

IDENTIFICAÇÃO DE PLANTAS EM POMAR DE CITROS SOB USO DE SENSORIAMENTO REMOTO

 <https://doi.org/10.56238/arev7n1-091>

Data de submissão: 08/12/2024

Data de publicação: 08/01/2025

Louise Alves do Nascimento

Engenheira Agrônoma
Universidade Federal de Sergipe
São Cristóvão, Sergipe, Brasil
E-mail: louse12profjo@gmail.com

Welington Gonzaga do Vale

Doutor em Produção Vegetal
Universidade Federal de Sergipe
São Cristóvão, Sergipe, Brasil
E-mail: valewg@gmail.com

Diego Campana Loureiro

Doutor em Fitotecnia
Universidade Federal de Sergipe
São Cristóvão, Sergipe, Brasil
E-mail: campanaloureiro@gmail.com

Valfran José Santos Andrade

Mestre em Recursos Hídricos
Universidade Federal de Sergipe
São Cristóvão, Sergipe, Brasil
E-mail: valfranjose40@gmail.com

Adilson Machado Enes

Doutor em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Sergipe
São Cristóvão, Sergipe, Brasil
E-mail: adilsonenes@gmail.com

Patricia Azevedo Castelo Branco Vale

Doutora em Ciência Animal
Universidade Federal de Sergipe
Nossa Senhora da Glória, Sergipe, Brasil
E-mail: patriciavale78@gmail.com

Thiago Martins Machado

Doutor em Mecanização Agrícola
Universidade Federal de Mato Grosso
Sinop, Mato Grosso, Brasil
E-mail: thiago.machado@ufmt.br

RESUMO

A utilização de Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs) ou drones para capturar imagens está cada vez mais recorrente devido à resolução física e espacial desta tecnologia. Na agricultura, um dos métodos de sensoriamento remoto que podem ser desempenhados para caracterizar e monitorar cultivos agrícolas, é a Análise de Fotografias Aéreas. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o potencial de coleta de dados com drones e utilização do software SAGA GIS para a detecção de árvores em pomar de citros no município de Itabaianinha- SE. Os voos foram realizados no dia 03 de agosto de 2024, em diferentes alturas e com sobreposição de imagens distintas. Foram avaliados o tempo gasto no processamento em diferentes qualidades e diferentes parâmetros aos quais as imagens foram submetidas, a fim de estabelecer o melhor protocolo para trabalho com imagens obtidas por meio de sensoriamento remoto. Os resultados gerados foram analisados em índices de Precisão e Revocação. Todos os dados gerados foram submetidos à análise estatística para a comprovação da eficiência. Dentre as qualidades de processamento analisadas, a baixa qualidade em voo de 120 metros de altura com sobreposição de 70 x 80, submetida aos parâmetros de raio de 10 e desvio padrão de 2 no SAGA GIS, mostrou-se mais eficiente e próximo à realidade quando comparada às demais. Conclui-se que o sensoriamento remoto aplicado com drones possibilita uma gestão mais eficiente dos cultivos agrícolas.

Palavras-chave: Agricultura Digital. Contagem de Árvores. Aerofotogrametria.

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura é uma atividade que recebe destaque no setor agrícola brasileiro, o que proporciona uma vasta gama de frutas ao longo do ano, em razão das condições climáticas propícias, práticas agrícolas eficientes e pelos investimentos em ciência e tecnologia. A excelência e a variedade na produção de frutas no Brasil têm estimulado a expansão do setor no cenário global, fazendo com que o país ocupe a terceira posição entre os maiores produtores de frutas do mundo, com mais de 40 milhões de toneladas ao ano.

Segundo o relatório de julho do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA), o Brasil lidera a produção global de laranja e suco de laranja, enquanto a China domina a produção de tangerinas e toranjas, e o México é o principal produtor de limões e limas.

Na implantação de pomares, a aquisição de mudas desempenha um papel crucial, sendo um dos principais fatores que influenciam o sucesso a longo prazo da produção. De acordo com um estudo feito por Pinheiro et al. (2019), a aquisição de insumos apresentou maior custo no ano de implantação, onde a compra de mudas certificadas se apresenta como o item de maior relevância.

Em vista a grande importância da fruticultura e com o crescimento das áreas de cultivo, torna-se crucial possuir dados exatos sobre a quantidade de árvores frutíferas, tanto para calcular a taxa de sobrevivência das plantas quanto para acompanhar sua produtividade. O avanço dos veículos aéreos não tripulados (VANTs), também conhecidos como drones, e dos sensores embarcados multiespectrais, apresenta-se como um divisor de águas para a agricultura, pois define novos padrões de sensoriamento remoto com maior exatidão, regularidade e qualidade das informações coletadas. Com a utilização de VANTs, pode-se coletar dados georreferenciados das culturas, a depender do tipo de sensor empregado. É possível também investigar as diversas regiões do espectro eletromagnético através do processamento digital das imagens.

A eficácia na identificação e quantificação das árvores frutíferas está atrelada à resolução espacial da imagem; à predominância da árvore no pomar em termos de sobreposição, união de copas, separação de galhos e geometria do alvo; à topografia do local e, principalmente, ao tipo de sensor empregado no processo de obtenção das imagens. Todos esses elementos têm o potencial de facilitar ou complicar a contagem de árvores.

A análise automatizada de imagens digitais é bastante complexa, especialmente na identificação de vegetação, ao considerar seus parâmetros morfométricos, que são frequentemente variáveis em condições naturais. OjedaMagaña et al. (2020) argumentam que a detecção individual é comprometida precisamente pela dificuldade em definir a área de cada árvore, seja quando a sombra de uma árvore se projeta sobre si mesma ou quando se projeta no solo onde a copa das árvores e as

sombras possuem cores parecidas, ou até mesmo quando a copa de uma árvore possui diversas áreas.

Desse modo, o presente trabalho objetivou desenvolver um protocolo para a identificação e contagem remota de árvores em pomares de citros no município de Itabaianinha, em Sergipe, a partir de imagens obtidas por drone e processadas em softwares de fácil acesso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A CULTURA DA LARANJA

O gênero *Citrus*, pertencente à família Rutaceae, tem seu provável centro de origem no Sudeste Asiático. No entanto, sua taxonomia é bastante controversa, uma vez que alguns autores baseiam seu método de classificação em aspectos distintos, a exemplo de Tanaka (1977) que considera características morfológicas e propõe um total de 162 espécies, enquanto a sugerida por Swingle & Reece (1967) engloba apenas 16 espécies voltando sua tese para o conceito biológico.

Dentre as espécies pertencentes a esse gênero, a laranja doce, de nome científico *Citrus sinensis* L. Osbeck, surgiu da hibridação natural das espécies *Citrus máxima* (toranja) e *Citrus reticulata* (tangerina) e foi introduzida no Brasil pelos portugueses no início da colonização das terras, em meados de 1500 (Embrapa, s.d.b; Fernandes, 2010).

A adaptação da laranja nacionalmente foi tão bem sucedida que com o tempo, o país se tornou um grande produtor e ocupou a primeira posição no ranking mundial de produção desse fruto de acordo com a FAO (2022). O Brasil conseguiu produzir quase 20 milhões de toneladas no ano de 2023, o dobro se comparado com a produção em 2019.

Apesar de São Paulo ser o maior produtor nacional, Sergipe encontra-se como 4º estado que mais produz laranja no país, mesmo com território reduzido e área colhida cerca de 10 vezes menor que o primeiro colocado, segundo dados do IBGE de 2022.

A origem da citricultura sergipana se deu com a chegada de mudas enxertadas de Laranja Bahia (Laranja de Umbigo) em Laranja Azeda (Laranja da Terra), trazidas por tropeiros de Alagoinhas-BA. Durante os anos de 1970 e 1990 o cultivo cresceu e se expandiu pelo estado, de modo a ocupar áreas antes destinadas a outras atividades e favorecer a adesão de novas tecnologias.

Atualmente, o pólo citrícola do estado de Sergipe conta com produção de cerca de 13,82 t/ha, o que o caracteriza como o segundo lugar que mais produz laranja no Nordeste, atrás apenas da Bahia (IBGE, 2022).

2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A Agricultura de Precisão (AP) pode ser definida como um sistema que auxilia no

gerenciamento agrícola, como base na variação temporal e espacial da unidade produtora, e com o intuito de contribuir na sustentabilidade, reduzir impactos ambientais, além de agregar ganho econômico à propriedade (BRASIL, 2012).

Tendo em vista esse conceito, Bernardi et al. (2014) concorda que em virtude da agricultura brasileira se direcionar para uma produção eficiente com práticas de mitigação de danos ao meio ambiente, a agricultura de precisão se insere como uma boa opção para atender o objetivo proposto, inclusive no cenário da fruticultura nacional.

Já Lamparelli, Rocha e Borghi (2016) descrevem a Agricultura de Precisão (AP) como um conjunto de técnicas que, ao considerar aspectos como a localização, a fertilidade do solo e outros fatores, permitem realizar um manejo específico nas áreas cultivadas. Isso possibilita a otimização do uso de insumos e a obtenção de um melhor desempenho das culturas.

A aplicação da AP na unidade produtora proporciona um amplo conhecimento da produção, o que contribui de forma positiva para a tomada de decisão (Pontes & Cavichioli, 2018). Dentre os passos para se implantar a AP no sistema produtivo, podem ser citadas as etapas de: monitoramento intensivo, geração e integração de mapas, além da sistematização da modelagem agrônômica (De Oliveira, 2009).

A obtenção de dados, para aplicação na AP pode ser realizada dentre outras formas por meio do sensoriamento remoto, sem que haja contato físico com o objeto de análise (BERNARDI et al., 2014).

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO

De acordo com Arantes et al. (2019), o Sensoriamento Remoto é uma metodologia da agricultura de precisão que visa detectar e quantificar problemas de maneira espacial e possibilitar um manejo direcionado que busca solucionar possíveis problemas durante o ciclo da cultura. Através dele, é possível estabelecer as linhas de plantio para maximizar a utilização da área e a distribuição dos equipamentos agrícolas. Uma de suas vantagens é a aplicação direcionada de herbicidas, o que diminui consideravelmente os gastos e atenua o efeito no meio ambiente.

Uma das ferramentas de sensoriamento remoto usados na agricultura de precisão são os veículos aéreos não tripulados (VANTs), também chamados de drones. Esses aparelhos se tornaram mais acessíveis com o progresso tecnológico atual que oferece equipamentos compactos e de custo reduzido, além de satisfazer a demanda por maior eficiência na produção, o que repercutiu em uma maior adesão do seu uso em campo (Oliveira *et al.*, 2020).

Ainda de acordo com Oliveira et al. (2020), a utilização do drone segue as etapas de:

planejamento de voo, voo com sobreposição, obtenção de imagens georreferenciadas, processamento das imagens, geração do mosaico, análise em uma ferramenta GIS e geração de relatórios.

Isso corrobora com o que Pádua et al. (2020) afirma sobre o uso de imagens georreferenciadas para a obtenção de modelos digitais de elevação (DEM) mosaico de ortofotos, índices espectrais, dentre outros produtos do processamento digital.

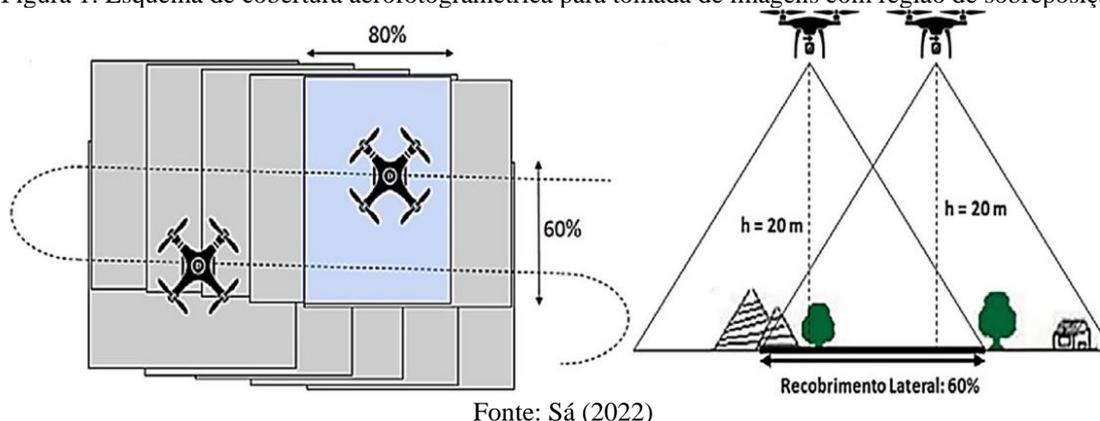
2.4 AEROFOTOGRAMETRIA

A aerofotogrametria é um método de coleta de dados geoespaciais que emprega fotografias aéreas obtidas por sensores ou câmeras a bordo de aeronaves, tais como drones ou aviões. Esta abordagem integra o sensoriamento remoto e possibilita a reconstrução tridimensional de áreas a partir de uma série de imagens bidimensionais. Ela é frequentemente empregada em vários campos, incluindo mapeamento, avaliações ambientais e planejamento territorial (Cotomácio e Lima, 2020).

Conforme Wolf (1995), as fotografias de um objeto podem ser categorizadas com base em sua geometria, sendo classificadas em alto oblíquo, baixo oblíquo e vertical. A fotografia vertical acontece quando o eixo óptico da câmera do equipamento fotográfico está alinhado perpendicularmente com o terreno. Contudo, as fotografias com eixo não perpendicular não são apropriadas para mapeamento devido a restrições geométricas e distorções acentuadas (Ruy, 2008).

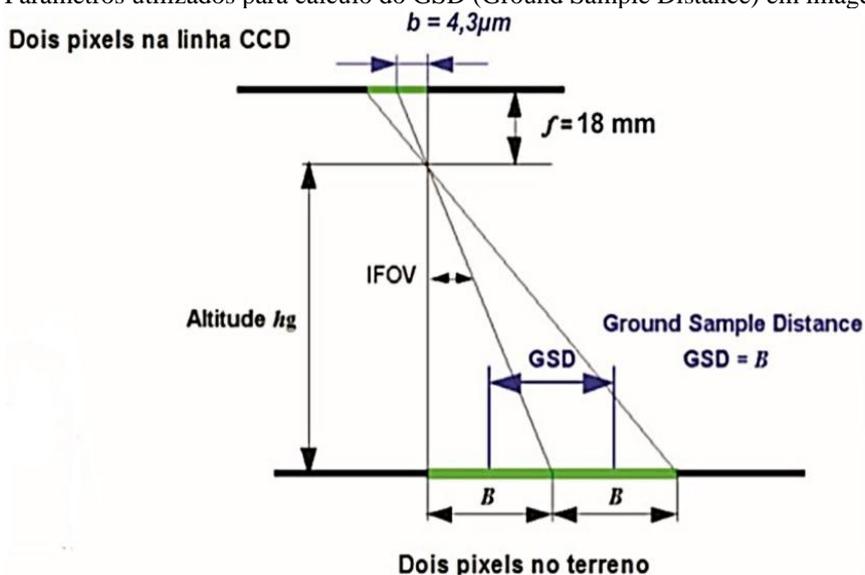
De acordo com Silva Júnior (2019), outro fator da aerofotogrametria é a cobertura aerofotogramétrica, que se refere à representação do terreno através de imagens fotográficas sequenciais obtidas ao longo de uma área de voo. Para assegurar uma cobertura total, é necessário uma sobreposição longitudinal mínima de 60% entre as fotografias consecutivas e lateral de pelo menos 30% entre faixas paralelas. Isso garante a fotografia repetida de pontos da superfície, prevenindo falhas e possibilitando a obtenção de medidas tridimensionais (Figura 1).

Figura 1. Esquema de cobertura aerofotogramétrica para tomada de imagens com região de sobreposição



De acordo com Cunha et al. (2016), ao vincular o pixel à escala do objeto fotografado, isto é, quando o tamanho do pixel representa uma distância real no terreno, é estabelecida então a resolução da imagem, também chamada de GSD (Ground Sample Distance). A altura da fotografia em relação ao chão, a distância focal da câmera e o tamanho do pixel no sensor estão diretamente ligados ao GSD, sendo assim, tem-se um valor diferente de GSD a cada altura de voo (Figura 2).

Figura 2. Parâmetros utilizados para cálculo do GSD (Ground Sample Distance) em imagens aéreas



Fonte: Sá (2022)

Para a determinação do GSD utiliza-se a equação 1 com os seguintes parâmetros:

$$GSD = \frac{(h_g \times b)}{f} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

b - Tamanho do pixel do sensor

f - Distância focal da lente

h_g - Altura do voo

GSD - *Ground Sample Distance* - Distância entre o centro de dois pixels vizinhos

O valor fornecido pelo GSD está diretamente relacionado ao grau de detalhamento do levantamento aéreo; isto é, quanto maior o GSD, menor o grau de detalhamento, e inversamente, quanto menor o GSD, maior o grau de detalhamento. O GSD tem relação direta com a qualidade de processamento a qual as imagens são submetidas, refletindo o resultado final dos produtos digitais (Giovanni, 2021).

De acordo com Herreros (2015), os resultados digitais provenientes do mapeamento aerofotogramétrico podem ser bidimensionais ou tridimensionais. No espaço tridimensional, é viável criar nuvens de pontos, bem como modelos digitais de topografia e de terreno. Por outro lado, as ortofotos e o ortomosaico constituem exemplos de produtos de duas dimensões.

As ortofotos são fotografias do terreno que foram corrigidas, apresentando os objetos em suas reais posições ortográficas (Wolf, Dewitt e Wilkinson, 2014). Além disso, a partir do processamento de imagens obtidas por satélites ou drones, é possível criar três tipos principais de modelos digitais: o Modelo Digital de Elevação (MDE), que engloba a elevação do terreno e do dossel vegetal; o Modelo Digital de Terreno (MDT), que espelha a elevação do terreno, ignorando elementos acima do solo; e o Modelo Digital de Superfície (MDS), que registra todas as elevações existentes, como edificações, vias e árvores (Hyslop et al., 2020).

2.5 MÉTODOS PARA A DETECÇÃO DE ÁRVORES

Normalmente, o processo de contagem de plantas é feito manualmente por trabalhadores do campo. Apesar deste método ser muito preciso na identificação, torna-se bastante ineficiente devido ao grande número de horas-homem requeridas (Abidin et al., 2017).

Dessa forma tornam-se necessários meios de viabilizar esse procedimento com maior rendimento. Em virtude disso, são utilizados softwares ou plugins que executem essa ação de maneira mais rápida e eficaz, requerendo menos mão de obra para se obter o resultado. Dentre eles, está o *SAGA System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA GIS).

O SAGA foi criado em linguagem C++, e é compatível com sistemas *Linux* e *Windows*. Na identificação de árvores, o filtro Gaussiano é crucial, pois funciona como um operador de suavização que elimina ruídos e pormenores dos dados. O ajuste do nível de suavização é feito através do desvio padrão, onde valores mais elevados requerem um raio de pesquisa maior. A variável *Standard Deviation* (Desvio Padrão), indicada em porcentagem do raio do kernel, regula o nível de suavização da malha de dados, com valores que oscilam entre 0,0001 e 1 (padrão). Por outro lado, o parâmetro *Search Radius* determina o raio do núcleo nas células (Sá et al., 2021).

3 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido em um pomar de citros localizado no município de Itabaianinha-SE, no sul sergipano (11°16'39"S 37°47'11"W). O clima da região se caracteriza pela concentração de chuvas durante os meses de abril e setembro, sendo o período entre outubro e março marcado pela seca. Apresenta umidade relativa do ar por volta de 81% e temperatura média de 24 °C (CINTRA,

2006).

Nessa localidade, tem-se o cultivo da lima ácida Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka cv. Tahiti) e de laranja pêra (*Citrus sinenses* L.) em uma área de aproximadamente 11 ha, com idade 5 anos após o plantio.

A obtenção das imagens foi realizada por meio de voos feitos na área de interesse, com a utilização do drone DJI Mavic 3 Multispectral RTK (DJI MAVIC, 2024) com sistema de imagem composto por uma câmera RGB embarcada com sensor CMOS 4/3 de 20 Mp, FOV 84° (formato equivalente de 24 mm) e abertura de f/2.8 a f/11, e quatro câmeras multiespectrais (verde, vermelho, borda vermelha e infravermelho próximo), com sensor CMOS 1/2,8" de 5 Mp, FOV 73,91° (61,2° x 48,10°) (formato equivalente de 25 mm) e abertura de f/2,0.

O levantamento das imagens da propriedade ocorreu no dia 03 de agosto de 2024, com planos de voos de acordo com a legislação brasileira. O ângulo da câmera adotado foi de 90° em relação ao drone, de modo que esta ficou posicionada diretamente para o solo.

A Tabela 1 traz os 12 tratamentos utilizados para o presente trabalho.

Tabela 1. Qualidade de processamento da Imagem (Baixa, Média ou Alta), Altura de Voo (100 e 120m) e Sobreposição das imagens (70x80 e 80x80 - % x %), respectivamente

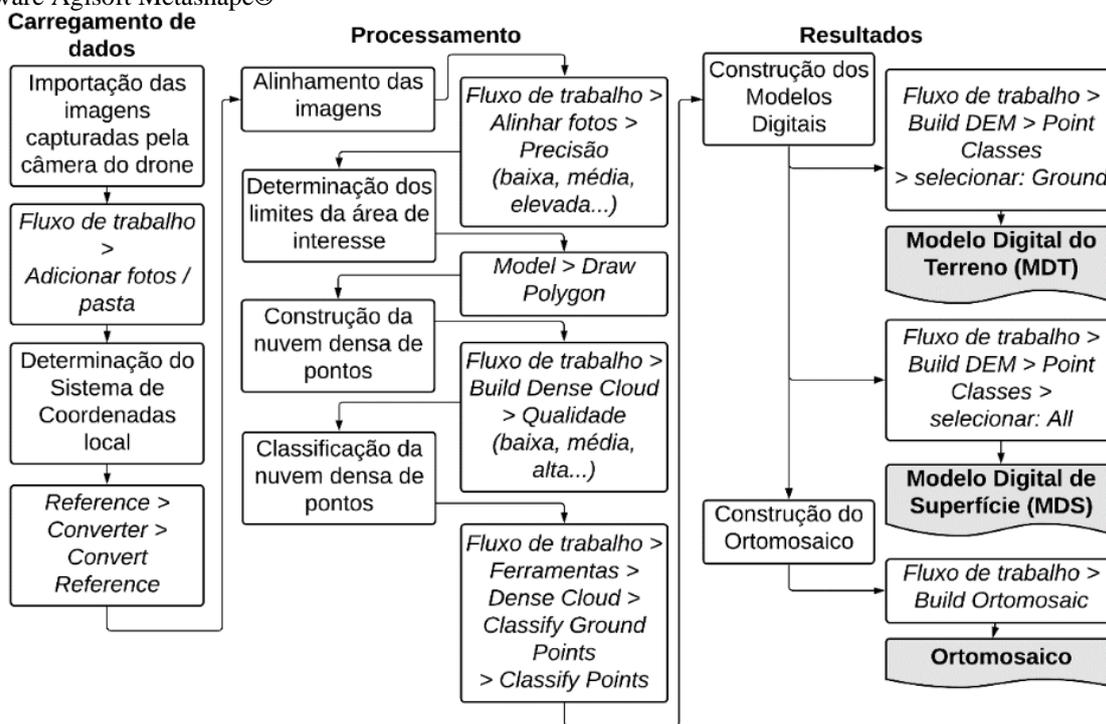
Tratamento	Qualidade de processamento	Altura de voo (m)	Sobreposição das imagens (% x %)
B1	Baixa	120m	70x80
B2	Baixa	120m	80x80
B3	Baixa	100m	70x80
B4	Baixa	100m	80x80
M1	Média	120m	70x80
M2	Média	120m	80x80
M3	Média	100m	70x80
M4	Média	100m	80x80
A1	Alta	120m	70x80
A2	Alta	120m	80x80
A3	Alta	100m	70x80
A4	Alta	100m	80x80

As variáveis analisadas foram: o Tempo de processamento das imagens; a GSD (Ground Sample Distance) do MDS (cm/pixel) e do Ortomosaico (cm/pixel), que se referem a altura da fotografia em relação ao chão, no qual valores maiores indicam uma menor qualidade e detalhamento no processamento das imagens. Além disso, o Percentual de Pontos Corretos, que indica a quantidade em % de pontos lidos pelo processamento equivalentes aos pontos reais do local de estudo indicados pelo gabarito - neste caso, cada ponto mapeado deve representar uma planta; o Grau de Precisão e de Grau de Revocação, referentes ao valor do raio e desvio padrão aplicados na obtenção da imagem; e os Verdadeiros Positivos (VP), pontos equivalentes as plantas identificadas pelo gabarito da área real;

Falsos Negativos (FN) isto é, árvores que existem realmente na área mas não foram detectadas pelo software; e Falsos Positivos (FP), pontos identificados pelo *software* mas que não existem na área real.

Para o processamento das imagens e demais etapas necessárias para o desenvolvimento do presente trabalho foi utilizado um computador com processador Intel Core i9-13900KF e placa gráfica NVIDIA modelo GeForce RTX 3060. As etapas foram realizadas conforme a metodologia proposta por Sá *et al.* (2021) através do software Agisoft Metashape® versão 2.1.0 a fim de obter, posteriormente, os produtos digitais: modelo digital de superfície (MDS), modelo digital de terreno (MDT) e ortomosaico (Figura 3).

Figura 3. Etapas de processamento de imagens obtidas com VANT em pomar de citros para geração dos produtos digitais no software Agisoft Metashape®



Fonte: Sá (2022)

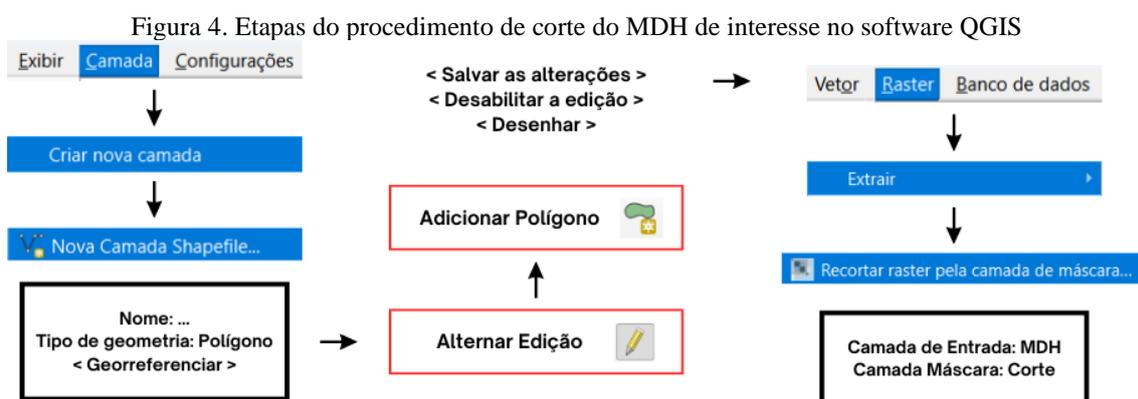
Visto que trabalhou-se com câmera multiespectral, foram importadas imagens no formato “TIFF”. O sistema de coordenadas utilizado foi o SIRGAS 2000 / UTM zone 24S.

Após o alinhamento das fotos foi feita a limpeza manualmente dos pontos fora da área de interesse e que apresentavam alta quantidade de ruído utilizando a ferramenta *Free-Form Selection* e posteriormente fazendo sua remoção. Essa etapa é importante pois visa eliminar qualquer ponto considerado como elevação que não seja da área de interesse do estudo, a fim de que não interfiram na geração dos produtos digitais (MDS e MDT).

Para a classificação da nuvem de pontos foram utilizados os valores de 15° para ângulo, 0,10

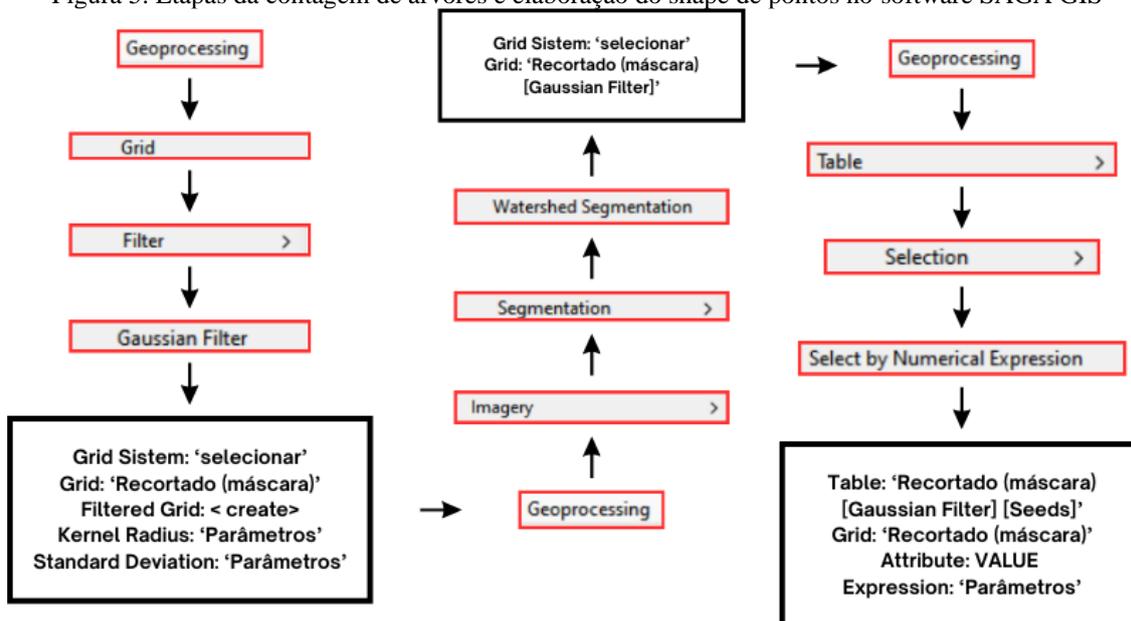
para distância máxima e 50 m para tamanho da célula. De acordo com o manual do usuário do software Agisoft, o parâmetro "ângulo" está relacionado ao ângulo entre um ponto no terreno e o ponto a ser classificado - Se o ângulo for inferior a 6°, o ponto é classificado como parte do terreno, caso contrário, não é. O parâmetro "distância máxima" define o limite de distância entre dois pontos, sendo que, se for menor que 1 metro, o ponto é classificado como terreno; se exceder essa distância, não será. Por sua vez, o "tamanho da célula" refere-se ao maior objeto que não pertence ao terreno, como copas de árvores, construções, veículos, entre outros.

Após a aquisição do MDS e MDT, utilizou-se o *software* QGIS versão 3.38.1 para criar o Modelo Digital de Altura (MDH) por meio da ferramenta “*Raster*”, aplicou-se a equação $MDH = MDS - MDT$ na “*Calculadora Raster*”. Dessa forma, foi originado o produto da subtração do MDS e MDT em formato *GeoTIFF* que posteriormente foi submetido ao corte da seção de interesse com área de 5,5 ha. A área visada foi de 5,5 ha. Em seguida o produto recortado foi exportado em formato *GeoTIFF* para ser trabalhado no *software* SAGA GIS versão 9.3.1. (Figura 4).



Já com a interface do SAGA GIS aberta, foi trabalhada a geração do produto da contagem de árvores em formato *shapefile*, no qual cada árvore ficou representada por um ponto, onde foram realizados 2 procedimentos com variáveis distintas para verificar o desempenho do método nas diferentes qualidades de processamento (Figura 5).

Figura 5. Etapas da contagem de árvores e elaboração do shape de pontos no software SAGA GIS

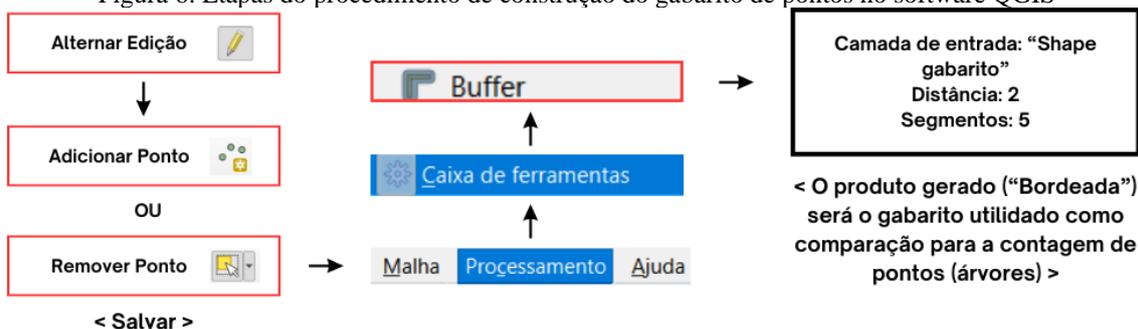


No procedimento 2 utilizou-se os valores de 10 e 2 para os parâmetros *Kernel*

Radius e *Standard Deviation*, respectivamente. Já no procedimento 2 esses valores foram de 30 e 6, respectivamente. Os parâmetros para limpeza dos pontos fora da área de interesse (entrelinhas) foram de “ $a > 3$ ” e “ $a < 0.5$ ”, onde se aplicou a ferramenta *Select by Numerical Expression*, etapa que realiza a seleção dos pontos com base nos valores de altura identificados pelo *software* no atributo *VALUE*. Em seguida os respectivos pontos em seleção foram deletados e foi feita a exportação do produto em formato *shapefile* para ser trabalhado no QGIS.

Para comparação dos pontos gerados no SAGA GIS, foi criada uma camada com todas as árvores reais representados por ponto, para isso foi duplicado um dos shapes gerados no SAGA GIS e adicionados ou removidos os pontos a fim de ter uma representação mais próxima da realidade, com a utilização da ferramenta *Buffer* no QGIS onde foi feita uma expansão de cada ponto (Figura 6).

Figura 6. Etapas do procedimento de construção do gabarito de pontos no software QGIS



Essa camada denominada “bordeada” serviu como gabarito comparativo para a avaliação do Percentual de Pontos Corretos.

Em seguida, foi importado para o QGIS o shape respectivo de cada tratamento e feita a comparação dos mesmos com base no gabarito, para isso foi utilizada a ferramenta “Contagem de Pontos em Polígonos” presente na caixa de ferramentas. Em “Polígonos” foi usado o gabarito gerado no QGIS e em “Pontos” o shape gerado pelo SAGA GIS. Logo após, o produto dessa etapa, denominado “Contagem” foi exportado em formato CSV (valor separado por vírgula) a fim de ser trabalhado no EXCEL, no qual a coluna NUMPOINTS representa a quantidade de pontos dispostos em cada Buffer.

A eficiência de cada variação para a contagem de árvores em pomar de citros foi verificada com base nos índices de Precisão, Revocação e F1 - Score (Equações 2, 3 e 4 respectivamente), intuito de encontrar esses valores os dados em CSV gerados pelo QGIS foram importados em planilha EXCEL e aplicadas as equações 5, 6 e 7 para VP, FN e FP, respectivamente, sendo “X” o intervalo de dados de interesse (NUMPOINTS).

$$Precisão = \frac{VP}{(VP + FP)} \quad (Eq.2)$$

$$Revocação = \frac{VP}{(VP + FN)} \quad (Eq.3)$$

$$F1 - Score = 2x \frac{(Precisão \times Revocação)}{(Precisão + Revocação)} \quad (Eq.4)$$

$$= CONT.SE(X; “ = 1”) \quad (Eq.5)$$

$$= CONT.SE(X; “ = 0”) \quad (Eq.6)$$

$$= CONT.SE(X; “ > 1”) \quad (Eq.7)$$

Os dados foram carregados e processados utilizando a biblioteca pandas (versão 3.6). A estatística descritiva foi calculada utilizando a biblioteca numpy (versão 1.24.0) para análise exploratória dos dados. Os gráficos foram criados utilizando a biblioteca matplotlib.pyplot (versão 3.9.10) para visualização dos dados e padrões. Todas as análises de dados foram realizadas sob utilização da linguagem de programação Python (versão 3.9.13), no ambiente do Visual Studio Code (VSCode) (versão: 1.86.2), uma popular IDE para desenvolvimento de software, que promove uma interface intuitiva e recursos para programação em Python.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TEMPO DE PROCESSAMENTO E GSD

Abaixo estão representados o tempo de processamento e os valores de GSD dos produtos

digitais obtidos para cada qualidade de processamento (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros do processamento digital de imagens aéreas obtidas por VANT sobre pomar de laranja no município de Itabaianinha-SE

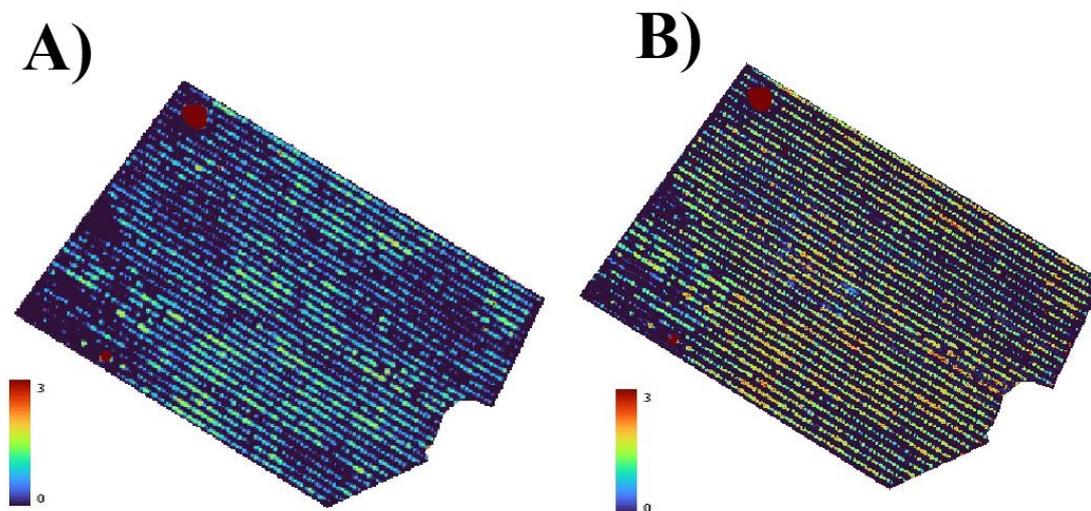
Tratamentos	Tempo do Processamento	GSD do MDS (cm/pixel)	GSD do Ortomosaico (cm/pixel)
B1 - Baixa/120m/70x80(mxm)	03 min 18 seg	41,6	5,76
B2 - Baixa/120m/80x80(mxm)	04 min 35 seg	46,0	5,75
B3 - Baixa/100m/70x80(mxm)	04 min 18 seg	38,6	4,83
B4 - Baixa/100m/80x80(mxm)	07 min 24 seg	38,6	4,83
M1 - Média/120m/70x80(mxm)	09 min 05 seg	23,0	5,76
M2 - Média/120m/80x80(mxm)	10 min 18 seg	23,0	5,76
M3 - Média/100m/70x80(mxm)	8 min 29 seg	19,3	4,83
M4 - Média/100m/80x80(mxm)	14 min 43 seg	19,3	4,83
A1 - Alta/120m/70x80(mxm)	17 min 10 seg	11,5	5,76
A2 - Alta/120m/80x80(mxm)	24 min 51 seg	11,5	5,76
A3 - Alta/100m/70x80(mxm)	22 min 42 seg	09,7	4,84
A4 - Alta/100m/80x80(mxm)	35 min 56 seg	09,7	4,83

Com base nos dados obtidos, é possível observar que os valores de GSD do Ortomosaico foram muito semelhantes em todas as qualidades de processamento, onde obteve-se variação apenas quando analisadas em alturas distintas, nas quais, os tratamentos que apresentam voos de menor altura (100 m), mostraram valores menores de GSD, isto é, maior qualidade, devido ao detalhamento já esperado pela maior proximidade com o solo. Em sua pesquisa, Zaghuini *et al.* (2023) constataram um comportamento similar do GSD quando processadas imagens de voos de diferentes altitudes para a identificação e dimensionamento de defeitos de pavimentos flexíveis, na qual o voo mais elevado apresentou GSD proporcional e incapaz de detectar determinados detalhes no solo.

No entanto, para a variável de tempo gasto na obtenção dos produtos digitais, os resultados apresentaram grande distinção, uma vez que, quando em relação aos tratamentos de qualidade Baixa, a classificação Média apresentou o triplo de tempo de processamento. Enquanto que nos de qualidade Alta, esse valor foi cinco vezes maior devido ao grau de detalhamento das imagens submetidas às qualidades mais elevadas. Para o GSD do MDS, em relação à qualidade do processamento, houve uma redução de quase 100% entre cada qualidade aplicada, ou seja, os tratamentos com maior qualidade apresentaram destaque para esta variável. Desse modo, em função do tempo, os tratamentos B3 e B4 mostraram-se como melhor alternativa para a obtenção de ortomosaicos visto que entregam imagens com valor de GSD menor e 7x mais rápido que a alta qualidade.

Não houveram alterações quanto à sobreposição, resultado semelhante ao obtido por Berci *et al.* (2023), no qual concluiu que o aumento da sobreposição não implica em melhora na qualidade que justifique o uso de um pixel melhor, já o aumento do GSD resultou em imagens com qualidade inferior (Figura 7).

Figura 7. MDH obtidos pelo processamento de imagens de baixa qualidade (A) e alta (B), dos voos a 120 metros com sobreposição de 70 x 80 e 100m com sobreposição de 80 x 80, respectivamente



Para as alturas, na qualidade Alta o valor de 11,5 cm/pixel (A1 e A2) passa para 23,0 cm/pixel na média (M1 e M2), e 41,6 cm/pixel na baixa nas 2 sobreposições analisadas em altura de voo de 120m (B1 e B2). Já no voo de 100m esse valores foram de 9,67 cm/pixel na qualidade Alta (A3 e A4) para 19,3 cm/pixel na média (M3 e M4), e 38,6 cm/pixel na mais inferior (B3 e B4). Essas diferenças devem ser levadas em consideração pois refletem na capacidade de identificação de plantas, uma vez que, o esperado é que quanto menores as altura de voo, maior o detalhamento e, por consequência, menores os valores de GSD.

Isso corrobora com o que foi dito por Giovanini (2021), que afirma que valor fornecido pelo GSD está diretamente relacionado ao grau de detalhamento do levantamento aéreo; ou seja, quanto maior o GSD, menor o grau de detalhamento, enquanto o inverso também é verídico. O resultado apresentado mostra que há uma melhor representação da elevação real da área devido ao menor valor do GSD.

A partir disso, pode-se dizer que B1 foi o tratamento que mais se destacou na avaliação de tempo, isso era esperado em razão da menor quantidade de pixels processadas. A4 teve destaque nas variáveis de GSD tanto do MDS quanto do Ortomosaico, entretanto, quando em relação ao tempo, o tratamento A3 se destaca, pois apresenta qualidade das imagens tão superior quanto A4 em em menos tempo de processamento. Avaliando apenas a GSD do Ortomosaico e o tempo, os tratamentos B3 e B4 se destacam, entretanto, estão entre as menores qualidades, em relação ao GSD do MSD.

4.2 PERCENTUAL DE PONTOS CORRETOS

Após a demarcação dos pontos e construção do gabarito com a ferramenta Buffer foi

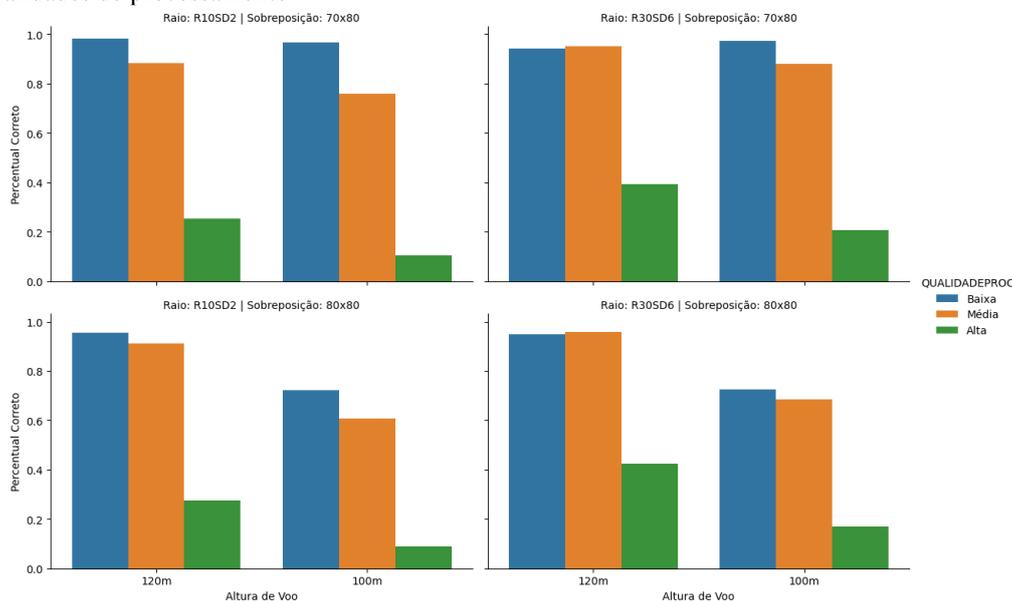
determinado o estande real com a presença de 2.761 árvores na área de interesse do pomar (Figura 8).

Figura 8. Gabarito Buffer do estande real de árvores no pomar



Diante disto, foram determinados os percentuais de pontos detectados para os valores de altura de voo, raio e desvio padrão e sobreposição, em diferentes qualidades de processamento (Figura 9).

Figura 9. Percentuais de pontos detectados corretamente para: altura de voo, raio e desvio padrão e sobreposição, para diferentes qualidades de processamento



Com base nos percentuais analisados, pode-se afirmar que os processamentos em baixa qualidade mostraram maior quantidade de pontos demarcados corretamente em todas as variáveis analisadas, exceto nos tratamentos com altura de voo de 120 metros submetidos aos parâmetros de 30 e 6 para *Kernel Radius* (raio) e *Standard Deviation* (desvio padrão), respectivamente, na qual a média qualidade demonstrou desempenho ligeiramente maior.

Em contrapartida, tratamentos de qualidade Alta não obtiveram o desempenho esperado, uma vez que apresentaram os menores valores para todos os parâmetros, isso pode ter ocorrido devido ao maior número de células em um mesmo espaço em decorrência do valor do GSD, ou seja, quanto mais alta a qualidade de processamento menor o GSD e, conseqüentemente, maior a quantidade de pontos demarcados em uma mesma área.

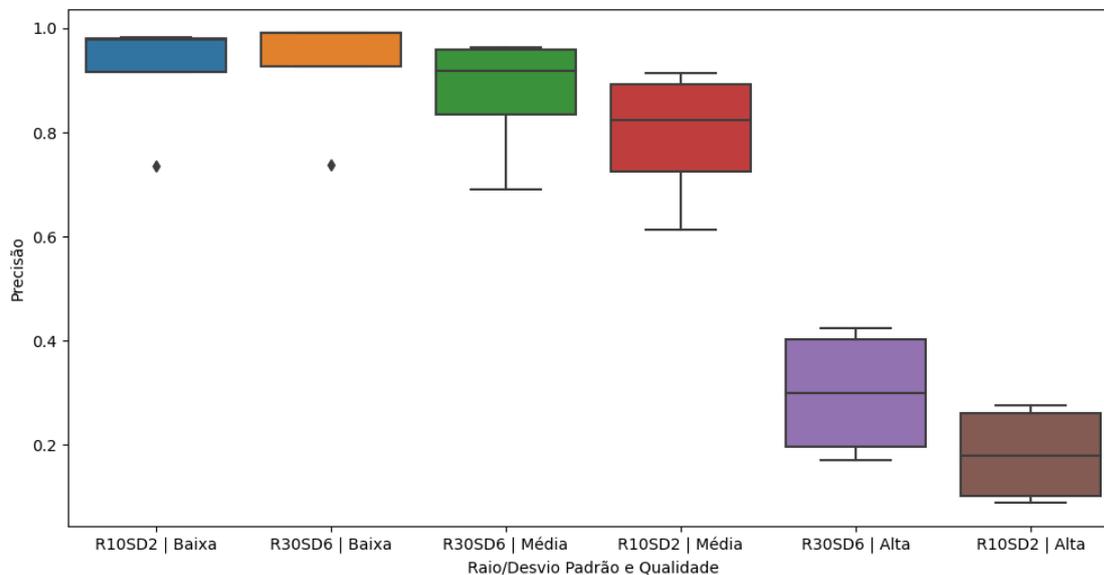
Fica evidente também que os resultados da altura de voo de 100 metros e sobreposição de imagem de 80x80 apresentaram os menores percentuais de pontos detectados corretamente em todas as qualidades de processamento. Isso diverge com o que foi encontrado por Reis (2020), o qual concluiu que uma altura de voo menor se mostrou mais eficiente na detecção de falhas de plantio em cana-de-açúcar. Ou seja, imagens com maior grau de detalhamento como a exemplo do tratamento A4 são mais recomendados para detecção de gramíneas, enquanto para identificação de espécies arbóreas mostraram-se ineficazes devido à interferência de plantas daninhas ao redor da copa.

4.3 GRAU DE PRECISÃO, REVOCAÇÃO E VP, FN E FP

A avaliação da distribuição de Precisão na qualidade de processamento de imagens de VANT's obtidas em pomar de laranja mostraram um melhor desempenho quando aplicados os valores de 30 para o raio e 6 para desvio padrão (Figura 10).

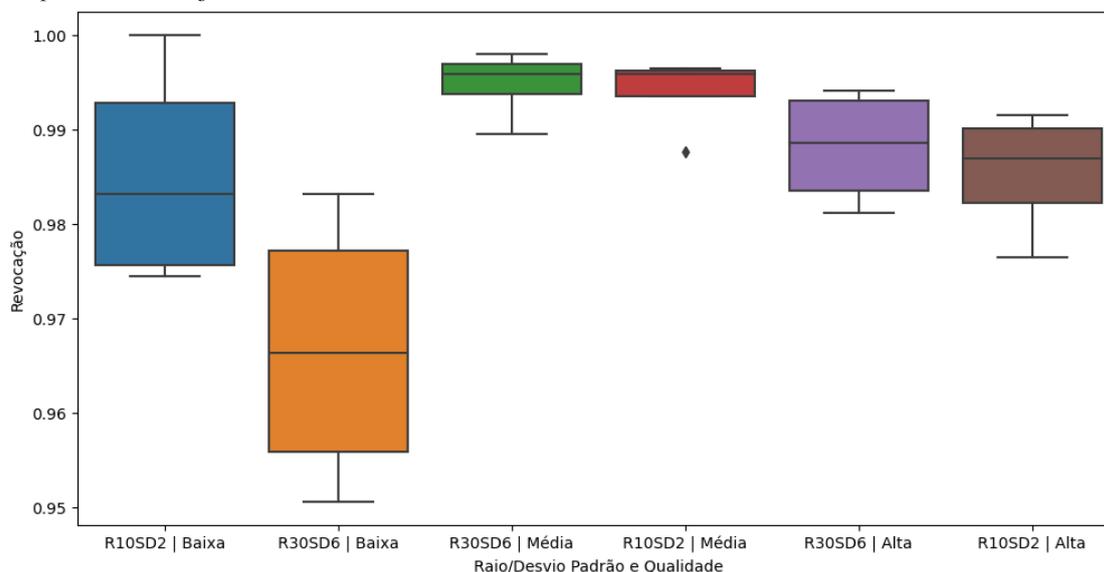
Esse comportamento pode ser explicado pois, quanto maior o raio, maior a zona de abrangência para a demarcação do ponto. Isto evita a presença de pontos incorretos na área (FP). O Grau de Precisão apresentou comportamento semelhante ao citado anteriormente quanto às qualidades de processamento, tendo a alta qualidade demonstrado precisão inferior em ambos os tratamentos submetidos no *software* SAGA GIS, esse fenômeno pode ser explicado devido ao fato da equação de determinação do grau em questão considerar pontos falsos positivos em seu cálculo, dessa forma a baixa performance da qualidade mais elevada condiz com a maior presença de pontos detectados pelo *software* que não existem na área estudada.

Figura 10. Boxplot da distribuição do Precisão para avaliação da qualidade de processamento de imagens de VANT's obtidas em pomar de laranja



Quanto ao Grau de Revocação, as qualidades média e alta apresentaram os melhores desempenhos, respectivamente, com resultados muito próximos independente dos valores de raio e desvio padrão empregados no SAGA GIS (Figura 11).

Figura 11. Boxplot da distribuição do Revocação para avaliação da qualidade de processamento de imagens de VANT's obtidas em pomar de laranja

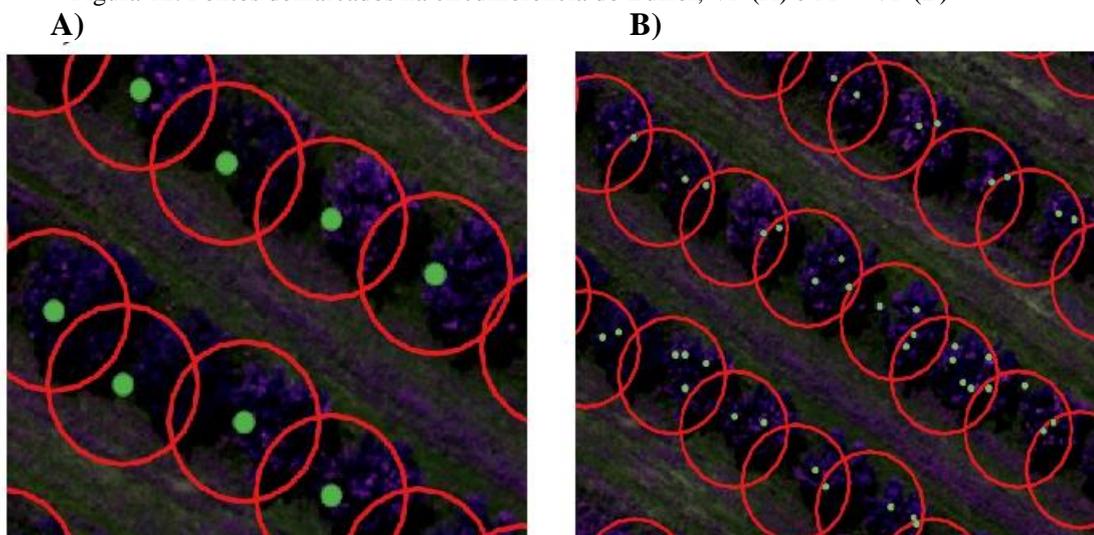


Entretanto, a baixa qualidade obteve uma atuação inferior quando comparada com as demais, e ainda maior quando empregado o raio de 30 e desvio padrão de 6. Isso pode ter ocorrido devido ao maior GSD do MDS e feito com que duas ou demais árvores fossem agrupadas em uma única célula, o que causa os Falsos Negativos, ou seja, árvores que existem realmente na área, mas não foram

detectadas pelo *software*. Desse modo, o software reconhece como apenas uma unidade que demarca um único ponto na parte mais elevada da copa.

Diante disso, ficam claras as diferenças de pontos detectados na imagem correta e incorretamente para cada tratamento, onde as circunferências em vermelho representam as árvores de referência dos produtos de contagem dos voos à 120 metros com sobreposição de imagens de 70 x 80 em baixa qualidade (A) e 100 metros com sobreposição de 80 x 80 em alta qualidade (B), em que se verifica a presença de muitos falsos positivos na figura B em comparação a A. (Figura 12).

Figura 12. Pontos demarcados na circunferência do Buffer, VP (A) e FP + VP (B)



Portanto, a Baixa qualidade apresentou desempenho satisfatório quando submetida aos distintos parâmetros de raio e desvio padrão no SAGA GIS para a obtenção do número de árvores de laranja presentes em um pomar. É possível afirmar sua viabilidade para uso na contagem de plantas em campo, especialmente ao considerar o menor tempo requerido em seu processamento.

5 CONCLUSÕES

Entre as opções de processamento de imagens, o processamento em baixa qualidade apresentou o melhor desempenho no quesito GSD do ortomosaico, oferecendo resultados superiores aos obtidos com qualidade alta, porém em menos tempo. Isso possibilita a entrega mais ágil de produtos de imageamento aéreo com VANTs, beneficiando usuários e tomadores de decisão no gerenciamento da propriedade agrícola.

GSD com valor elevado proporciona uma grande quantidade de pontos demarcados para uma mesma área, o que acarreta em maior recorrência de FP em imagens com alta qualidade de processamento e ocorrência de FN nas de qualidade mais baixa.

O melhor desempenho para a detecção de árvores foi obtido pelo SAGA GIS no voo a 120 metros de altura, com sobreposição de imagens de 70 x 80 utilizados os valores de 10 para raio e 2 para desvio padrão.

A ferramenta avaliada para a detecção de árvores ainda requer a intervenção de um operador para realizar o processamento em diferentes etapas. No entanto, dependendo das características do voo e das áreas imaginadas, como pomares de baixa densidade e árvores mais altas, o processamento pode ser facilitado e os resultados obtidos mais rapidamente, exigindo menos ação por parte do operador.

REFERÊNCIAS

- ABIDIN, H.; SAMAD, M. N.; PING, L. Y.; NOOR, M. K. A. M. Evaluation of ecognition software for oil palm tree counting under different planting conditions and ages. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIG DATA APPLICATIONS IN AGRICULTURE, 11., 2017, Serdang. From Nursery to Field. Serdang: Institute of Plantation Studies, 2017. v. 1, p. 124-133.
- ARANTES, B. H. T.; ARANTES, L. T.; COSTA, E. M.; VENTURA, M. V. A. Drone aplicado na agricultura digital. *Ipê Agronomic Journal*, v. 3, n. 1, p. 14 - 18, 2019.
- BERCI, G. A. Correção cinemática em tempo real para fins de navegação de aeronaves remotamente pilotadas. 2023. 44 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2023.
- BERNARDI, A. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília: Embrapa, 2014. 596 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 852 - Art. 1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 21 set. 2012. Seção 1, n. 184.
- CINTRA, F. L. D. Caracterização da Região Produtora: Solo e Clima. In: MELO, M. B. D.; SILVA, L. M. S. D. Aspectos Técnicos dos Citros em Sergipe. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Deagro, 2006. p. 9 - 15.
- COTOMÁCIO, A. C.; LIMA, B. L. O uso do drone de baixo custo em aerofotogrametria e sua aplicação na perícia ambiental criminal. *Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics*. v. 9, n. 4, p. 459 - 476, 2020.
- CUNHA, A. A.; DIAS, J. H.; JUNIOR, M. J. A.; ELIAS, E. N. N.; FERNANDES, V. O. Controle de qualidade posicional de ortofoto gerada pelo RPA (Remotely Piloted Aircraft) Phantom 3 com receptor GNSS embarcado. In: COBRAC, 2016.
- DE OLIVEIRA, R. P. Contributions towards decision support for site - specific crop management: a study of aspects influencing the development of knowledge – intensive differential management decisions. ID 14851, 318 pp., 2009 PhD (Thesis) – Australian Centre of Precision Agriculture - University of Sydney, Sydney, Australia.
- DJI MAVIC. Especificações: Mavic 3M. Página Consumo. 2024. Disponível em: <https://ag.dji.com/pt-br/mavic-3-m/specs>. Acesso em: 26 de set. de 2024.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Citros: cultivos. Embrapa Mandioca e Fruticultura, [s.d.]b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/citros>>. Acesso em: 11 ago. 2024.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FAOSTAT: Rankings - Countries by Commodity (2022). Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity>. Acesso em: 11 ago. 2024.

FERNANDES, Bruno Campos. Desenvolvimento histórico da citricultura. 2010. 1 CD-ROM. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Letras de Araraquara, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/118999>>. Acesso em: 11 ago. 2024.

GIOVANINI, A. GSD: o que é e quais valores utilizar?. Blog, 2021. Disponível em: <https://adenilsongiovanini.com.br/blog/gsd-descubra-o-que-e>. Acesso em: 28 set. 2024.

HERREROS, J.L.E. Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, *s.l.*, p.237, 2015.

HYSLOP, K.; GALDINO, S.; QUARTAROLI, C. F, ZOLIN, C. A.; TOSTO, S. G. Avaliação de diferentes Modelos Digitais de Superfície (MDS) na delimitação da bacia hidrográfica do Rio Piririm-AP utilizando o software Invest. In: Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso interinstitucional de iniciação científica, Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Laranja. Explica | Produção Agropecuária, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/laranja/br>>. Acesso em: 11 ago. 2024.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. 2001. Geoprocessamento e Agricultura de Precisão: Fundamentos e Aplicações. Série Engenharia Agrícola. Vol. 2, Livraria e Editora Guaíba: Agropecuária. 118 p. 2016.

OLIVEIRA, A. J.; SILVA, G. F., SILVA, G. R., SANTOS, A. A. C., CALDEIRA, D. S. A., VILARINHO, M. K. C., BARELLI, M. A. A. OLIVEIRA, T. C. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. Brazilian Journal of development, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 64140 - 64149, 2020.

PÁDUA, L.; ADÃO, T.; SOUSA, A.; PERES, E.; SOUSA, J. J. Individual grapevine analysis in a multi-temporal context using UAV-based multi-sensor imagery. Remote Sensing, Basel, v. 12, n. 1, p. 139-160, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12010139>.

PINHEIRO, J. O. C.; GARCIA, M. V. B.; CYSNE, A. Q.; SILVA, L. J. S.; GARCIA, T. B. Coeficientes técnicos, custo de produção e análise econômico-financeira do cultivo de laranjeiras para a região metropolitana de Manaus. Embrapa. Manaus, 2019.

PONTES, L. B.; CAVICHIOLI, F. A. Agricultura de precisão: uma ferramenta eficaz para o produtor rural. Taquaritinga: V SIMTEC – Simpósio de Tecnologia, 2018.

REIS, H. da S. Utilização de veículos aéreos não tripulado para a identificação de falhas no plantio de cana de açúcar. 2020. f31. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Centro Universitário de Goiás, Goiânia, 2020.

RUY, R. da S. Desenvolvimento e validação geométrica de um sistema para mapeamento com câmeras digitais de médio formato. 2008. 246 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, 2008.

SÁ, C. A. S.; DE MOURA, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D.; MIRANDA, R. Q.; DA SILVA, M. J.; DOS SANTOS, C. V. B. Detecção semiautomática de árvores em pomar de mangueira irrigada a partir de imagens obtidas por drone. Irriga, Botucatu, v. 26, n. 3, p. 507-524, julho-setembro, 2021.

SÁ, C. A. S. Sensoriamento remoto aplicado em cultivos no submédio São Francisco por imageamento aéreo com drones. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2022.

SILVA JÚNIOR, E. E. de A. Geotecnologias e planejamento urbano: proposta metodológica e avaliação de dados obtidos por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) como contribuição à cartografia geotécnica. 2019. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 2019.

SWINGLE, W.T.; REECE, P.C. The botany of citrus and its wild relatives. In: REUTHER, W.; WEBBER, H.J.; BATCHELOR, L.D. (Ed.). The citrus industry. Berkeley: University of California, 1967. v. 1, p. 190-430.

TANAKA, T. Fundamental discussion of Citrus classification. Study in Citrologia, Osaka, v. 14, p. 1-6, 1977.

WOLF, P. R. Elements of photogrammetry. New York: Mc Graw-Hill, 1995.

WOLF, P. R.; DEWITT B. A.; WILKINSON, B. E. Elements of Photogrammetry with Applications in Gis. 4º ed. Nova York: Mc Graw Hill, 2014.