruz

**CONTAGEM AUTOMÁTICA DE BROTAÇÕES DE *Eucalyptus* spp.
USANDO IMAGENS DIGITAIS OBTIDAS POR VANT**

Montes Claros

2023

Samara Cristiele Barros Cruz

**CONTAGEM AUTOMÁTICA DE BROTAÇÕES DE *Eucalyptus* spp.
USANDO IMAGENS DIGITAIS OBTIDAS POR VANT**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof Dr. Leandro Silva de Oliveira

Coorientador: Prof Dr. Carlos Alberto Araújo Júnior

Montes Claros

Abril de 2023

Cruz, Samara Cristiele Barros.

Nº Cutter Análise da rebrota de *Eucalyptus* spp. usando imagens digitais
Ano obtidas por VANT / Samara Cristiele Barros Cruz. Montes Claros:
 Universidade Federal de Minas Gerais, 2023.
 XX f.: il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Recursos
Florestais, Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de
Ciências Agrárias.

Orientador: Leandro Silva de Oliveira.

Banca examinadora: Nairam Félix Barros Filho, Nilza de Lima
Pereira Sales, Carlos Alberto Araújo Júnior.

Inclui referências: f. XX-XX; XX-XX.

1. Silvicultura. 2. Inventário de sobrevivência. 3. Cepa. 4.
Monitoramento

I. Oliveira, Leandro Silva de. II. Universidade Federal de Minas
Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Contagem automática de
brotações de *Eucalyptus* spp. usando imagens digitais obtidas por
VANT.

CDU: XXX

ELABORADA PELA BIBLIOTECA COMUNITÁRIA UNIVERSITÁRIA DO ICA/UFG

Nome do(a) bibliotecário(a) / registro

Samara Cristiele Barros Cruz

**CONTAGEM AUTOMÁTICA DE BROTAÇÕES DE *Eucalyptus* spp.
USANDO IMAGENS DIGITAIS OBTIDAS POR VANT**

Aprovado pela banca examinadora constituída pelos membros:

Dr. Nairam Félix Barros Filho

TTG Brasil Investimentos Florestais

Profa Dra. Nilza de Lima Pereira Sales

Universidade Federal de Minas Gerais

Prof Dr. Carlos Alberto Araújo Júnior

Universidade Federal de Minas Gerais

Prof Dr. Leandro Silva de Oliveira

Universidade Federal de Minas Gerais

Montes Claros, 01 de abril de 2023

AGRADECIMENTOS

A Jeová Deus, por ter me dado coragem, ânimo, saúde e força para estar concluindo minha dissertação.

Aos meus pais, Antônio e Eunice, por todo carinho, dedicação, educação, apoio, amizade, confiança, amor e por acreditarem em mim. Amo vocês!

Ao Prof. Dr. Leandro Silva de Oliveira, pela orientação, paciência, ensinamentos, incentivo, dedicação e por compartilhar seus conhecimentos e experiências.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Araújo Júnior que prestou grande apoio na coorientação e ajudou no momento mais difícil na realização desse projeto e por sua atenção e sugestões.

A todos os alunos do laboratório de Melhoramento Florestal da UFMG – ICA, pela amizade e troca de experiências, e ao Leonardo pelo bom humor. Aos colegas do Programa de Pós-graduação, pelo apoio na realização dos trabalhos, muito obrigada.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais na pessoa o coordenador Prof. Dr. Christian Dias Cabacinha.

À Universidade Federal de Minas Gerais – ICA, *campus* Montes Claros, pela oportunidade de realizar o mestrado.

À empresa Norflor, representada na pessoa do Engenheiro Florestal Gabriel Eça, por disponibilizar a área para a coleta das imagens.

Ao Núcleo Pró-Pequi pelo apoio financeiro a este estudo.

A todos que, de alguma forma, me apoiaram.

Muito obrigada!

Análise da rebrota de *Eucalyptus* spp. usando imagens digitais obtidas por VANT

RESUMO

A condução da brotação das cepas pelo sistema de talhadia em povoamentos de *Eucalyptus* spp. pode ser uma alternativa viável economicamente, adiando a reforma de áreas com plantios florestais. A tomada de decisão a respeito da condução de um povoamento no sistema de talhadia pode ser feita com a utilização de tecnologias, como o sensoriamento remoto. Diante do exposto, o presente estudo teve por objetivo verificar a aplicabilidade do uso de VANT associado ao sensoriamento remoto na realização de inventário de sobrevivência de brotações de um clone de *E. grandis* x *E. urophylla* (híbrido Urograndis) e como auxiliar na tomada de decisão sobre a condução ou não da talhadia no povoamento. As imagens aéreas foram obtidas por meio de VANT, numa altura de voo de 100 m realizado em um talhão comercial do híbrido Urograndis, plantado em espaçamento de 3,5 x 2,6 m, no município de Josenópolis, MG. O processamento foi realizado no software Agisoft Metashape[®], para o alinhamento, construção de uma nuvem de pontos e elaboração do mosaico de ortofotos. Em sequência, amostragens aleatórias foram realizadas nos ortomosaicos identificando na área com brotações, solo e vegetação espontânea. Tais amostras foram utilizadas para treinamento do algoritmo de classificação supervisionada máxima verossimilhança. Para tanto, todo o talhão foi avaliado manualmente, de maneira a identificar as brotações para estabelecer a verdade de campo. Após a realização deste treinamento, todo o ortomosaico foi analisado pelo algoritmo de classificação pelo software QGIS[®], identificando nas imagens as brotações. A metodologia empregada permitiu a

detecção das cepas que rebrotaram e a contagem automática das brotações do híbrido Urograndis a partir das imagens aéreas digitais obtidas por VANT. A contagem automática das brotações com o algoritmo máxima verossimilhança atingiu precisão de 0.9, *recall* de 0.8 e acurácia de 0.8. Entretanto, a presença de nuvens, o tamanho das brotações e a presença das vegetações espontânea no povoamento influenciaram na classificação das brotações. Os resultados aqui apresentados validam a utilização do sensoriamento remoto para extração de informações para auxiliar na tomada de decisões a respeito da condução por talhadia dos povoamentos de *Eucalyptus* spp.

Palavras-chave: Silvicultura, Inventário de sobrevivência, Cepas, Monitoramento.

Analysis of *Eucalyptus* spp. sprouts using digital images obtained by UAV

ABSTRACT

The conduction of the sprouting of the stumps by the coppice system in stands of *Eucalyptus* spp. can be an economically viable alternative, postponing the reform of areas with forest plantations. The decision making regarding the management of a stand in the coppice system can be made using technologies such as remote sensing. Given the above, the present study aimed to verify the applicability of the use of UAV associated with remote sensing in carrying out a survival inventory of shoots of an *E.grandis* x *E. urophylla* clone (Urograndis hybrid) and as an aid in making decision on whether or not to conduct coppice in the stand. The aerial images were obtained by means of a UAV, at a flight height of 100 m, carried out in a commercial plot of the hybrid Urograndis, planted in spacing of 3.5 x 2.6 m, in the municipality of Josenópolis, MG. The processing was carried out in the Agisoft Metashape® software, for alignment, construction of a cloud of points and elaboration of the orthophoto mosaic. In sequence, random samplings were carried out in the orthomosaics identifying in the area with sprouts, soil and spontaneous vegetation. Such samples were used for training the maximum likelihood supervised classification algorithm. For that, the whole plot was evaluated manually, in order to identify the shoots to establish the field truth. After carrying out this training, the entire orthomosaic was analyzed by the classification algorithm using the QGIS® software, identifying the shoots in the images. The methodology employed allowed the detection of the strains that sprouted and the automatic count of sprouts of the hybrid Urograndis from the digital aerial images obtained by UAV. The automatic counting of shoots with the maximum likelihood algorithm reached precision of 0.9, recall of 0.8 and accuracy of 0.8. However, the

presence of clouds, the size of shoots and the presence of spontaneous vegetation in the stand influenced the classification of shoots. The results presented here validate the use of remote sensing to extract information to assist in decision-making regarding coppicing management of *Eucalyptus spp.*

Keywords: Silviculture, Survival inventory, Strains, Monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de estudo do povoamento clonal do híbrido Urograndis	21
Figura 2 - Ortomosaico processado a partir da saída do software QGIS® a partir de imagens coletadas na banda RGB com VANT	26
Figura 3 - Distribuição das brotações do híbrido Urograndis aos 2 meses de idade, identificadas no talhão pelo censo.....	28
Figura 4 - Identificação automática das brotações do híbrido Urograndis com 2 meses de idade após classificação supervisionada.....	29
Figura 5 - Detalhe de falhas na detecção automática de brotações de um híbrido Urograndis a partir de imagens aéreas digitais obtidas por VANT	30
Figura 6 - Gráfico de regressão linear simples do número brotações de um híbrido Urograndis com 2 meses de idade, obtidas através do censo e de detecção automática a partir de imagens aéreas digitais obtidas por VANT	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa do teste não paramétrico de Wilcoxon para a contagem do número brotações de um híbrido Urograndis, com 2 meses de idade, através do censo e da detecção automática.....33

Tabela 2 - Número médio de brotações do híbrido Urograndis, com 2 meses de idade, obtidos pelo censo e para detecção automática.....33

Tabela 3 - Valores médios dos parâmetros de precisão, recall, acurária da aplicação do algoritmo de classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança para detecção de brotações do híbrido Urograndis em um talhão florestal de 2 meses de idade.....35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Sistema de talhadia em povoamentos de eucalipto	14
2.2 Inventários de sobrevivência por meio de VANTs	15
2.3 Sensoriamento remoto a partir de imagens de VANTs	17
3. OBJETIVOS	20
3.1 Objetivo Geral	20
3.2 Objetivos Específicos	20
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1 Localização da área de estudo	21
4.2 Coleta de dados e geração do ortomosaico	22
4.3 Censo	22
4.4 Contagem automática	23
4.4.1 Classificação	23
4.4.2 Aplicação do filtro	23
4.4.3 Filtragem de feições	24
4.4.4 Isolamento de brotações	24
4.4.5 Avaliação da contagem automática.....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1 Ortomosaico do talhão de eucalipto.....	26
5.2 Censo das brotações	27
5.3 Contagem automática das brotações	29
5.4 Avaliação da contagem automática.....	32
6. CONCLUSÕES.....	37
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

A talhadia corresponde a um sistema silvicultural aplicado ao eucalipto, caracterizado pela condução de brotações emitidas pelas cepas presentes na área após a colheita florestal (SBARDELLA, 2020). No Brasil, o sistema por talhadia é adotado, sobretudo em circunstâncias que visam reduzir os custos de produção de madeira, sendo uma opção com bom retorno econômico (GONÇALVES *et al.*, 2014).

A adoção da talhadia tem vantagens como à ausência dos custos de implantação, como preparo de solo, aquisição mudas, a irrigação e replantio. Além disso, a maior produtividade de materiais genéticos utilizados e dos custos menores desse sistema, a condução dos povoamentos florestais com duas ou três rotações é uma prática rentável (REZENDE *et al.*, 2005). Há uma redução de 33% no custo na formação da floresta em 2ª rotação em comparação à 1ª rotação (CHAVES; MARRICHI, 2015). A adoção desse tipo de manejo se aplica sobretudo para espécies florestais de rápido crescimento, como as do gênero *Eucalyptus* as quais apresentam alta produtividade, uniformidade e produção de madeira de qualidade (ALMADO, 2015).

A rebrota das cepas envolve o histórico da capacidade de emissão de brotações do material genético, a condição climática que favoreça a sua emissão nas cepas e as práticas silviculturais, como controle de formigas cortadeiras, que podem interferir na produção de novas brotações (ALMADO, 2015).

Para avaliar a rebrota, realiza-se o inventário de sobrevivência através do monitoramento das brotações das cepas de eucalipto após a colheita do povoamento. Esse manejo silvicultural objetiva verificar se o número de brotações justifica economicamente sua condução por meio do sistema de talhadia. Atualmente, nas empresas do setor florestal, a avaliação de sobrevivência das brotações é realizada por amostragem, por meio da contagem de brotações vivas alguns meses após a colheita. Contudo, essa análise nos talhões não é padronizada e ainda onerosa, sendo muito variável de acordo com o empreendimento e as características do povoamento (ANDRADE, 2019; FERRARI *et al.*, 2004; SBARDELLA, 2020) .

Nesse contexto, a otimização das práticas silviculturais, tal como o inventário de sobrevivência, é essencial para um monitoramento mais preciso e identificação de agentes ou fatores que possam afetar a produtividade dos povoamentos florestais. A utilização de recursos tecnológicos tem aumentado gradativamente no setor florestal, especialmente em relação ao uso de imagens digitais (MEDAUAR *et al.*, 2018;

BONFATTI JÚNIOR *et al.*, 2019). As imagens obtidas a partir de veículos aéreos não tripulados (VANTs) têm ganhado relevância por possibilitarem maior flexibilidade em obter imagens áreas em determinadas altitudes (ROBERTO, 2013).

No setor florestal a aplicabilidade da utilização das tecnologias de sensoriamento remoto e os VANTs já foram validadas como na aplicação de tecnologias para identificar impactos de deficiências nutricionais em florestas (WATT *et al.*, 2019), detecção de falhas em plantio de eucalipto (ZHAO *et al.*, 2021), detecção automática da murcha de *Ceratocystis* em cultivos de eucalipto (SOUZA *et al.*, 2015), monitoramento do controle de brotos de eucalipto (MEDAUAR *et al.*, 2018), avaliação da densidade do plantio de *Pinus elliotti* (ARAÚJO *et al.*, 2019) e estimativa da sobrevivência de rebrotas de *Eucalyptus* spp. (ANDRADE, 2019). Apesar dos estudos sobre identificação de árvores e brotações a partir de imageamento aéreo, ainda há carência de aperfeiçoamento da metodologia de contagem das brotações de eucalipto no inventário de sobrevivência devido à erros que envolvem a classificação de imagem.

Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo verificar a aplicabilidade do uso de Vant associado ao sensoriamento remoto na realização de inventário de sobrevivência de brotações de um clone de *E. grandis* x *E. urophylla* e como auxiliar na tomada de decisão sobre a condução ou não da talhadia no povoamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistema de talhadia em povoamentos de eucalipto

O sistema de talhadia tem sido adotado com sucesso em povoamentos de eucalipto para a produção madeireira a partir de um mesmo plantio, especialmente por abranger espécies com múltiplos usos. As espécies de eucalipto possuem características desejáveis a esse fim, principalmente devido à sua alta capacidade de rebrota (PALUDZYSZYN FILHO *et al.*, 2013).

A adoção do sistema de talhadia para o manejo de povoamentos de eucalipto depende de alguns pré-requisitos tais como: elevada taxa de regeneração de brotações a partir das cepas, rápido crescimento das brotações e qualidade da madeira obtida (FERRAZ FILHO; SCOLFORO; MOLA-YUDEGO, 2014). A sobrevivência das cepas e, conseqüentemente a regeneração de brotações a partir destas, está ligada às condições edafoclimáticas e nutricionais do sítio, (GONÇALVES *et al.*, 2014; GOMES, 2015). Além disso, a matocompetição e, principalmente, danos ocasionados por formigas tem impacto sobre a regeneração e crescimento de brotações das cepas de eucalipto (ALMADO, 2015).

A colheita florestal também tem influência direta na sobrevivência da cepa e rebrota do eucalipto, especialmente em razão da época do ano em que se realiza tal atividade, da mecanização das operações e possíveis danos operacionais, do tipo de ferramenta e máquinas de corte, da altura, forma, orientação do corte, e da disposição da galhada com o recobrimento das cepas (ALMADO, 2015; ARBEX; SILVA, 2015). A colheita tem sido considerada decisória para a adoção da talhadia, pois sua suspensão no período chuvoso em áreas susceptíveis a compactação, reduz os danos às cepas, tornando assim o talhão mais produtivo, devido ao elevado percentual de sobrevivência (ARBEX; SILVA, 2015).

As florestas plantadas de eucalipto conduzidas no sistema de talhadia são manejadas com a inclusão da operação de desbaste (desbrota) de tal forma a eliminar a maioria das brotações emitidas pelas cepas, afim de evitar a competição entre as mesmas. No entanto, o número de brotações por cepa e a idade de corte nesse sistema influenciam na produção madeireira (FERRAZ FILHO *et al.*, 2014). No setor florestal, as empresas têm adotado diferentes procedimentos para o momento da desbrota. Na Gerdau, a redução da altura da brotação de 2,0 m para 1,0 m, definida

como ideal para a desbrota, proporcionou um ganho de 22% no Incremento Médio Anual (IMA) do povoamento (GOMES, 2015). Na Cenibra, faz-se a desbrota quando a brotação atinge uma altura média entre 0,70 m e 1,50 m, deixando-se uma brotação por cepa (JESUS, 2015).

O sistema de talhadia e sua adoção é avaliado dentro do planejamento estratégico de uma empresa florestal. A condução de povoamentos florestais por meio da regeneração de brotações leva em consideração o ordenamento da produção no médio/longo prazo, o abastecimento da usina com madeira em quantidade e com a qualidade necessária para atender à demanda (GUEDES *et al.*, 2011). Atualmente, estima-se que ao se adotar a talhadia como sistema de manejo tem-se em torno de 50% de redução no investimento da formação de um novo plantio florestal. Entretanto, apesar das vantagens inerentes à talhadia, em geral, as empresas florestais não manejam 100% de suas áreas sob este sistema, em virtude de fatores relacionados à possível perda de produtividade entre as rotações (ALMADO, 2015).

A literatura reporta diversos trabalhos sobre a talhadia e sua aplicação no manejo de florestas plantadas de eucalipto. Apesar disso, alguns aspectos necessitam ser melhor compreendidos para um maior aperfeiçoamento do manejo da talhadia. Há carência de maior compreensão sobre as relações entre altura da desbrota, sítio e broto ladrão; relações entre idade da desbrota, tombamento e material genético; relações entre percentual de broto ladrão, material genético e sítio; método e momento de controle do broto ladrão; percentual de sobrevivência e maximização da produtividade (ARBEX; SILVA, 2015). De modo geral, o manejo por talhadia nos empreendimentos florestais é visto como sustentável economicamente viável e detentor de alto nível de tecnologia e pesquisa (ARBEX; SILVA, 2015).

2.2 Inventários de sobrevivência por meio de VANTs

Os inventários florestais podem ter vários objetivos de acordo com a classificação que recebam e dentre eles está o inventário de sobrevivência que consiste no levantamento de informação sobre a sobrevivência das mudas, árvores e/ou brotações. O inventário de sobrevivência pode ser realizado após o plantio e numa área recém colhida. O principal objetivo do inventário de sobrevivência após o plantio, é estimar o percentual de falhas das mudas plantadas, com intervalo de tempo necessário para realizar o replantio caso a mortalidade seja alta (SOARES *et al.*, 2011). Já o inventário

de sobrevivência no sistema de talhadia estima o percentual de brotação nas cepas remanescentes (ARBEX; SILVA, 2015).

A sobrevivência da rebrota das cepas de eucalipto corresponde a um critério decisivo sobre a reforma do povoamento ou a condução do mesmo por meio da talhadia. Essa é uma das justificativas pelo qual o inventário florestal de sobrevivência tem importância (RUZA *et al.*, 2017). A sobrevivência é mensurada no inventário pré-corte (percentual de falhas do povoamento) e após alguns meses em que foi realizada a colheita do povoamento (ARBEX; SILVA, 2015). Atualmente, em razão dos povoamentos florestais cobrirem extensas áreas com topografia irregular, é inviável a realização do censo das brotações emitidas pelas cepas na execução do inventário de sobrevivência. A atividade é tida como onerosa, com baixa eficiência demandando mão de obra para a execução de amostragens dentro dos talhões (CAMPOS; LEITE, 2017).

A metodologia de coleta de dados utilizada no inventário florestal convencional influencia diretamente nos custos, aliado à extensão da área a ser inventariada, tornando essa prática onerosa e lenta (CAMPOS; LEITE, 2017). A literatura reporta a utilização de imagens aéreas para avaliação da sobrevivência das brotações (MEDAUAR *et al.*, 2018; BONFATTI JÚNIOR *et al.*, 2019) e contagem de indivíduos em povoamentos florestais (RUZA *et al.*, 2017). Dessa forma, o inventário torna-se mais eficiente e mais preciso (BARALOTO *et al.*, 2013), além de otimizar a avaliação do *status* das brotações através do monitoramento de plantios (MEDAUAR *et al.*, 2020). Tal operação tem sido substituída pela análise de imagens obtidas por VANTs associada ao uso do sensoriamento remoto.

A utilização dos VANTs corresponde a uma alternativa viável para a realização do inventário de sobrevivência de áreas florestais, pois é uma atividade de baixo custo de operação, que possibilita a obtenção de imagens de alta resolução espacial e temporal, bem como alta flexibilidade na aquisição de imagens (TANG; SHAO, 2015). O uso de VANT otimiza as avaliações de qualidade dos plantios e áreas de brotação, em virtude da cobertura amostral, eficiência, precisão das informações (GALIZIA *et al.*, 2016). Em decorrência disso, os resultados são obtidos com uma alta precisão, com potencial de redução de tempo de execução do inventário para obtenção das informações dos plantios (ZHANG; KOVACS, 2012; SALAMÍ *et al.*, 2014; TORRESAN *et al.*, 2017).

No cenário atual de modernização do setor florestal, com o avanço tecnológico e implementação da Silvicultura 4.0, o emprego do VANT e das tecnologias associadas ao mesmo, tem sido destacado no potencial para avaliações nas florestas plantadas

quanto à identificação do impacto do estresse hídrico nestas áreas, a detecção de falhas no plantio em decorrência de fatores bióticos e abióticos (GONÇALVES *et al.*, 2013; ZUCON *et al.*, 2015). Assim, a avaliação das atividades silviculturais podem ser realizadas com uso de VANT, substituindo os métodos tradicionais das avaliações, gerando diversos produtos a partir das imagens capturadas.

2.3 Sensoriamento remoto a partir de imagens de VANTs

A aplicabilidade do sensoriamento remoto tem sido destacada em vários estudos, enfatizando, por exemplo, as vantagens desta ciência no monitoramento dos solos pela estimativa de indicadores, de forma econômica e rápida (ANGELOPOULOU *et al.*, 2019). O uso da tecnologia possibilita o mapeamento da distribuição de ecossistemas florestais e caracterização da sua estrutura tridimensional permitindo a obtenção de informações sobre estes ambientes (LECHNER *et al.*, 2020). Dessa forma, o uso do sensoriamento remoto com auxílio de VANTs apresenta vários benefícios, especialmente quanto ao baixo custo de material e operacional, controle flexível de resolução espacial e temporal, coleta de dados de alta intensidade e ausência de riscos na coleta de dados (TANG; SHAO, 2015).

A adoção do sensoriamento remoto é dependente da obtenção de imagens das áreas dos plantios. Neste contexto, os VANTs têm se destacado como as principais ferramentas para o levantamento e aquisição destas imagens. No entanto, alguns detalhes devem ser verificados como: aplicação do levantamento, objetivo e o custo financeiro/tempo disponível para a aquisição dos dados, pois isso garante a escolha da plataforma, do sensor e da precisão desejada no produto final (NETO *et al.*, 2019). Além disso, é necessário conhecimento dos processos de fotogramétricos envolvidos para atender o processamento, para isso existe uma série de softwares que realizam o processamento de imagens obtidas por VANTs (JIMÉNEZ-JIMÉNEZ *et al.*, 2021 e NETO *et al.*, 2019).

No sensoriamento remoto a classificação de imagens consiste na associação de pontos de uma imagem a uma classe ou grupo de classes, onde as classes são representadas por feições e alvos terrestres que possuem características comuns. Portanto, os pontos que representam uma classe devem ter padrões próximos de tonalidade, de cor e de textura (FIGUEIREDO, 2005).

A classificação de imagens compreende três métodos: supervisionado, não supervisionado e híbrido. O método de classificação supervisionada precisa de amostras de treinamento para definir cada classe (LIU *et al.*, 2011). O método de classificação não supervisionado não necessita de dados, devido às classes serem determinadas apenas de acordo com as diferenças nos valores espectrais. A classificação não supervisionada é realizada quando não há informações das classes de interesse na área imageada e o algoritmo da classificação define as classes automaticamente (FIGUEIREDO, 2005). Já o método de classificação híbrido é uma combinação dos métodos de classificação supervisionada e não supervisionada (LIU *et al.*, 2011).

O algoritmo de máxima verossimilhança é bastante utilizado na classificação supervisionada e sua aplicação compreende duas etapas principais, e analisado da seguinte forma (LI-SHUN *et al.*, 2008):

(1) Etapa de treinamento: ele calcula os parâmetros importantes e estabelece a função discriminante para cada categoria. Ao longo de toda a classificação, este procedimento é considerado como operação global e precisa ser executado apenas uma vez.

(2) Etapa de classificação: essa etapa é executada com base em uma função discriminante. Este procedimento pode ser executado conjunto, sendo capaz de lidar com inúmeras imagens simultaneamente.

O algoritmo da máxima verossimilhança faz parte do método supervisionado de classificação por pixel, para isso utiliza a média e também a covariância das amostras para assinalar um pixel a uma determinada classe. A partir desses dados é possível contabilizar a probabilidade estatística de um pixel ainda não conhecido pertencer a certa classe (SILVA; FERREIRA, 2019; RIBEIRO, 2003). Para tanto, as funções de densidade de probabilidade permitem classificar um pixel desconhecido, assinalando a este pixel o valor da categoria que estimou a maior probabilidade (MORAES FILHO *et al.*, 2017; RIBEIRO, 2003).

Neste contexto, as imagens obtidas a partir de VANTs permitem a realização da classificação com maior acurácia, pois estas possuem alta resolução espacial, com a altitude operacional de voo menor destes equipamentos que possibilita a aquisição de imagens com alta resolução espacial, com pixels da ordem de centímetros (PANEQUE-GÁLVEZ *et al.*, 2014). Dessa forma, em relação à qualidade das imagens obtidas dos

VANTs, custo e acesso as áreas destacam-se as seguintes vantagens: insensibilidade à cobertura de nuvens (PANEQUE-GÁLVEZ *et al.*, 2014), custo reduzido das imagens e de aquisição, operação e manutenção do equipamento comparativamente às aeronaves pilotadas e satélites de alta resolução espacial (KOH *et al.*, 2012) e acesso a áreas inacessíveis ou remotas, de difícil acesso ou ainda de grandes extensões (HORCHER *et al.*, 2004).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

- Avaliar a aplicabilidade do uso de VANT associado ao sensoriamento remoto na contagem automática de brotações das cepas de um clone de *E. grandis* x *E. urophylla* (híbrido Urograndis) para a realização de inventário de sobrevivência.

3.2 Objetivos Específicos

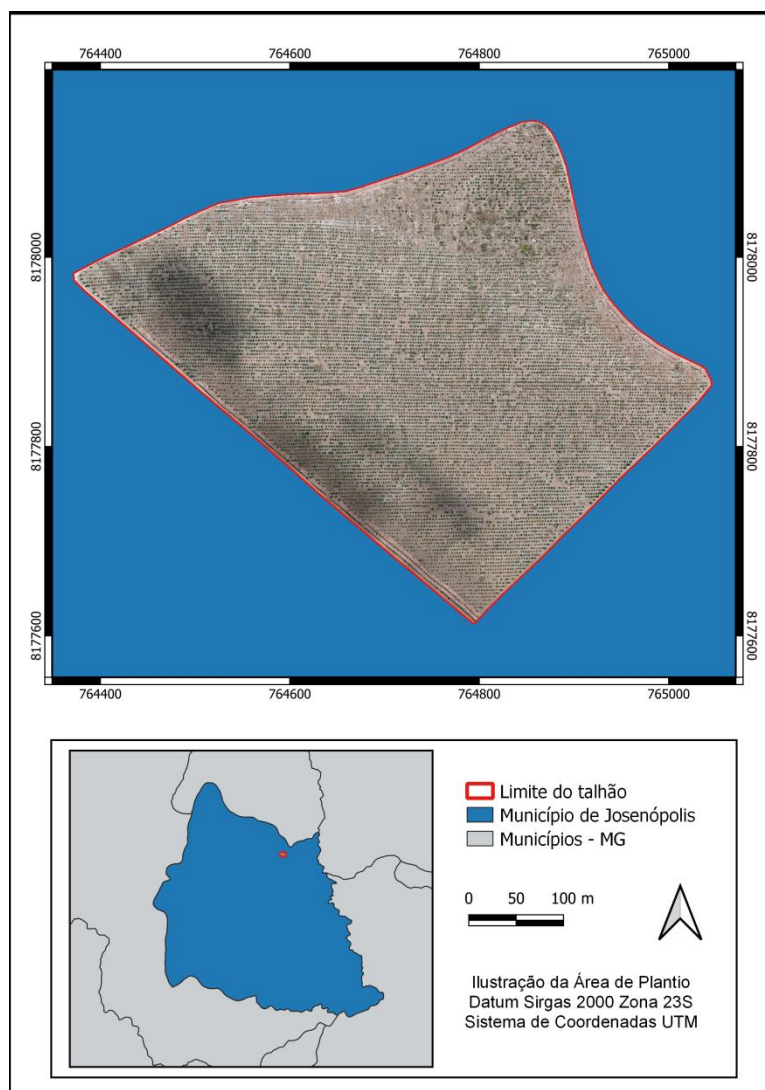
- Avaliar uma metodologia de classificação supervisionada de imagens digitais aéreas por meio do QGIS® para detecção das cepas do híbrido Urograndis que rebrotaram.
- Avaliar a eficiência do algoritmo máxima verossimilhança do programa QGIS® para a contagem automática das brotações das cepas do híbrido Urograndis.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área de estudo

A área de estudo está situada na região norte do estado de Minas Gerais, no município de Josenópolis. O povoamento florestal corresponde a um plantio do clone *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (híbrido Urograndis), em espaçamento de 3,5 x 2,6 m (FIGURA 1).

Figura 1 - Área de estudo do povoamento clonal do híbrido Urograndis no município de Josenópolis, 2021.



Fonte: Do autor, 2022.

De acordo com a classificação Koppen, o clima predominante em Josenópolis é do tipo Bsw (continental-seco) com precipitação média anual inferior a 1.000 mm e média das temperaturas máximas em torno de 34 °C (CPRM, 2004). Os meses secos são de março a novembro e a precipitação máxima ocorre no verão (CPRM, 2004).

4.2 Coleta de dados e geração do ortomosaico

O estudo foi realizado em um talhão florestal de 17,6 hectares, o qual foi colhido em julho de 2021, sendo que a coleta das imagens aconteceu dois meses após a colheita florestal do eucalipto. As imagens aéreas digitais foram obtidas com o uso de um VANT (modelo DJI Mavic Air 2), sendo estas capturadas a uma altura do voo de 100 m, no espectro da luz visível, por meio de sensor RGB. O referido VANT é equipado com um sensor CMOS de 1/2", sendo capaz de capturar imagens em 48 MP, com velocidade máxima de voo de até 68 km/h. As imagens aéreas digitais foram obtidas sob condições do céu com ampla luminosidade solar, com presença de poucas nuvens.

A sobreposição fotogramétrica para obtenção da imagem completa da área de interesse foi de 60% frontal e 55% lateral, afim de obter alinhamento que evitou erros ou buracos no ortomosaico. No controle e no planejamento das rotas de voo foi utilizado o software Drone Harmony[®].

O processamento das imagens digitais para elaboração do ortomosaico foi realizado no software Agisoft Metashape[®]. A rotina de trabalho consistiu nas etapas de alinhamento das fotografias aéreas, construção de uma nuvem de pontos e de uma nova nuvem de pontos mais densa e, por fim, na elaboração do mosaico de ortofotos.

4.3 Censo

O censo das brotações emitidas pelas cepas do híbrido Urograndis foi identificado visualmente no ortomosaico. Para isso, fez-se o recorte das extremidades do ortomosaico deixando-se apenas a área do talhão com a presença das brotações. No levantamento manual do número de brotações foi criada uma camada vetorial tipo linha, com cada feição representando uma fileira de plantio. Em cada

brotção foi criado um vértice, o qual foi extraído posteriormente, sendo transformado em uma camada de pontos.

4.4 Contagem automática

4.4.1 Classificação

Para a classificação da imagem foi utilizado o *Semi-automatic Classification Plugin* (SCP) no software QGIS® versão 3.26 (Buenos Aires).

A amostragem no interior da imagem digital para treinamento e a classificação com o Algoritmo de Máxima Verossimilhança baseou-se na metodologia descrita por Andrade (2019). Para, um total de 30 amostras cada de brotações do híbrido de Urograndis, do solo do talhão e de vegetação espontânea foram selecionadas no ortomosaico para o treinamento do algoritmo.

Para tanto, fez-se o recorte da camada *raster* extraíndo apenas a área com as brotações. Posteriormente, realizou-se a classificação de toda a imagem, gerando um raster com cada pixel possuindo um de três possíveis valores que representam as classes (solo, brotação e ervas daninha).

4.4.2 Aplicação do filtro

A eliminação de ruídos na imagem foi realizado após a classificação supervisionada. A presença de ruídos na classificação pixel a pixel pode ocasionar a geração de pixels isolados (RESENDE *et al.*, 2012). Esses ruídos da classificação favorecem o cálculo de um número superior ao real de brotações, mesmo esses pequenos alvos serão contabilizados como um indivíduo (RUZA *et al.*, 2017) . Para tanto, aplicou-se um filtro disponível no próprio software QGIS® (*Majority Filter*). Esse filtro é utilizado com objetivo de melhorar o aspecto visual da imagem, ou seja, a remoção de pixels isolados que tenham sido classificados de forma equivocada pelo algoritmo. Para isso, utilizou o raio de atuação (*radius*) de 2 *pixels*, com tipo de formato círculo (*kernel type*) para eliminar os *pixels* isolados. Uma vez que realizou-se a aplicação do filtro sobre a imagem classificada procedeu-se à conversão do arquivo filtrado do formato raster para vetor com o

comando poligonizar.

4.4.3 Filtragem de feições

As feições foram classificadas como brotações e foi separado, o arquivo gerado na etapa anterior apresentava feições das classes solo e vegetação espontânea, as quais foram eliminadas restando apenas feições do tipo brotação. Feições demasiadamente grandes ou muito pequenas também foram eliminadas de acordo com o seguinte critério: com área menor 0,2 m², também fossem eliminadas, pois são áreas muito aquém do que uma brotação com idade de até 60 dias apresentaria.

4.4.4 Isolamento de brotações

Em virtude da sobreposição de algumas copas foi necessário realizar o isolamento dessas brotações. Para realizar esse isolamento foi criada uma camada vetorial tipo *buffer* com sentido invertido -0.7 m (das margens para o interior ao invés das margens para o exterior) o valor a ser indicado no software deve ser precedido do sinal negativo. Neste caso o *buffer* serviu como um polígono menor (recoo). Na camada resultante da etapa anterior aplicou-se a ferramenta dividir feições por meio da função multipartes para partes simples (para dividir brotações compostas, ou seja, sobrepostas em apenas feições de parte única). Em seguida realizou-se a união das duas camadas vetoriais (brotação e parte única).

A extração do local de cada brotação na imagem digital foi feita utilizando-se o comando centróide, de forma que cada centróide representou uma brotação que foi computada. Dessa forma, foi possível identificar e contabilizar o número de cepas que apresentavam brotações e, conseqüentemente, realizar a análise automática do inventário de sobrevivência do povoamento.

4.4.5 Avaliação da contagem automática

A avaliação da eficiência da classificação do algoritmo máxima verossimilhança para fins de detecção e contagem das brotações do híbrido Urograndis foi realizada a

partir do lançamento de 30 pontos aleatórios no interior do ortomosaico. Em seguida foi criada uma camada vetorial tipo *buffer* para cada ponto com distância de 20 m e com estilo arredondado. A contagem de brotações detectadas através do censo foi comparada com a quantidade de brotações existentes em cada amostra. Salienta-se que foram consideradas como válidas apenas as brotações que estivessem completamente visíveis em cada imagem, as demais foram descartadas.

Os resultados foram avaliados utilizando os parâmetros estatísticos de precisão (Eq 1), *recall* (Eq 2) e acurácia (Eq 3), indicadores sugeridos por Olson e Delen (2008).

O *recall* representa a precisão dos exemplos positivos e quantos exemplos das classes positivas foram classificados corretamente; conforme a equação (1), onde TP refere-se aos verdadeiros positivos, que são os números de positivos corretamente identificados, e FN representa os falsos negativos, que são os números de positivos que são incorretamente classificados como negativos.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (1)$$

A precisão mede o quanto preciso é o modelo entre os positivos previstos e quantos deles são realmente positivos. A precisão representa o número de verdadeiros positivos (TP) dividido pelo número de verdadeiros positivos (TP) mais o número de falsos positivos (FP), conforme a equação (2).

$$\text{Precisão} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

A acurácia é uma métrica muito utilizada para avaliar o desempenho da classificação. Essa métrica calcula a porcentagem das amostras acertadamente, é descrito pela equação (3).

$$\text{Acurácia} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (3)$$

Os dados de contagem obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e, posteriormente, a eficiência da contagem automática das brotações em

relação ao censo foi analisado pelo teste não paramétrico de Wilcoxon. As análises estatísticas foram todas realizadas no software R.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ortomosaico do talhão de eucalipto

O processamento das imagens obtidas pelo VANT proporcionou a geração do ortomosaico com um alto nível de detalhamento, sendo observada a presença de brotações, erva daninha e solo no talhão florestal (FIGURA 2). Este resultado decorre do fato de que o ortomosaico foi gerado a partir de 103 imagens coletadas pelo VANT, com *pixels* de 0,040 m x 0,040 m de resolução.

Figura 2 - Ortomosaico processado a partir da saída do software QGIS a partir de imagens coletadas na banda RGB com VANT, em povoamento de eucalipto do híbrido Urograndis, município de Josenópolis, 2021.



Fonte: Do autor, 2022.

No ortomosaico foi possível identificar visualmente muitas falhas na rebrota do clone híbrido Urograndis, na região nordeste do talhão (área de 2,4 hectares). Diversos fatores interferem na capacidade de rebrota de cepas de eucalipto, desde fatores genéticos, operacionais e ambientais (STAPE, 1997).

Na região norte e centro-oeste é possível observar o sombreamento (área de 2,7 hectares), em virtude da presença de nuvens existentes no momento da coleta das imagens. Nesse aspecto, é importante ressaltar que na medida do possível, é imprescindível que as imagens que darão origem ao ortomosaico sejam tomadas, preferencialmente, no mesmo período do dia ou na época do ano em que há ocorrência de poucas nuvens para evitar que sombras sejam geradas, acarretando em melhor qualidade da imagem (STARK; CHEN, 2014). No presente estudo, as imagens com o VANT foram obtidas no mês de setembro, que corresponde ao período de seca na região norte de Minas Gerais. Dessa forma, nessa época do ano há predominância de dias ensolarados com baixa presença de nuvens, o que contribuiu para garantir a maior qualidade possível das imagens obtidas e na qualidade do ortomosaico produzido.

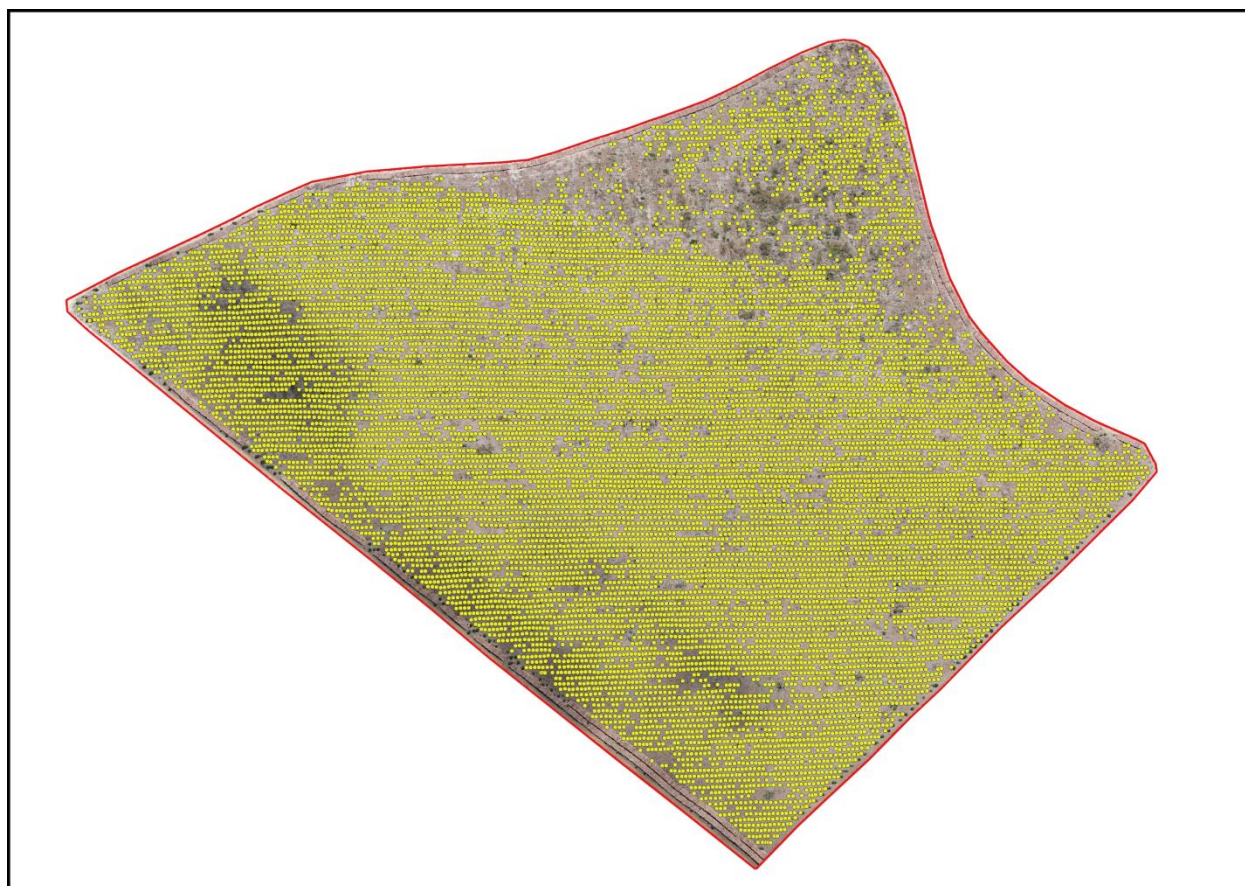
5.2 Censo das brotações

A avaliação das brotações de *Eucalyptus* spp. é uma etapa importante, já que selecionar os melhores talhões para condução da talhadia é uma etapa importante. O censo representa aproximadamente o valor real das brotações da área inventariada, no entanto essa prática é muito trabalhosa e muitas vezes inviável (JÚNIOR et al., 2019). Neste trabalho, o emprego do sensoriamento remoto possibilitou a realização da contagem manual das brotações existentes no talhão, a partir do ortomosaico gerado pelo software. Dessa forma, é notória a vantagem da utilização dessa metodologia em relação à tradicional amostragem empregada nas empresas florestais, pois a realização do censo diretamente no campo é inviável devido aos custos associados à mão de obra necessária para inventariar extensas áreas dos povoamentos (BONFATTI JÚNIOR et al., 2019; ZUCON et al., 2015).

O censo do talhão contabilizou 14.692 brotações (FIGURA 3), o que representa cerca de 835 cepas brotadas por hectare. O espaçamento adotado no povoamento do

híbrido de *Urograndis* é de 3,5 x 2,6 m, indica a possibilidade de ocorrência de 1099 indivíduos por hectare. Portanto, as informações do censo comparadas ao número total de brotações pelo hectare, estima-se uma ocupação de 76% em relação à capacidade do talhão aos 2 meses de idade. Esse resultado sofreu muita influência da baixa regeneração das cepas na região noroeste do talhão. No setor florestal, o percentual de cepas regeneradas e, portanto, de sobrevivência das brotações a ser considerada para a tomada de decisão sobre a reforma do talhão ou a sua condução no sistema de talhadia é variável de acordo com o empreendimento.

Figura 3 - Distribuição das brotações do híbrido *Urograndis* aos 2 meses de idade, identificadas no talhão pelo censo em um talhão florestal presente no município de Josenópolis, 2021

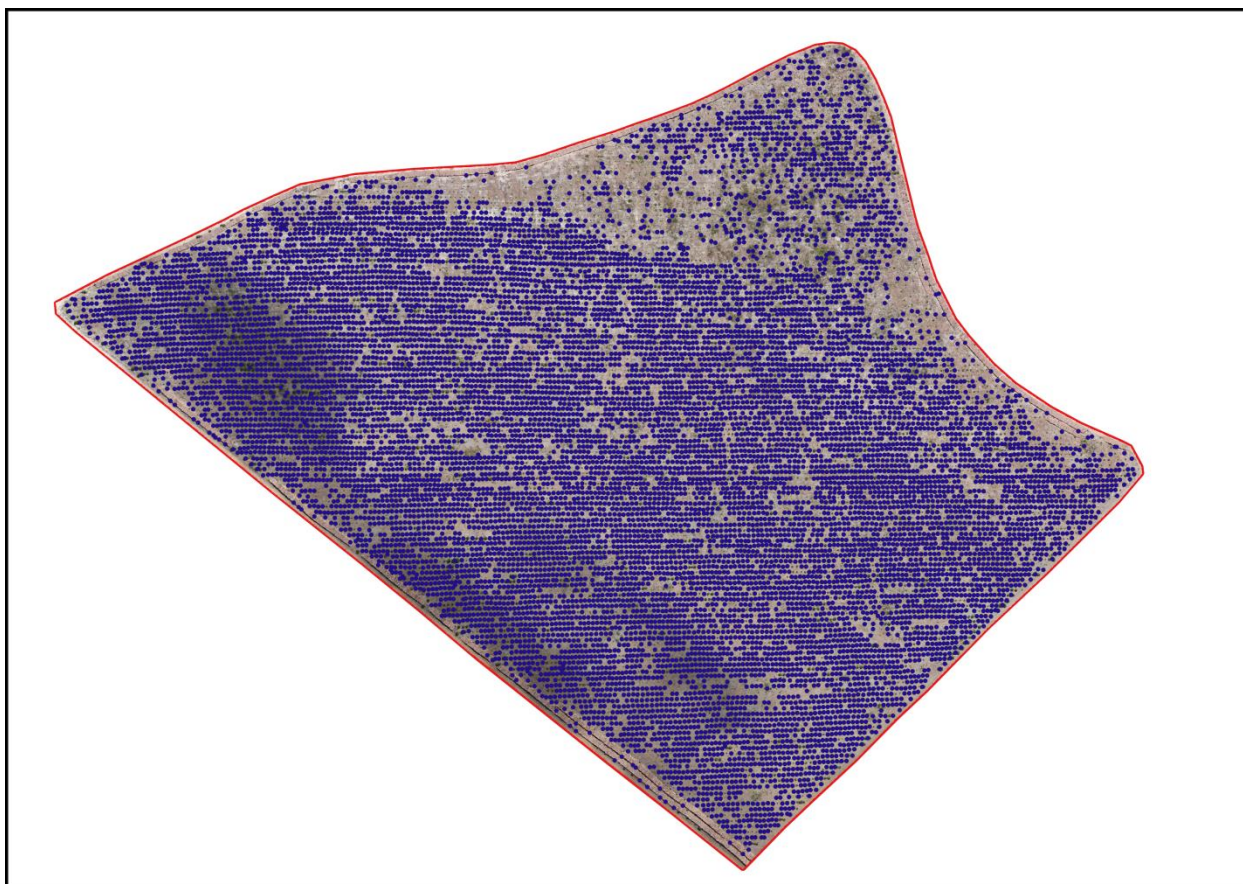


Fonte: Do autor, 2022.

5.3 Contagem automática das brotações

O resultado da identificação e contagem automática das brotações do híbrido Urograndis estimou o número de 13.764 cepas regeneradas (FIGURA 4). O valor numérico encontrado representou 93,68% de correspondência em relação ao número de brotações contabilizadas pelo censo. Ressalta-se a eficiência da metodologia proposta na identificação das brotações e sua contabilização, representando uma alternativa promissora para a otimização do inventário de sobrevivência em povoamentos florestais de eucalipto. O mapeamento de espécies lenhosas com uso do algoritmo de máxima verossimilhança a partir de imagens capturadas nas bandas RGB tem se mostrado eficiente. (OLARIU *et al.*, 2022).

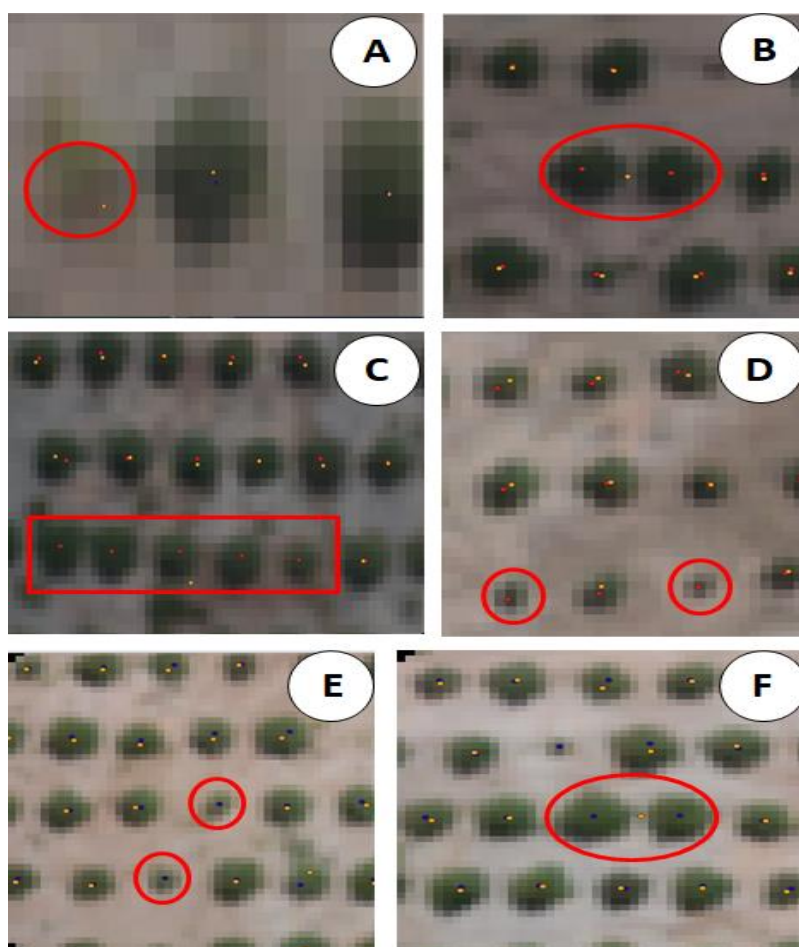
Figura 4 - Identificação automática das brotações do híbrido Urograndis com 2 meses de idade após classificação supervisionada em um talhão florestal presente no município de Josenópolis, 2021



Fonte: Do autor, 2022.

A avaliação pormenorizada da identificação e contagem automática das brotações do híbrido *Urograndis* também revelou, por meio inspeção visual da imagem, que algumas broações não foram identificadas pelo algoritmo utilizado na classificação (FIGURA 5).

Figura 5 - Detalhe de falhas na detecção automática de brotações de um híbrido *Urograndis* a partir de imagens aéreas digitais obtidas por VANT



Fonte: Do autor, 2022.

Nota: **A:** Classificação errônea da regeneração de outra espécie vegetal como brotações de *E. grandis*; **B:** Destaque de duas brotações que não foram classificadas individualmente pelo algoritmo em local sombreado da imagem aérea; **C:** Grupo de brotações que não foram classificadas pelo algoritmo em local sombreado na imagem aérea coletada pelo VANT. **D:** Brotações em destaque que não foram classificadas pelo algoritmo, em local sombreado da imagem aérea; **E:** Em destaque brotações muito pequenas que não foram classificadas pelo algoritmo, no local com insolação direta; **F:** Destaque de brotações sob insolação direta e que não foram classificadas pelo algoritmo. Pontos vermelhos e azuis representam o censo pela contagem manual das brotações e os pontos amarelos indicam o resultado da classificação supervisionada.

As inconsistências observadas na classificação foram de diferentes formas. Dentre aquelas identificadas, houve sobreposição de informações como duplicidade na contagem de uma mesma brotação e falha na classificação entre brotações, vegetação espontânea e áreas na borda da imagem em razão de possuírem curvas espectrais semelhantes (FIGURA 5A). Muitas vezes, na classificação de imagens aéreas digitais ocorre o agrupamento de *pixels* que caracterizam a representação de determinado objeto de forma idêntica para outros objetos, como observado (ARANTES *et al.*, 2020; RUZA *et al.*, 2017). A eficiência do processo de classificação automática é dependente das características espectrais das feições identificadas no ortomosaico.

Nesse sentido, a captura de imagens por sensores capazes de distinguir apenas faixas do visível (vermelho, verde e azul) pode limitar a aplicação de tal metodologia. A reflectância varia para determinado tipo de vegetação e para os estágios de crescimento da cultura (PONZONI; SHIMABUKURO, 2015). A vegetação com folhas verdes absorve a maior parte da radiação no visível e reflete na parte do infravermelho próximo do espectro (KIPTALA *et al.*, 2013).

Dentre os erros encontrados na classificação do ortomosaico gerado a partir das imagens obtidas pelo VANT está a contabilização de uma única brotação pela agregação de várias brotações em um único polígono ou até a sua exclusão na contagem (FIGURAS 5B - D). As falhas na identificação automática foram mais evidentes quando as copas das brotações estavam próximas umas das outras e/ou havia próxima à cepa a presença de vegetação espontânea. A matocompetição ou outro tipo de vegetação no entorno das cepas podem dificultar o contraste do objeto (ARAÚJO *et al.*, 2006).

Houve também erro de classificação do algoritmo na região sombreada da imagem do talhão, uma vez que a iluminação (em excesso ou em escassez) tem efeitos negativos sobre a acurácia das classificações (LEHMANN *et al.*, 2015). O problema de sombreamento ocorre principalmente quando as imagens são coletadas no início e fim do dia. Diante disso a preferência é a realização de vôos para a coleta de imagens aéreas no meio do dia (para dias ensolarados) ou em dias com céu parcialmente coberto (STARK; CHEN, 2014).

A dificuldade em classificar pequenos objetos também repercutiu nos resultados obtidos para a detecção de brotações do híbrido Urograndis (FIGURA 5E - F), quer seja para áreas das imagens com insolação direta ou aquelas

porções sombreadas. No presente trabalho, as brotações de pequeno porte não foram consideradas pelo algoritmo de classificação. A dimensão da copa da brotação interfere na identificação automática e, que, portanto, prejudica a precisão da classificação automática pelo software (RUZA *et al.*, 2017; ZUCON *et al.*, 2015).

Nesse contexto, a idade de realização do inventário de sobrevivência nos povoamentos é um fator decisivo. A precocidade de tempo para a realização desse tipo de avaliação tem impacto direto na organização e estratégia de planejamento do empreendimento florestal, sendo muito vantajosa para o gestor florestal. No entanto, ao considerar idades mais avançadas das brotações para a execução do inventário de sobrevivência através do sensoriamento remoto corre-se o risco de haver sobreposição de copas (ZUCON *et al.*, 2015).

Atualmente, as metodologias empregadas pelas empresas para monitoramento da sobrevivência e/ou qualidade das brotações de cepas de *Eucalyptus* tem sido específica para cada uma delas. Por outro lado, há metodologias que consideram a sobrevivência das cepas/índice de falhas entre 2 e 4 meses após o corte do talhão e a produtividade da rotação anterior (GOMES, 2015). Assim, estudos para a determinação do tempo ótimo do inventário de sobrevivência em povoamentos destinados à condução pelo sistema de talhadia contribuiriam para preencher esta lacuna. Além disso, A otimização do inventário de sobrevivência também pode ser obtida pelo aperfeiçoamento da metodologia de classificação. Para tanto, a realização de maior número de vãos ou em diversas alturas para a obtenção das imagens digitais possibilitaria uma classificação mais precisa de áreas menores, por exemplo das brotações pequenas que foram contabilizadas apenas no censo.

5.4 Avaliação da contagem automática

A estimativa do número de brotações do híbrido Urograndis diferiu entre o censo e a detecção automática através do algoritmo de classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança (TABELA 1). A diferença obtida para estimativa do número de brotações na classificação supervisionada em relação ao censo, muito provavelmente, está correlacionada à proximidade entre as copas, o que dificultou a detecção, diferenciação e contagem de indivíduos. Ademais, o cuidado na definição das áreas de treinamento, com a seleção de muitos pixels pode produzir bons resultados na classificação (INPE, 2002).

Tabela 1 - Estimativa do teste não paramétrico de Wilcoxon para a contagem do número brotações de um híbrido Urograndis, com 2 meses de idade, através do censo e da detecção automática em um talhão florestal presente no município de Josenópolis, 2021

Método de contagem	Teste Wilcoxon	p valor
Censo		
Detecção automática	353.5	0.0005893*

* = significativo a 5% de probabilidade

Fonte: Do autor, 2022.

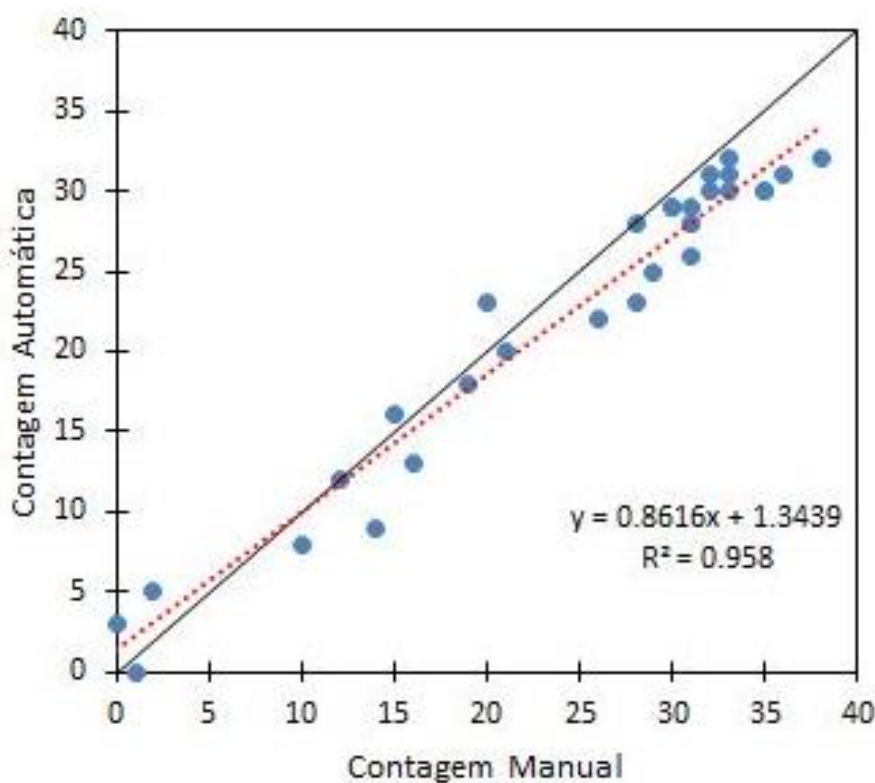
A estimativa do erro entre a contagem do número de brotações através do censo e da detecção automática pode ser considerada baixa (TABELA 2). A alta correlação ($R^2 = 0.96$) encontrada entre o número de brotações contabilizadas pelo censo manual e a detecção automática do algoritmo de máxima verossimilhança reforça a eficiência da metodologia (FIGURA 7). Portanto, isso é um indicativo da viabilidade do sensoriamento remoto para otimização dos inventários de sobrevivência, carecendo de ajustes na metodologia para seu aperfeiçoamento. Entretanto, considerando o valor absoluto da diferença do número de brotações, este representa quase o número de plantas em 1,0 hectare no talhão florestal. Ressalta-se que a informação obtida dessa forma pode ser considerada bem mais precisa em relação à amostragem usual aplicada nos empreendimentos florestais, pois permite uma simples conferência na imagem. Diante disso, o gestor florestal tem uma ferramenta mais sólida para inferir se o erro verificado é adequado aos objetivos almejados para o povoamento florestal.

Tabela 2 - Número médio de brotações do híbrido Urograndis, com 2 meses de idade, obtidos pelo censo e para detecção automática em um talhão florestal presente no município de Josenópolis, 2021

Número de parcelas	Censo	Detecção automática	Diferença	Erro (%)
30	14.692	13.764	928	6,32

Fonte: Do autor, 2022.

Figura 6 - Gráfico de regressão linear simples do número brotações de um híbrido Urograndis com 2 meses de idade, obtidas através do censo e de detecção automática a partir de imagens aéreas digitais obtidas por VANT



Fonte: Do autor, 2022.

As métricas aplicadas para avaliação da classificação supervisionada do talhão florestal apresentaram resultados superiores a 80% (TABELA 3). Os valores encontrados são similares e/ou superiores àqueles encontrados na literatura (GINI *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2021). Portanto, a utilização da classificação supervisionada com algoritmo de máxima verossimilhança permite dizer que a metodologia pode ser utilizada na detecção automática de brotações no povoamento de eucalipto.

Tabela 3 - Valores médios dos parâmetros de precisão, recall, acurácia da aplicação do algoritmo de classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança para detecção de brotações do híbrido Urograndis em um talhão florestal de 2 meses de idade.

Número de parcelas	Precisão	<i>Recall</i>	Acurácia
30	0,9	0,8	0,8

Fonte: Do autor (2022).

Os valores de precisão estão relacionados com a quantidade de positivos verdadeiros e de positivos falsos. Por sua vez, o *recall* é influenciado pelo número de positivos verdadeiros e de negativos falsos. Portanto, comprando as métricas de precisão e *recall*, a classificação supervisionada pelo algoritmo teve maior falha em reconhecer brotações ou em discriminar duas brotações, considerando-as como um único indivíduo. Dessa forma, reforça-se que a metodologia é viável para o objetivo proposto, necessitando de ajustes, principalmente quanto à identificação de negativos falsos. Para tanto, o número de pixels amostrados na etapa de treinamento influencia na classificação (Andrade, 2019). Dessa forma, ajustes na amostragem no interior da imagem digital para treinamento podem ser aplicados para que a amostragem seja otimizada de tal forma que os *pixels* no talhão sejam representativos e proporcionem melhor classificação.

No processamento digital de imagens, a técnica de classificação das mesmas por meio de algoritmos computacionais com reconhecimento de padrões para identificar de forma automática nas imagens os objetos é bastante utilizada (OLIVEIRA; SILVA, 2019). No entanto, no setor florestal, a técnica ainda é uma novidade sendo que neste estudo a classificação pixel a pixel utilizada pelo algoritmo conforme sua informação espectral (OLIVEIRA; SILVA, 2019) abre perspectivas para a ampliação do seu emprego na avaliação das práticas silviculturais.

O investimento no monitoramento dos plantios florestais com o emprego de VANT é compensado no longo do tempo, quando comparado aos custos totais do empreendimento. Dessa forma, a associação do uso de VANT com o emprego das técnicas de sensoriamento remoto na avaliação de cepas rebrotadas de *Eucalyptus* spp. pode ser uma alternativa viável para um setor de grandes investimentos, podendo ser aprimorado para qualquer localidade de ocorrência dos

plantios florestais comerciais. Ademais, a utilização das classificações de imagens utilizando algoritmo para o sistema de talhadia possibilita a análise de grandes quantidades de imagens aéreas de forma precisa e coerente, inclusive abrindo perspectivas de seu emprego além do estudo aqui proposto.

6. CONCLUSÕES

A metodologia de classificação supervisionada de imagens aéreas digitais obtidas a partir de VANT foi adequada para a detecção das cepas que rebrotaram do clone híbrido Urograndis.

A contagem automática das brotações do clone híbrido Urograndis com o algoritmo máxima verossimilhança foi eficiente, atingindo valores superiores de 80% para precisão, *recall* e acurácia.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMADO, R. P. Manejo de brotação em áreas da Arcelor Mittal BioFlorestas Ltda. **Série Técnica IPEF**, v. 21, n. 42, p. 34-38, 2015.

ANDRADE, J. M. D. A. **Estimativa da sobrevivência de rebrotas em povoamento de Eucalyptus spp com uso de veículo aéreo não tripulado (VANT)**. 2019. 30 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2019.

ANGELOPOULOU, T.; TZIOLAS, N.; BALAFOUTIS, A.; ZALIDIS, G.; BOCHTIS, D. Remote sensing techniques for soil organic carbon estimation: A review. **Remote Sensing**, v. 11, n. 6, p. 676, 2019.

ARANTES, B. H. T.; ARANTES, L. T.; Dos SANTOS, J. M.; VENTURA, M. V. A.; GOMES, L. F. Análise de eficiência do uso de algoritmo de correspondência de modelo para contagem de plantas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, 2020.

ARAÚJO, M. A.; CHAVIER, F.; DOMINGOS, J. L. Avaliação do potencial de produtos derivados de aeronaves não tripuladas na atividade florestal. **Ambiência**, v. 2, n. 3, p. 69-82, 2006.

ARAÚJO, V. G.; ACCIOLY, P. Use of remote sensing in estimating density of forest settlements/uso do sensoriamento remoto na estimativa da densidade de povoamentos florestais. **Brazilian Journal of Technology**, v. 2, n. 3, p. 758-783, 2019.

ARBEX, D. C.; SILVA, D. M. R. Manejo da brotação de eucalipto na Copener Florestal. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 21, n. 42, p. 7-13, 2015.

BARALOTO, C.; MOLTO, Q.; RABAUD, S.; HÉRAULT, B.; VALENCIA, R.; BLANC, L.; THOMPSON, J. Rapid simultaneous estimation of aboveground biomass and tree diversity across Neotropical forests: a comparison of field inventory methods. **Biotropica**, v. 45, n. 3, p. 288-298, 2013.

BONFATTI JÚNIOR, E. A.; LENGOWSKI, E. C.; REESE, E. Monitoramento da sobrevivência de *Eucalyptus* spp. por imagens obtidas por VANTs. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 3, p. 220-226, 2019.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 5. ed. Viçosa, UFV, 2017.

CASTRO GALIZIA, L. F. De *et al.* **Qualidade das atividades silviculturais e silvicultura de precisão**. Série Técnica IPEF, v. 24, n. 45, 2016.

CHAVES, R.; MARRICHI, A. H. C. **Manejo de talhadia (2ª Rotação) na Duratex**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v. 21, n. 42, 2015.

COMPANHIA, D. P. D. R. M. **Projeto cadastro de abastecimento por águas subterrâneas, Estados de Minas Gerais e Bahia: diagnóstico do município de**

Taiobeiras, MG. Belo Horizonte, 2004.

FERRARI, M. P.; FERREIRA, C. A.; DA SILVA, H. D. **Condução de plantios de Eucalyptus em sistema de talhadia**. Colombo: Embrapa, 2004.

FERRAZ FILHO, A. C.; SCOLFORO, J. R. S.; MOLA-YUDEGO, B. The coppice-with-standards silvicultural system as applied to Eucalyptus plantations—a review. **Journal of Forestry Research**, Lavras, 21 mai. 2014, p. 237-248.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. São Paulo, 2005. 32p.

GINI, R.; PASSONI, D.; PINTO, L.; SONA, G. Use of unmanned aerial systems for multispectral survey and tree classification: A test in a park area of northern Italy. **European Journal of Remote Sensing**, v. 47, n. 1, p. 251-269, 2014.

GOMES, F. S. Manejo de talhadia na Gerdau. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 21, n. 42, 2015.

GONÇALVES, J. L. de M. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 6-27, 2013.

GONÇALVES, J. L. de M.; ALVARES, C. A.; BEHLING M.; ALVES, J. M.; PIZZI, G. T.; ANGELI, A. Produtividade de plantações de eucalipto manejadas nos sistemas de alto fuste e talhadia, em função de fatores edafoclimáticos. **Scientia Forestalis**. v. 42, n. 103, p. 411- 419, 2014.

GUEDES, I. C. D. L.; COELHO JÚNIOR, L. M.; OLIVEIRA, A. D. D.; MELLO, J. M. D.; REZENDE, J. L. P. D.; SILVA, C. P. D. C. Economic analysis of replacement regeneration and coppice regeneration in eucalyptus stands under risk conditions. **Cerne**, v. 17, p. 393-401, 2011.

HORCHER, A.; VISSER, R.J. Unmanned Aerial Vehicles: Applications for Natural Resource Management and Monitoring. In: **Proceedings of the Council on Forest Engineering Proceedings 2004: Machines and People**, The Interface, Hot Springs, AR, USA, 27–30 April 2004.

INPE. **Tutorial SPRING**. São José dos Campos: INPE, 2002.

JESUS, G. L. Manejo da regeneração do eucalipto na Cenibra. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 21, n. 42, 2015.

JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, S. I. et al. Digital terrain models generated with low-cost UAV photogrammetry: Methodology and accuracy. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 5, p. 285, 2021.

JÚNIOR, E. A. B.; LENGOWSKI, E. C.; REESE, E. MONITORAMENTO DA SOBREVIVÊNCIA DE *Eucalyptus spp.* POR IMAGENS OBTIDAS POR VANTs. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 3, p. 220-226, 2019.

KIPTALA, J. K. *et al.* Land use and land cover classification using phenological variability from MODIS vegetation in the Upper Pangani River Basin, Eastern Africa. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 66, p. 112-122, 2013.

KOH, L. P.; WICH, S. A. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. **Tropical conservation science**, v. 5, n. 2, p. 121-132, 2012.

LECHNER, A. M.; FOODY, G. M.; BOYD, D. S. Applications in remote sensing to forest ecology and management. **One Earth**, v. 2, n. 5, p. 405-412, 2020.

LEHMANN, J. R. K.; NIEBERDING, F.; PRINZ, T.; KNOTH, C. Analysis of unmanned aerial system-based CIR images in forestry - A new perspective to monitor pest infestation levels. **Forests**, v.6, n.3, p. 594-612, 2015.

LI-SHUN, J.; DING-SHENG, L. Research on K-means clustering parallel algorithm of remote sensing image. **Remote Sensing Information**, v. 1, p. 27-30, 2008.

LIU, K., SHI, W.; ZHANG, H. A fuzzy topology-based maximum likelihood classification. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 66, n. 1, p. 103-114, 2011.

MAVIC AIR 2: **Manual do usuário v1.0**, p 54. Disponível: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_Air_2/multi/Mavic_Air_2_User_Manual_v1.0_br.pdf.

MEDAUAR, C. C. *et al.* Monitoring of eucalyptus sprouts control using digital images obtained by unmanned aerial vehicle. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 37, n. 7, p. 739-752, 2018.

MEDAUAR, C. C. *et al.* Using unmanned aerial vehicle for identifying the vegetative vigor and quantify the area occupied by eucalyptus sprouts after chemical weeding in the state of Bahia, Brazil. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 165-171, 2020.

MORAES FILHO, L. O. *et al.* Classificador de máxima verossimilhança aplicado à identificação de espécies nativas na Floresta Amazônica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2019. **Anais...** INPE. Santos (SP): INPE, maio, 2017.

NETO, R. P. M.; BREUNIG, F. M. **Drones nas ciências florestais**. Drones e ciência, p. 68, 2019.

OLARIU, H. G. *et al.* Woody Plant Encroachment: Evaluating Methodologies for Semiarid Woody Species Classification from Drone Images. **Remote Sensing**, v. 14, n. 7, p. 1665, 2022.

OLIVEIRA, A. M. *et al.* Processamento digital de imagens para mapeamento do coeficiente de manning em ambiente semiárido. **International Journal of Development Research**, v. 11, n. 01, p. 43921-43928, 2021.

OLIVEIRA, W. V.; SILVA, C. R. Identificação e Extração Automática de Indivíduos de Ipê-Amarelo em Imagens Obtidas por VANT. **Rev. Bras. Cartogr**, v. 71, n. 4, p. 1114-1134, 2019.

OLSON, D. L.; DELEN, D. **Advanced data mining techniques**. Springer Science & Business Media, 2008.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; DOS SANTOS, P. E. T. **Escolha de cultivares de eucaliptos em função do ambiente e do uso**. Brasília-DF: Embrapa, 2013.

PANEQUE-GÁLVEZ, J. *et al.* Small drones for community-based forest monitoring: An assessment of their feasibility and potential in tropical areas. **Forests**, v. 5, n. 6, p. 1481-1507, 2014.

PONZONI, F. J., SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Oficina de Textos, 2015.

RESENDE, M. R.; BERNUCCI, L. L. B.; QUINTANILHA, J. A. Classificação híbrida: pixel a pixel e baseada em objetos para o monitoramento da condição da superfície dos pavimentos rodoviários. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 18, p. 397-420, 2012.

REZENDE, J. L. P.; SOUZA, A. N. OLIVEIRA, A. D. The optimal time for substitution of Eucalyptus spp. plantations - the technological progress case. **Cerne**, v. 11, n. 1, p. 1–15, 2005.

RIBEIRO, R. M. P. **Avaliação de métodos de classificação de imagens IKONOS II para o mapeamento da cobertura terrestre**. Tese (Doutorado), Curso de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ROBERTO, A. J. **Extração de informação geográfica a partir de fotografias aéreas obtidas com VANTs para apoio a um SIG municipal**, 2013. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica) – Porto (Portugal), Universidade do Porto, 2013.

RUZA, M. S. *et al.* 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, p.83-88, 2017.

SALAMÍ, E.; BARRADO, C.; PASTOR, E. UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. **Remote Sensing**, v. 6, n. 11, p. 11051 - 11081, 2014.

SBARDELLA, M. **Capacidade de brotação e crescimento de espécies de Eucalyptus spp. em sistema de alto fuste e talhadia**. 2020. 74 p.; Dissertação (Mestrado) – Botucatu, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2020.

SILVA, F. V.; FERREIRA, R. H. S.. Classificação supervisionada por máxima verossimilhança gaussiana como ferramenta para monitoramento de áreas de vegetação em regiões metropolitanas. **Cippus**, v. 7, n. 2, p. 147-157, 2019.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2011, p. 272.

SOUZA, J. R., MENDES, C. C., GUIZILINI, V., VIVALDINI, K. C., COLTURATO, A., RAMOS, F., & WOLF, D. F. Automatic detection of *Ceratocystis* wilt in eucalyptus crops from aerial images. In: **IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)**. IEEE, 2015. p. 3443-3448.

STAPE, J. L. Planejamento global e normatização de procedimentos operacionais da talhadia simples em *Eucalyptus*. **Série técnica IPEF**, v. 11, n. 30, p. 51-62, 1997.

STARK, B.; CHEN, Y. Optimal Collection of High Resolution Aerial Imagery with Unmanned Aerial Systems. In: **International Conference on Unmanned Aircraft Systems, Orlando, Estados Unidos da América**. STATSOFT, Version 7, p. 89-94, 2014.

TANG, L.; SHAO, G. Drone remote sensing for forestry research and practices. **Journal of Forestry Research**, v. 26, n. 4, p. 791-797, 2015.

TORRESAN, C.; BERTON, A.; CAROTENUTO, F.; et al. Forestry applications of UAVs in Europe: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 8 - 10, p. 2427 - 2447, 2017.

WATT, M. S. *et al.* Application of remote sensing technologies to identify impacts of nutritional deficiencies on forests. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 149, p. 226-241, 2019.

ZHANG, C.; KOVACS, J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 693 - 712, 2012.

ZHAO, H. *et al.* Failure detection in eucalyptus plantation based on UAV images. **Forests**, v. 12, n. 9, p. 1250, 2021.

ZUCON, A. R. S. *et al.* Use of unmanned aerial vehicle images as a tool to evaluate stand uniformity in clonal Eucalyptus plantations. **Anais do XVII Simpósio Bras Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa INPE**, p. 6381-6388, 2015.