

ISBN: 978-85-921803-0-0

VIII SIMBRAS - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL



Simpósio Brasileiro de
Agropecuária Sustentável

5th International Conference
on Sustainable Agriculture
Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento
Sustentável das Novas Fronteiras Agrícolas

AUTORES

Daniel Carneiro de Abreu
Marina Moura Morales
Arthur Faganello Teodoro dos Anjos
Rafaella Teles Arantes Felipe
Marieta Prata de Lima Dias
Rogério de Paula Lana

Organização do Evento



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MATO GROSSO

Embrapa

www.simbras-as.com.br

Sinop (MT)

Apoio Institucional



Patrocínio



www.simbras-as.com.br

Diagramação e montagem: Aisten Baldan

Contato: Daniel Carneiro de Abreu	Marina Moura Morales
Tel. (66) 3515 8574	Tel (66) 3211 4240
E-mail: abreu@ufmt.br	marina.morales@embrapa.br
www.simbras-as.com.br	cpamt.simbras@embrapa.br

S612a Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável (8: 2016 : Sinop, MT).
Anais de palestras / VIII Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável, 6 a 8 de outubro de 2016; V International Conference on Sustainable Agriculture, Sinop, MT ;
Editores Daniel Carneiro de Abreu *et al.* – Sinop (MT): Os Editores, 2016.
214p. : il. ; 22 cm.
Tema do congresso: Agropecuária e Agroecologia.
Inclui bibliografia.
ISBN 978-85-921803-0-0
1. Agropecuária – Congressos. 2. Ecologia agrícola – Congressos. I. Lana, Rogério de Paula, 1965-. II. Guimarães, Geicimara, 1980-. III. Título. IV. Título: VI Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável. V. Título: VI SIMBRAS-AS. VI. Título:
630.6
CDD 22.ed.

VIII SIMBRAS

**VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL
V INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE AGRICULTURE**

ANAIS DE PALESTRAS

Realização

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)
Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Sinop (MT) – Brasil

2016

Uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) no Planejamento Florestal

Evandro Orfanó Figueiredo¹; Marcus Vinício Neves de d'Oliveira²; Symone Maria de Melo Figueiredo³

¹ D.Sc., Manejo Florestal, Embrapa Acre, Rodovia BR-364, km 14, Caixa Postal 321, CEP 69908-970, Rio Branco - Acre, Brasil. evandro.figueiredo@embrapa.br

² Ph.D., Manejo Florestal, Embrapa Acre, Rodovia BR-364, km 14, Caixa Postal 321, CEP 69908-970, Rio Branco - Acre, Brasil. marcus.oliveira@embrapa.br

³ D.Sc., Ciências de Florestas Tropicais, Universidade Federal do Acre – UFAC, Rodovia BR 364, Km 04 -, s/n - Distrito Industrial, Rio Branco - Acre, Brasil. symone_ac@yahoo.com.br

Introdução

O uso da fotogrametria digital a partir de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP/RPA) surge como uma alternativa viável para realização do planejamento florestal em distintas tipologias de nativa ou em sistemas de plantios florestais, além de ser uma importante ferramenta de monitoramento.

Essas pequenas aeronaves também são conhecidas por diferentes nomes. O mais popular é a terminologia Drone, nomenclatura usada para multirrotores, a qual não apresenta fundamentação técnica. Já as siglas ARP/ARP (Aeronave Remotamente Pilotada) surgiu no Brasil com a iniciativa da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC de regulamentar o uso dessas ferramentas (Munaretto 2015).

A Anac (2015) propõe a divisão dos ARPs em três classes distintas: Classe I para ARPs maiores que 150 quilos; Classe II para ARPs entre 25 e 150 quilos; e, a Classe III para ARPs menores que 25 quilos.

A popularização dos ARPs ocorre no Brasil a partir dos equipamentos da Classe III, principalmente, em decorrência do menor preço de mercado e da alta tecnologia embarcada.

Neste capítulo são apresentadas duas metodologias para o emprego de um ARP (Classe III) direcionadas ao planejamento florestal e ao monitoramento volumétrico das toras no pátio de estocagem.

Planejamento florestal – geolocalização de árvores

Por meio da fotogrametria é possível fazer o georreferenciamento (Lowe 2004) e morfometria de copa das árvores dominantes e codominantes utilizando ortofotos de alta resolução (melhor que 14 cm) e nuvem de pontos (XYZ) de elevada densidade.

O objetivo do estudo foi de avaliar a efetividade do uso das ortofotos e nuvem de pontos para a contagem e georreferenciamento de palmáceas nos ambientes de terra firme e várzea.

A opção de inventariar as palmáceas, está em função da maior dificuldade das imagens aéreas e da nuvem de pontos de modelar e registrar essa forma de viva, portanto, georreferenciar árvores dominantes é uma tarefa relativamente mais simples.

Metodologia de geolocalização das árvores

Os estudos foram realizados numa área de 134 hectares no Seringal Filipinas na Reserva Extrativista Chico Mendes, no município de Brasiléia. Para coleta das fotos aéreas foi utilizado um ARP modelo multirrotor *DJI Phantom 3 Advanced* (classe III).

O plano de voo foi semiautônomo a 120 metros de altitude em relação ao dossel, velocidade de 43,2 km/h ou 12 m/s, com overlap lateral de 86% e longitudinal de 75%. Para execução em campo desse plano de voo foram necessários 40 minutos de missão e três trocas de baterias. Simultaneamente ao voo, foram obtidos três pontos de controle no solo com GNSS L2. Os dados coletados foram processados do software *Pix4D Mapper Pro*.

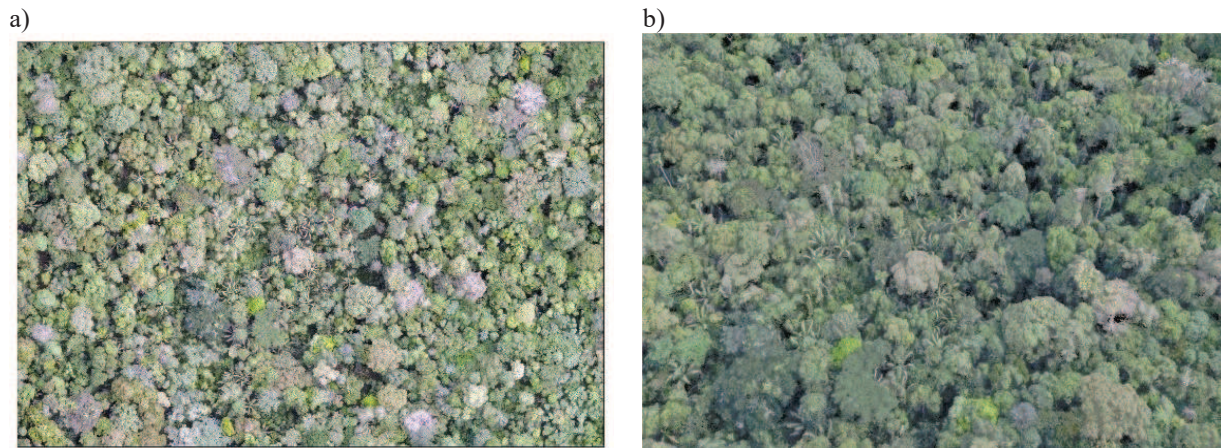
O arranjo experimental foi de parcelas totalmente aleatórias em quatro distintos tratamentos, sendo dois tratamentos num ambiente 2D (ortofotos), considerando floresta de terra firme e várzea e dois tratamentos num ambiente 3D (nuvem de pontos no formato LAS 1.2) nos dois tipos florestais. Cada parcela teve área de 5000 m², no formato de 40 x 125 m, com 10 repetições.

Para o centro da copa de cada palmeira foi atribuída uma coordenada geográfica num software SIG para o 2D e, na nuvem de pontos 3D, foi repetido o mesmo processamento de georreferenciamento. Os dados de estirpes georreferenciados de cada tratamento, foram submetidos a ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%).

A partir das ortofotos e nuvem de pontos geradas, foram realizadas verdade de campo de geolocalização de árvores amostras na região do estudo, por meio de um GPS pós-processado de alta sensibilidade.

Resultados do georreferenciamento de árvores com arp

Como resultado da fotogrametria digital foi obtida uma ortofoto da área florestal com GSD (*Ground Sampling Distance*) de 6,38 cm (Figura 1a), tendo erro médio de geolocalização de 6,2 cm em X; 12,05 cm em Y e 62,54 cm em Z (base de referência RBMC Rio Branco). A nuvem de pontos apresentou densidade média de 114 pontos/m² e o erro de geolocalização foram os mesmo da ortofoto (Figura 1b). Em 100% dos casos de verdade de campo foi possível localizar as árvores amostra.



Ortofoto: Evandro Orfanó Figueiredo

Figura 1. a) Ortofoto da floresta com GSD de 6,38 cm e b) imagem da nuvem de pontos com densidade de média de 114 pontos/m². Brasília, Resex Chico Mendes, 2016.

Para a floresta de terra firme no ambiente 2D foram localizadas 2,2 palmeiras/ha ($\pm 0,433$) e na nuvem 3D foi 1 palmeira/ha ($\pm 0,223$). Na floresta de várzea foram localizadas 30,6 palmeiras/ha ($\pm 3,441$) e no 3D foi 28,2 palmeiras/ha ($\pm 2,994$). Na análise de variância, o teste de Fischer apontou haver diferença entre os tratamentos e os contrastes das médias por Tukey (5%) revelou a formação de dois grupos homogêneos, sendo a floresta de terra firme (2D e 3D) e o outro a floresta de várzea (2D e 3D).

Não se observou diferença de estatística entre os ambientes 2D (ortofoto) e 3D (nuvem de pontos), porém, tanto em floresta de várzea como em terra firme sempre ocorreu um número maior de estirpes georreferenciadas na ortofoto.

O processamento para obter a nuvem de pontos pela fotogrametria digital tem dificuldades de representar as palmeiras com copas menores de quatro metros de diâmetro, enquanto na ortofoto é possível visualizar com nitidez pequenas palmeiras com copas menores que dois metros. Em contraponto, no ambiente 3D é plausível localizar palmeiras próximas de clareiras naturais e que estão sob a copa de árvores dominantes.

O emprego de ARPs classe III para obtenção de produtos da fotogrametria digital (ortofoto ou nuvem de pontos), consiste numa ferramenta poderosa para o inventário florestal, mesmo que as espécies de interesse apresentem pequenas dimensões de copa com é o caso da maioria dos indivíduos de palmáceas.

Estimativa volumétrica de pilhas de toras a partir da tecnologia arp

A mensuração do estoque de toras nos pátios das indústrias madeireiras na Amazônia, consiste numa operação de rotina para gestão da serraria e auxilia o planejamento da comercialização das futuras entregas no mercado consumidor. Também, trata-se de uma rotina operacional de fiscalização realizada periodicamente pelos órgãos de controle ambiental, os quais são responsáveis pelo licenciamento e fiscalização dos planos de manejo florestal.

Para gerenciar e monitorar os estoques madeireiros nos pátios industriais ou na floresta, as empresas inventem significativo esforço para medir e estimar o volume de toras. Além, de um grande empenho de escritório para gerar a compatibilidade contábil entre o volume estocado e o planejado.

O objetivo desse estudo foi avaliar e selecionar uma estratégia de plano de voo semiautônomo para fotogrametria usando um ARP multirrotor (Classe III), cujo produto é a obtenção de nuvens de pontos de alta densidade, visando a estimativa volumétrica de toras estocadas pela indústria madeireira.

Metodologia de estimativa volumétrica

Os estudos foram realizados no pátio de estocagem de toras da indústria Acre Madeiras Ltda., localizada no Distrito Industrial de Rio Branco, Acre. O local de estocagem das toras apresenta 13.650 m² (65 m x 210 m) (Figura 2), com distância de 21 km do aeroporto homologado mais próximo.



Ortofoto: Evandro Orfanó Figueiredo

Figura 2. Composição RGB da ortofoto da área do pátio de estocagem de toras da Industria Acre Madeiras Ltda., Rio Branco, Acre, 2015.

Na região do entorno do pátio, existem rede elétrica industrial e torres de telefonia, as quais ficaram fora da linha de voo do ARP.

As pilhas de toras mensuradas são originárias de um plano de manejo florestal localizado no município de Bujari (Acre), o qual foi licenciado pelo Instituto de Meio Ambiente do Acre – IMAC.

Seleção da aeronave, câmera, plano de voo e pontos de controle

A escolha do ARP foi em função da popularidade do modelo de multirrotor *DJI Phantom 3 Professional (P3P)* e da possibilidade de planos de voos semiautônomos. Esse equipamento apresenta menor preço de aquisição e com alta tecnologia embarcada.

O multirrotor DJI P3P apresenta sensores eletrônicos de bússola, acelerômetro com controladora eletrônica de velocidade, giroscópio de seis eixos e sistema GNSS (GPS e Glonass) de alta sensibilidade. É equipado com câmera RGB Sony EXMOR de 12,4 megapixel de 20 mm (formato equivalente 35 mm), acoplada a um gimbal de três eixos para estabilização eletrônica (DJI 2015).

A estação de solo utilizada tem frequência de 2.400 GHz e equipada com a tecnologia *Lightbridge* que permite voos sem interferência de até 3.500 metros de distância horizontal. Para operação da estação de solo foi utilizado um *tablet* com processador OctaCore, com 16 Gb e sistema operacional Android.

Para o executar o plano de voo na estação de solo foi empregado o aplicativo *PIX4D Capture*, com a seguinte configuração básica: unidade métrica, modo avançado e modo de aceleração habilitado. O ângulo da câmera em Nadir e velocidade máxima operacional do ARP (compatível com a altura de voo programada). As demais configurações foram estabelecidas no plano de voo.

O processamento das imagens com *geotags* foram feitas no software *PIX4D Mapper* versão 2.0.83.

Foram realizados e executados três planos de voo distintos sobre a área de interesse, conforme Tabela 1. Para os cálculos dos parâmetros do voo semiautônomo foram consideradas as seguintes especificações técnicas da câmara, sendo: 6,317 mm para a largura horizontal do sensor (Sw); 3,651 mm para o comprimento focal (Fr); e, 4000 pixels para a largura da imagem (imW).

Tabela 1. Parâmetros de planejamento de voo para coleta de dados por fotogrametria com aeronaves remotamente pilotadas, visando estimar a volumetria de toras estocadas em pátio, Rio Branco, Acre, 2015.

Altura de Voo (m)	Cobertura horizontal (m)	Cobertura Vertical (m)	Área de cobertura da foto (m ²)	GSD (cm/pixel)	Distância entre linhas (m)	Overlap Lateral
30	51,90	38,93	2020,21	1,30	9,63	81,4%
40	69,20	51,90	3591,49	1,73	13,10	81,1%
50	86,50	64,88	5611,70	2,16	15,60	82,0%

Em que: GSD – *Ground Sampling Distance*; *Overlap Lateral* – percentual de sobreposição das imagens aéreas obtidas em linhas paralelas de voo.

Durante a realização da missão de voo foram posicionados no pátio madeireiro, três alvos (vermelho, amarelo e verde) para serem utilizados como pontos de controle no solo. A apropriação das coordenadas dos alvos foi obtida por GPS L2 com tempo de aquisição de uma hora e tendo 6600 m de distância da estação de referência RIOB 93911 da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS.

Fator de Empilhamento e Cubagem da Toras

A organização das toras no pátio da indústria era formada por pilhas da mesma espécie e com padrões dendrométricos do fuste similares, distinguindo as pilhas com toras cilíndricas e as com deformações de base devido a presença de restos de sapopema.

Visando minimizar os erros do fator de empilhamento (FE), os valores foram estimados com a obtenção de seis imagens de 20 megapixels de cada pilha de madeira analisada. As fotos foram tomadas a 3 metros de distância da pilha. E os espaços ocupados pelas faces das toras e os vazios entre elas, foram vetorizados em software SIG (Sistema de Informações Geográficas) (Figura 3). E o resultado médio das seis imagens de cada pilha de toras forneceu o fator de empilhamento individualizado

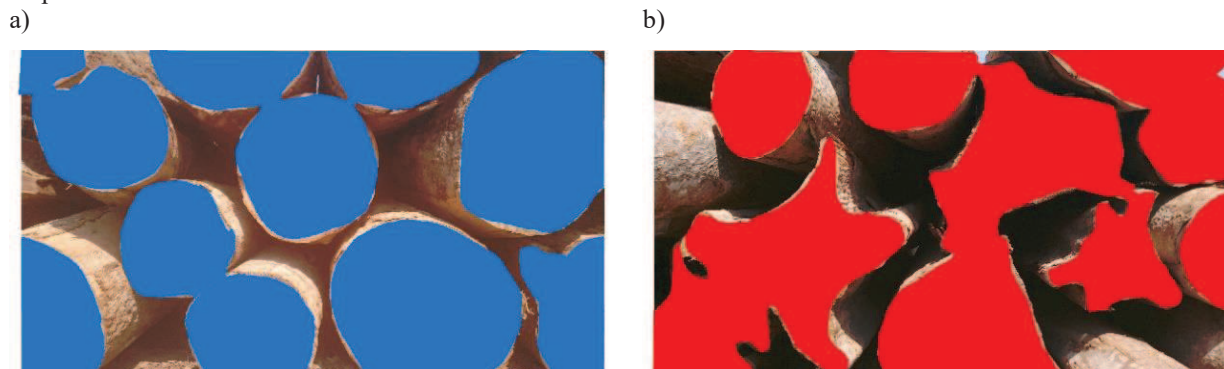


Figura 2. Vetorização das faces das toras nas imagens digitais para obtenção do fator de empilhamento. A) pilha de toras com tendência de forma cilíndrica; e, B) pilha de toras com restos de sapopemas. Rio Branco, Acre, Brasil, 2015.

Em sequência, as toras das doze pilhas analisadas foram mensuradas os diâmetros cruzados de cada extremidade e seu comprimento. Assim, obtidos o volume de cada tora e, conseqüentemente, de cada pilha, esse procedimento foi realizado apenas para servir de verdade de campo. O procedimento adotado é o mesmo empregado pelos órgãos de controle ambiental durante as vistorias de campo e também está de acordo com a Instrução Normativa do Ibama nº 10, de 08 de maio de 2015, que estabelece procedimentos para a organização física de produtos florestais madeireiros em áreas de exploração florestal e em estabelecimentos industriais, comerciais ou consumidores de recursos florestais (Ibama 2015).

Processamento dos Dados da Fotogrametria

O conjunto de imagem adquiridas em cada missão de voo foi processado no software *PIX4D Mapper*.

O *PIX4D Mapper* emprega um algoritmo muito similar ao procedimento SIFT (*Scale-Invariant Feature Transform*) (Lowe 2004). O SIFT é um método de extração de características invariantes a escala e a rotação (*pitch*, *yaw* e *roll*) em imagens digitais (Lowe 1999; Tsay e Lee 2012), no caso em questão de imagens aéreas. A solução do algoritmo permite selecionar rapidamente pontos-chave ou *keypoints*, e descarta os pontos nas imagens que não se enquadram no critério de invariância local da escala (Se *et al.* 2001; Lowe 2004).

Para cada uma das três missões (30, 40 e 50 m) foram obtidas ortofotos e nuvem de pontos padrão arquivo LAS 1.2. O cálculo de cada pilha de madeira foi realizado com o algoritmo de volumetria (Pix4D 2015) do software *PIX4D Mapper* sobre a nuvem de pontos de cada pilha e multiplicado pelo fator de empilhamento individual de cada conjunto de toras.

Os valores volumétricos obtidos digitalmente para cada pilha nos três planos de voo, foram contrastados com os volumes obtidos em campo e os erros apreciados em ANOVA (SAS 1990). As médias de cada tratamento foram comparadas pelo teste Tukey (com 5% de significância) (Statgraphics 2006).

Resultados da Estimativa de Volume pela Fotogrametria

A presença de toras irregulares na pilha, acarreta num fator de empilhamento maior, isso já havia sido revelado por Scolforo *et al.* (2004) ao calcular o fator de empilhamento de fustes de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) cuja forma do tronco é bastante irregular alcançando um fator de empilhamento médio superior a 1,9.

Para a avaliação em questão as pilhas com predominância de toras de formato cilíndrico apresentaram valor do fator de empilhamento (FE) médio de 1,37849 ($\pm 0,0292428$) e para as pilhas de toras irregulares o valor médio foi de 1,65755 ($\pm 0,0581638$). O fato das pilhas estarem organizadas por espécie e pela forma das toras favoreceu a estimativa do cálculo do FE, ressaltando que nem sempre essa é uma realidade nas indústrias madeireira na Amazônia, apesar de prevista em norma.

A definição dos parâmetros técnicos do plano de voo é o princípio para o sucesso da construção dos modelos estereoscópicos. A pergunta inicial que se faz é: Qual o GSD (*Ground Sampling Distance* – GSD) necessário para que se tenha uma estimativa precisa dos volumes das toras na nuvem de pontos ou no modelo digital de superfície (MDS)?

O GSD representa quanto em centímetros um pixel da imagem aérea irá representar no solo (Bethel *et al.* 2001). Se o projeto fotogramétrico for para mensurar grandes áreas (estradas, pastagens etc.) ou objetos (edifícios, galpões etc.), provavelmente, GSD de até 20 cm será suficiente. No entanto, se o interesse for mensurar o volume de objetos menores que um metro (em uma das faces) será satisfatório que o GSD tenha valores menores que 3 centímetros, ou seja, o plano de voo deve ser realizado de acordo com o interesse de observação.

Previamente, a realização do voo deve-se calcular o GSD. O GSD está em função de: a) largura do sensor da câmera fotográfica em milímetros (SW); b) comprimento focal da câmera em milímetros (Fr); c) largura da imagem em pixel (imW); e, d) altura de voo (H) (Pix4D 2015).

Como o experimento foi desenvolvido para uma aeronave (ARP) com configuração fixa de câmera, a variação avaliada no experimento foi a altura de voo (H) com overlap lateral superior a 80%, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetro para definição do plano de voo semiautônomo do ARP para três distintos GSD visando a construção de nuvem de pontos estereoscópica para mensuração de toras empilhadas. Rio Branco, Acre, Brasil, 2015.

Largura do sensor - SW (mm)	Comp. focal - Fr (mm)	Largura da imagem - imW (pixel)	Altura da imagem (pixel)	Altura de voo - H (m)	Cobertura horizontal (m)	Cobertura vertical (m)	Área de cobertura da foto (m ²)	GSD (cm/pixel)	Distância entre linhas de voo	Overlap lateral %
6,317	3,65144	4000	3000	30	51,90	38,93	2020,21	1,30	9,63	81,45%
6,317	3,65144	4000	3000	40	69,20	51,90	3591,49	1,73	13,1	81,07%
6,317	3,65144	4000	3000	50	86,50	64,88	5611,70	2,16	15,6	81,97%

O planejamento e execução de planos de voo mais baixos geram um menor GSD o que é desejável para o cálculo de volume de objetos pequenos, porém, existem dois inconvenientes importantes (Zufferey *et al.* 2010; Kung *et al.* 2011). O primeiro está relacionado a segurança da missão de voo. Alturas abaixo de 30 metros podem não retirar da linha de voo, objetos como árvores, linhas de transmissão de energia, torres, chaminés entre outros obstáculos. O segundo aspecto está vinculado ao custo operacional de processamento. Caso seja planejada uma missão de voo de 10 metros de altura e resguardado os aspectos de segurança, o GSD seria aproximadamente de 0,4 cm, porém seriam necessários milhares de imagens, acarretando em muitas horas de processamento de dados.

Uma vez concluída as três missões de voo na área do pátio madeireiro, o passo seguinte foi processar separadamente o conjunto de imagens dos voos.

Ao todo foram obtidas 748 imagens aéreas divididas conforme Tabela 3. A área em que estavam localizadas as pilhas de toras corresponde a 0,6191 hectares, porém todo o plano de voo deve sempre ser delineado para uma área maior e que extrapole os limites da região de interesse, visto que nas bordaduras dos modelos de nuvem de pontos ou nas ortofoto sempre ocorrem distorções, em virtude de não existir o par estereoscópico lateral ou frontal.

Tabela 3. Resultados de desempenho do processamento das imagens aéreas para obtenção da nuvem de pontos e ortofoto. Rio Branco, Acre, Brasil, 2015.

Altura de voo (m)	Número de imagem	Área coberta (ha)	GSD estimado (cm/pixel)	GSD obtido (cm/pixel)	Overlap lateral %	Tempo total de processamento **	Tempo de processamento / hectare **
30	228	2,3950	1,30	1,16	81,45%	3h06m37s	1h17m55s
40	267	4,5558	1,73	1,63	81,07%	3h16m53s	43m13s
50	253	6,3018	2,16	2,07	81,97%	2h59m44s	28m31s

**Observação: Os dados foram processados num notebook com CPU Intel(R) Core(TM) i7-4710MQ de 2.50GHz, memória RAM de 32GB, dupla placa de vídeo NVIDIA GeForce GTX 970M de 8 GB DDR5, 2 SSHD de 1TB e 1 SSD de 250 GB.

O GSD alcançado após o processamento foi sempre menor que o parâmetro inicialmente estimado o que aponta que o planejamento inicial da missão de voo foi adequado.

O tempo de processamento é sempre mais oneroso quando se diminui o GSD ou quando se aumenta o *overlap* lateral (entre linhas de voo paralelas) ou longitudinal (em imagem na mesma linha de voo). O tempo de processamento por unidade de área mapeada é inversamente proporcional à altura de voo. Quanto se eleva a altura de voo, aumenta o valor obtido no GSD e aumenta a velocidade de processamento por hectare.

O processo final gerou nuvens de pontos com as características descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados da densificação da nuvem de pontos do pátio de estocagem de toras nos três planos de voo, Acre Madeiras Ltda., Rio Branco, Acre, Brasil, 2015.

Descrição	Voo de 30 metros	Voo de 40 metros	Voo de 50 metros
Número de pontos total na nuvem	24.804.933	27.430.078	24.542.059

Número de arquivos formato (.las) gerados	12	6	12
Média de densidade de Pontos/m ²	2562,25	1310,58	630,97

A densidade de pontos/m² na nuvem do plano de voo de 30 metros foi tão alta, que a visualização da nuvem se assemelha a uma fotografia real tirada em perspectiva da área do pátio madeireiro (Figura 3a). A referida densidade de pontos por metro quadrado, significa que a cada unidade de área de 2X2 centímetros haverá uma coordenada geográfica (XYZ) representando o espaço mapeado.

Já para a nuvem de pontos obtida para o voo de 50 metros (Figura 3b) não se tem o mesmo detalhamento da nuvem de 30 metros, e ainda se observa uma grande quantidade de ruídos e falhas de preenchimento da superfície mapeada. Essa resolução representa que existe uma coordenada XYZ a cada 4X4 centímetros. Apesar de se tratar de uma excelente resolução, o voo de 50 metros gera uma densidade de pontos, 4 vezes melhor que o voo de 30 metros, isso refletirá na estimativa volumétrica final das pilhas.

a)



b)



Fonte: Evandro Orfanó Figueiredo

Figura 3. Nuvem de pontos obtida a partir dos voos com o ARP/ARP DJI Phantom 3 Professional, sendo a) nuvem de pontos (2562,24 pontos/m²) para o plano de voo de 30 m e *overlap* lateral de 81,45% e b) nuvem de pontos (630,97 pontos/m²) para o plano de voo de 50 m e *overlap* lateral de 81,97%, Acre Madeiras Ltda., Rio Branco, Acre, Brasil, 2015.

Os valores de cada pilha (nuvem de pontos) foram comparados com os valores volumétricos obtidos em campo, em que foi mensurada cada tora da pilha e totalizado o volume individual de cada empilhamento. Os valores podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5. Volumetria mensurada das pilhas de toras e as estimativas nas três alturas de voo estudadas (30, 40 e 50) e seus respectivos erros absolutos e percentuais, Acre Madeiras Ltda., Rio Branco, Acre, 2015.

Descrição	VOLUME cubado em campo (m ³)	FE	Estimativa do volume (Voo 30 m)	Erro absoluto (m ³) (Voo 30 m)	Erro %	Estimativa do volume (Voo 40 m)	Erro absoluto (m ³) (Voo 40 m)	Erro %	Estimativa do volume (Voo 50 m)	Erro absoluto (m ³) (Voo 50 m)	Erro %
Pilha 01	16,73	1,394	15,892	0,838	5,01%	15,160	1,570	9,38%	12,283	4,447	26,58%
Pilha 02	81,34	1,427	78,074	3,266	4,02%	75,180	6,160	7,57%	65,426	15,914	19,57%
Pilha 03	145,53	1,698	147,229	-1,699	1,17%	139,631	5,899	4,05%	120,008	25,522	17,54%
Pilha 04	147,1	1,680	144,975	2,125	1,44%	136,366	10,734	7,30%	115,986	31,114	21,15%
Pilha 05	74,94	1,834	72,774	2,166	2,89%	70,005	4,935	6,59%	62,258	12,682	16,92%
Pilha 06	158,02	1,591	159,625	-1,605	1,02%	152,196	5,824	3,69%	131,162	26,858	17,00%
Pilha 07	144,18	1,449	139,286	4,894	3,39%	133,411	10,769	7,47%	113,219	30,961	21,47%
Pilha 08	257,82	1,485	261,889	-4,069	1,58%	248,411	9,409	3,65%	209,782	48,038	18,63%
Pilha 09	183,78	1,329	184,403	-0,623	0,34%	174,778	9,002	4,90%	150,224	33,556	18,26%
Pilha 10	25,02	1,294	25,177	-0,157	0,63%	24,002	1,018	4,07%	20,424	4,596	18,37%
Pilha 11	85,87	1,376	85,445	0,425	0,50%	75,430	10,440	12,16%	70,880	14,990	17,46%

								%			
Pilha 12	15,54	1,282	16,401	-0,861	5,54%	15,504	0,036	0,23%	12,024	3,516	22,63%
Σ	1335,87	0	1331,168	4,702		1260,074	75,796		1083,67	6	252,194
Mínimo	15,540	1,282	15,892	-4,069	5,54%	15,160	0,036	0,23%	12,024	3,516	16,92%
Máximo	257,820	1,834	261,889	4,894	5,01%	248,411	10,769	12,16%	209,782	48,038	26,58%
Média	111,323	1,486	110,931	0,392	0,58%	105,006	6,316	5,92%	90,306	21,016	19,63%

Em que: FE – Fator de empilhamento e Σ – somatório.

Os erros de estimativa volumétrica a partir da nuvem de pontos se eleva com plano de voo mais altos, pois o GSD se eleva com a altitude da aeronave, interferindo direta na precisão da estimativa (Kung *et al.* 2011). Portanto, os maiores erros são observados na altitude de voo de 50 metros, onde ocorreu uma subestimativa média de 19,63%. Vale ressaltar, que apenas em seis avaliações de pilhas houveram superestimativas e todas no voo de 30 metros, porém, com valores aceitáveis para uma atividade de averiguação de volume estocado em pátio.

Os valores de erros absolutos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias ao Teste de Tukey (5%) (SAS 2002), Tabela 6.

Tabela 6. Análise de variância das estimativas (erros em m³) e teste de Fischer, Acre Madeiras Ltda., Rio Branco, Acre, 2015.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Grau de liberdade	Quadro médio	F	P-Valor
Entre tratamentos	2706,18	2	1353,1	18,9486	0,000
Intra tratamentos	2356,47	33	71,408		
Total (Corr.)	5062,65	35			

O teste de Tukey a 5% permitiu identificar dois tratamentos com resultados semelhantes (Tabela 7). Na coluna de “Grupos homogêneos” observa-se dois X com mesmo alinhamento, o que representa a formação de um grupo, com isso pode-se afirmar com 95% de confiança que não existe diferença estatística entre os resultados obtidos entre o plano de voo de 30 e 40 metros.

Tabela 7. Formação dos grupos homogêneos pelo teste Tukey 5% e os resultados das diferenças entre os contrastes dos tratamentos dos planos de voo, Acre Madeiras Ltda., Rio Branco, Acre, 2015.

Tratamento	n (pilhas)	Média do erro (m ³)	Grupos homogêneos
Estimativa do Volume para voo 30 m	12	0,392	X
Estimativa do Volume para voo 40 m	12	6,316	X
Estimativa do Volume para voo 50 m	12	21,016	X

Contraste	Significativo	Diferença	+/- Limites (Tukey)
Voo 30 m - Voo 40 m		-5,92448	8,46692
Voo 30 m - Voo 50 m	*	-20,6243	8,46692
Voo 40 m - Voo 50 m	*	-14,6998	8,46692

Apesar do plano de voo de 30 e 40 metros apresentarem o mesmo tempo de voo de 14 minutos e o processamento geral para obtenção da nuvem de pontos e da ortofoto cerca de 3 horas. A área coberta pelo voo de 40 metros é 90,22 % maior que o plano de 30 metros. Portanto, o planejador da missão de voo deve observar e calcular previamente a área do pátio de toras e definir qual altitude que o ARP/ARP vai adquirir o conjunto de imagens.

Para o plano de voo de 50 metros o erro médio foi elevado, gerando um subestimativa acima de 19%. Esse erro elevado está associado a uma menor densidade de pontos por metro quadrado e, principalmente, a menor identificação de pontos chaves correspondentes (*keypoints matching*) por unidade de área coberta em cada imagem.

Portanto, mesmo com erros maiores de estimativa volumétrica no plano de voo de 50 metros de altitude, novas estratégias podem ser pensadas para minimizar essas falhas a exemplo da mudança do formato, resolução da imagem e maior *overlap* lateral e longitudinal. Assim, não se deve descartar a possibilidade da realização de planos de voo mais altos, isso em decorrência que nem sempre será viável realizar uma missão em baixas altitudes. Principalmente, se o pátio madeireiro estiver localizado junto a floresta, onde o dossel atinge altura superior a 50 metros.

A precisão das estimativas está em função da execução correta de todas as etapas do método, com destaque para obtenção do fator de empilhamento e do plano de voo adequado.

Literatura Citada

- ANAC. **Requisitos gerais para veículos aéreos não tripulados e aeromodelos**. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/transparencia/audiencia/2015/aud13/anexoI.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2016.
- BETHEL, J.S.; MCGLONE, J.C.; MIKHAIL, E.M. **Introduction to Modern Photogrammetry**, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2001. 477 p.
- DJI. **Phantom 3 prof/Adv. 2015**. Disponível em: <http://www.dji.com/product/phantom-3/spec>. Acesso em: 3 mar. 2016.
- IBAMA. **Ibama publica INs sobre matéria-prima florestal, produtos madeireiros e manejo de fauna silvestre**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/publicadas/ibama-publica-in-sobre-aproveitamento-de-materia-prima-florestal-sobre-medicao-e-organizacao-de-estoques-de-produtos-madeireiros-e-sobre-manejo-de-fauna-em-vida-livre>. Acesso em: 17 jul. 2015.
- KÜNG, O.; STRECHA, C.; BEYELER, A.; ZUFFEREY, J.C.; FLOREANO, D.; FUA, P.; GERVAIX, F. The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light UAV imagery. In: **UAV-g 2011-Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (Nº. EPFL-CONF-168806)**. 2011.
- LOWE, D.G. Object recognition from local scale-invariant features. In: **Computer vision, 1999. The proceedings of the seventh IEEE international conference on**. Ieee, 1999. p.1150-1157.
- LOWE, D.G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. **International journal of computer vision**, v.60, n.2, p.91-110, 2004.
- MUNARETTO, L.A.C. **Vant e Drones – A aeronáutica ao alcance de todos**. São José dos Campos, 2015. 168 p.
- PIX4D. **How Pix4Dmapper calculates the Volume?** Disponível em: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559239-How-Pix4Dmapper-calculates-the-Volume-#gsc.tab=0>. Acesso em: 2 mar. 2016.
- SAS Institute. **SAS User's guide: statistics**. Release 6.03. Cary, 1990, 584p.
- SCOLFORO, J.R.S.; PÉREZ, J.F.M.; MELLO, J.D.; OLIVEIRA, A.D.; CAMOLESI, J.F.; BORGES, L.F.R.; ACERBI JÚNIOR, F.W. Estimativas de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). **Cerne**, Lavras, v.10, n.1, p.87-102, 2004.
- STATGRAPHICS. **Statgraphics Centurion XV: User's guide**. StatPoint Inc. EUA, 2006. 299 p.
- SE, S.; LOWE, D.; LITTLE, J. Vision-based mobile robot localization and mapping using scale-invariant features. In: **Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on**. IEEE, 2001. p.2051-2058.
- TSAY, J.R.; LEE, M.S. SIFT for dense point cloud matching and aero triangulation. **ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v.1, p 69-74, 2012.
- ZUFFEREY, J.C.; BEYELER, A.; FLOREANO, D. Autonomous flight at low altitude using light sensors and little computational power. **International Journal of Micro Air Vehicles**, v.2, n.2, p.107-117, 2010.