ESTIMATIVA DA PERDA DE BIOMASSA EM ÁREA DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA POR MEIO DA COMBINAÇÃO DE DADOS LIDAR E CÂMERAS RGB A BORDO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (ARP)

Renato Mesquita da Cunha [1], Evandro Figueiredo Orfanó [2], Marcus Vinicio Neves d'Oliveira [3], Daniel de Almeida Papa [4]

[1]Universidade Federal do Acre, Rio Branco- AC, renato.cunha@ac.gov.br
[2]Embrapa Acre, Rio Branco-AC, marcus.oliveira@embrapa.br;
[3]Embrapa Acre, Rio Branco-AC, evandro.figueiredo@embrapa.br;
[4]Embrapa Acre, Rio Branco-AC, dpapa@embrapa.br;

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar o uso combinado de sensores Lidar e RGB em ARP para quantificar as perturbações decorrentes da extração seletiva em área de manejo florestal. O estudo foi feito em uma área de exploração na Floresta Estadual do Antimary (FEA), no Estado do Acre. Foram utilizadas 10 parcelas de 1ha, para estimar biomassa seca acima do solo (BSAS) para toda área a partir de métricas extraídas do voo Lidar realizado antes da exploração. O voo ARP ocorreu após a exploração para classificação e quantificação das áreas impactadas por clareiras, estradas e pátios. A área de impacto total representou 13 % da área do estudo e pela perda de BSAS 31,5 $Mg.ha^{-1}$, destes, as clareiras corresponderam a 82% da área total impactada e por 26,1 $Mg.ha^{-1}$ da BSAS perdida. O uso combinado dos dois sensores se mostrou promissor para estudos de monitoramento de florestas sobre regime de manejo florestal.

Palavras-chave — LIDAR, Manejo Florestal, Monitoramento florestal, Biomassa seca acima do solo

ESTIMATING BIOMASS LOSS IN A SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT ÁREA IN AMAZON TROUGH THE COMBINATION OF AIRBORNE LIDAR E RGB CAMERA PLACED ON REMOTELY PILOTED AIRCRAFT (RPA)

ABSTRACT [-1]

This work aimed to evaluate the combined use of Lidar and RGB sensors in remotely piloted aircraft (RPA) for quantification of areas disturbed by selective extraction in a forest management area. The study was carried out in an exploration area in the State Forest of Antimary (FEA), in the State of Acre. Ten plots of 1ha were used to estimate dry above ground biomass (AGB) for each area from metrics extracted from the Lidar flight performed prior to exploration. The RPA flight occurred after the exploration to classify and quantify areas impacted by gaps, roads and log landings openness. The total impact area represented 13% of the study area and the loss of AGB 31.5 Mg.ha-1, of which the gaps corresponded to 82% of the total impacted area and 26.1 Mg.ha-1 of BSAS lost. The combined use of the two sensors proved to be promising for forest monitoring studies on forest management.

Key words — *LiDAR, Forest management, Forest monitoring, Above ground biomass*

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais são fontes de produtos e serviços ambientais que contribuem para economia e regulação do clima mundial [1]. Entretanto, ao longo dos anos, o desmatamento e a degradação têm reduzido grandes extensões dessas florestas [1], colocando em risco o equilíbrio do ecossistema global. Como alternativa, existem práticas sustentáveis, como o manejo florestal, que vêm sendo adotadas sem comprometer o tipo de uso da terra existente. A realização de ações de monitoramento do uso das florestas é essencial para avaliar a sustentabilidade das atividades produtivas e assegurar a conservação da floresta. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar o uso combinado de sensores Lidar e RGB em aeronave remotamente pilotada (ARP) para quantificação de áreas perturbadas pela extração seletiva em área de manejo florestal na Amazônia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em uma área de exploração de 203,1 ha na Floresta Estadual do Antimary (FEA), entre os municípios de Bujarí e Sena Madureira, no estado do Acre.

A área de estudo foi submetida ao manejo florestal em uma área de 3970,55 hectares (Unidade de Produção Anual - UPA 3) em duas etapas: 1.462,08 ha nos anos de 2011 e 2013, e 1.000,49 ha em 2017, com a retirada autorizada de aproximadamente 20.000 m^3 de madeira. O plano de manejo

foi devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente.

2.2. Dados de campo

Os dados de campo foram coletados em 10 parcelas de 100 x 100 metros (1 hectare), na UPA 03 da Floresta Estadual do Antimary. As parcelas foram instaladas e medidas pela primeira vez em 2013, e remedidas em 2015 (Figura 1).

Em cada parcela foram tomadas medidas de CAP, circunferência a 1,30 metro de altura do solo, de todos os indivíduos arbóreos com DAP ≥ 10 cm. A variável diâmetro foi utilizada para estimar a biomassa seca acima do solo (BSAS) por meio de uma equação alométrica ajustada para a região da área de estudo [2]. A BSAS por parcela foi calculada pelo somatório da biomassa de todos os indivíduos levantados. BSAS= ⟦(DAP⟧^2,671 ×0,064)/1000
Em que:
BSAS: Biomassa seca acima do solo (Mg.ha^{-1});
DAP: CAP/π Diâmetro acima do peito em cm;

Os vértices de cada parcela foram georeferrenciados com o receptor GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) modelo Zênite C de dupla frequência (L1 e L2), com tempo de coleta entre 10 a 15 minutos em cada vértice.

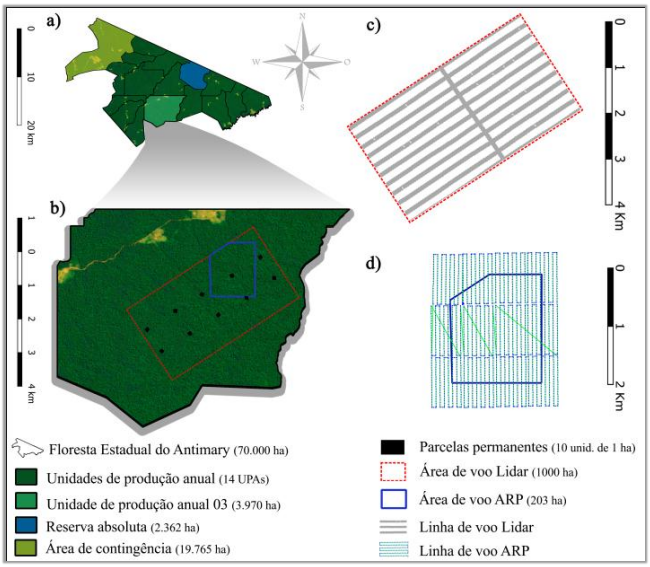

Figura 1. a) Localização da UPA 03 na FEA; b) áreas do estudo: voo Lidar (polígono vermelho), voo ARP (polígono azul) e parcelas permanentes (polígonos pretos); c) faixas de voo Lidar; d) faixas de voo ARP.

2.3. Coleta de dados LIDAR aerotransportado

O sobrevoo Lidar foi realizado em setembro de 2015, logo após o término do inventário e antes da exploração florestal na área estudo, executada em 2017. Foi utilizada uma aeronave CESSNA 206 equipada com o sensor Lidar Harrier, modelo 68i, que voou a 800 metros de altura, com uma frequência de operação de 300 kHz, ângulo de escaneamento de até 45º e *footprint* local de 30 cm. A densidade média de retornos foi de 6,84 pts/m², com precisão horizontal de ± 0,2 cm e vertical de ± 0,45 cm.

2.4. Coleta de dados com fotogrametria de ARP

O mapeamento fotogramétrico foi feito em setembro de 2017, após a exploração da área selecionada para o estudo dentro da UPA 03, com uso de uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) classe III, modelo Phantom 4 PRO (P4pro), equipado com sistema GNSS, barômetro, acelerômetro, giroscópio, bússola e câmera RGB Sony EXMOR acoplada a um gimbal eletrônico 3 eixos. Os voos foram realizados de forma autônoma, com uma velocidade constante de 12 m/s, altura de 160 metros acima do solo e sobreposição de 80% entre as faixas de voo [3]. As fotos foram georreferenciadas a partir de 5 pontos de controle coletados em campo durante os voos.

2.5. **Processamento e análise de dados**

2.5.1. Dados Lidar

A partir dos dados Lidar, foram produzidos os modelo digitais do terreno (MDT) e de altura (MDA) com resolução de 1 x 1m. A partir da nuvem de pontos extraídas dos polígonos das parcelas em campo foram geradas as estatísticas descritivas do Lidar para cada parcela [4]. Por meio de análise de regressão linear múltipla entre as métricas Lidar e a BSAS estimada para as parcelas foi produzido um modelo Lidar de estimativa de BSAS que foi aplicado a toda área amostrada por Lidar produzindo um mapa de biomassa para esta área.

2.5.2 Dados ARP

O processamento das fotografias aéreas foi feita com a utilização do software Pix4D Mapper pelo procedimento SIFT (Scale-Invariant Feature Transform). O produto gerado foi um mosaico de ortofotos georeferrenciada com resolução espacial de 30 cm. A análise da ortofoto foi feita em quatro etapas: (i) segmentação; (ii) classificação; (iii) vetorização das classes de interesse e; (iv) avaliação de acurácia da classificação.

Após a segmentação foi realizada a classificação supervisionada utilizando o algoritmo "Vizinho mais próximo" orientada a objeto. Para a área de estudo foram definidas quatro classes: 1) infraestrutura: com estradas florestais e pátios de estocagem; 2) clareira: compreende clareiras feitas pelo corte de árvores e as trilhas de arraste; 3) floresta decídua: árvores sem folhas (senescente); 4) floresta: contempla árvores com folhas e bambu (taboca).

Ao término da classificação automática foi realizada uma análise visual para corrigir inconsistências da classificação. As classes "infraestrutura" e "clareira" foram vetorizadas e tiveram sua área calculada. A classe "infraestrutura" foi dividida, manualmente, em duas classes:

estrada e pátio. A determinação da área de impacto total foi calculada pela soma da área das classes estrada, pátio e clareira.

A avaliação da acurácia da classificação foi feita utilizando-se o método de matriz de confusão, tendo como classe de referência os pontos de verdade de campo localizados visualmente na imagem e o resultado correspondente à classificação automática das quatro classes definidas na etapa anterior. A classificação foi considerada correta quando a classe determinada pelo algoritmo foi a mesma daquela indicada no ponto de verdade de campo. A exatidão global e o índice de Kappa foram utilizados como critério de avaliação da qualidade da classificação [5]. O valor do coeficiente de Kappa (K) varia entre 0 e 1, e quanto mais próximo de 1 melhor é a classificação.

2.5.3. Quantificação da perda de biomassa na área de impacto do manejo florestal

A perda de biomassa foi quantificada para toda área impactada, que compreende tudo que foi identificado como clareira, estrada e pátio.

A biomassa de cada polígono que compõe a área impactada foi calculada pela interseção desses polígonos com o mapa de biomassa produzido pela equação BSAS Lidar. Após a interseção, cada polígono foi vinculado a um respectivo valor de BSAS (Mg.ha-1) do mapa de biomassa. Por meio desse valor foi calculada a BSAS proporcional ao tamanho da área de cada polígono. Para isso, o mapa de biomassa foi convertido em arquivo vetorial, contendo as informações de BSAS Lidar estimada pela equação selecionada a partir das variáveis Lidar.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Estimativa de biomassa BSAS LIDAR

Os dados de BSAS de campo apresentaram distribuição normal, com valor p = 0,79. A equação selecionada para estimativa de biomassa foi BSAS = -769,792 + 56,152 *EIQ + 3809,864 *ELK. Em que: EIQ = elevação interquartil (metro); ELK = elevação no momento L Curtose

A equação apresentou R^2aj=0,68 e erro padrão (RMSE) de ± 47,25 Mg ha-1. O valor de inflação (VIF) foi de 1,20 para os dois parâmetros da equação. O valor médio de biomassa para as 10 parcelas foi 250 Mg/ha (Tabela 1). Com a equação modelada a partir das variáveis Lidar foi possível criar um mapa de biomassa com estimativa de AGB para toda a área do voo (Figura 2).

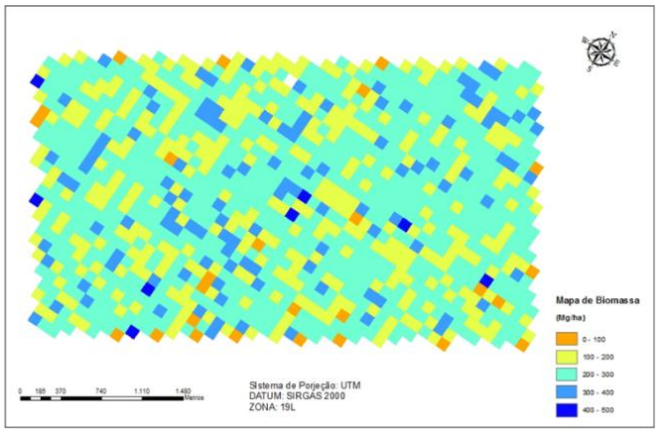

Figura 2. Mapa de biomassa (raster) para a área de o voo Lidar, com resolução espacial de 100 m, gerado a partir da equação de BSAS ajustada com métricas Lidar.

Tabela 1 - Estimativa de biomassa acima do solo (BSAS) e estatísticas para 10 parcelas permanentes, localizadas na UPA 03 da FEA, utilizando equação Melo (2017) e equação Lidar.

		CAMPO		LIDAR		
Parcela	**densidade**	**BSAS MELO 2017 (Mg/ha)**	**Erro Padrão (Mg)**	**BSAS Equação de predição (Mg/ha)**	**Erro padrão da predição (Mg)**	**Resíduo (Mg)**
1	347	215	0,11	265	18,2	-49,94
2	301	146	0,06	153	27,7	-7,01
3	404	415	0,38	341	28,2	74,29
4	242	225	0,19	267	15,5	42,12
5	347	328	0,21	362	32,3	-34,16
6	340	296	0,28	231	22,1	64,79
7	376	257	0,16	247	21	9,55
8	300	277	0,21	294	19,3	-17,93
9	290	142	0,08	143	27,9	-1,19
10	332	194	0,12	191	38	3,73
Total	**3279**	**2495**		**2494**		
Média	**328**	**250**		**249**		

3.2. Classificação da imagem

A imagem ARP com resolução para 30 cm permitiu a identificação de estradas, pátios e clareiras (Figura 3a). O método de classificação apresentou algumas limitações na distinção dos limites entre estradas e pátios e entre clareiras e trilhas de arraste (Figura 3b-e). Ocorreram problemas de classificação, relacionados à inclusão de clareiras na classe floresta decídua, bem como a classificação de árvores sem folhas na classe de clareira. Isso se deve ao fato destas feições serem muito semelhantes entre si no que se refere à cor e textura (Figura 3d). Uma alternativa para minimizar esse efeito seria realizar o voo ARP em um período do ano em que as folhas das árvores decíduas já estivessem restituídas.

Áreas de sombra entre copas de árvores geraram erros na classificação, sendo classificadas e incluídas na classe de clareira (Figura 3e).

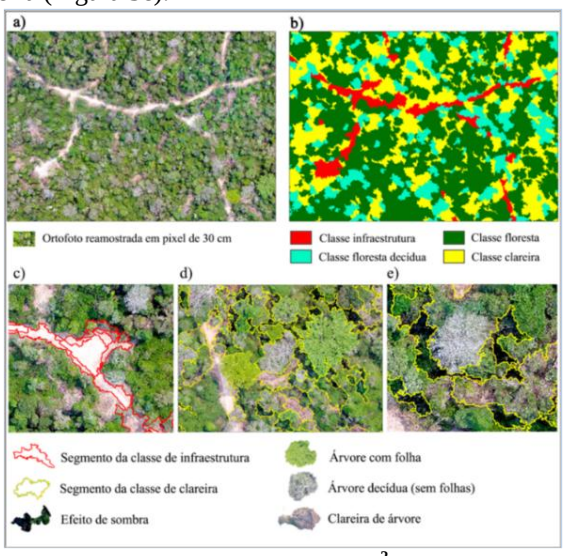

Figura 3. a) imagem ARP (30 cm^2); b) resultado da classificação da imagem; c) segmentos da classe infraestrutura d) erro de classificação com a inclusão de árvore decídua na classe de clareira e) erro de classificação decorrente inclusão de sombra na classe de clareira.

A imagem classificada apresentou acurácia global de 93,3% e índice de Kappa de 0,91,. A classe clareira teve um percentual de acerto de 100% na classificação, seguido de infraestrutura e floresta decídua com 93,3% de acerto e floresta, com 86,7%. Esse resultado da classe floresta pode ser atribuído ao número maior de feições atribuídas a essa classe.

3.3. Estimativa do impacto da exploração florestal

O valor percentual de área de impacto total calculada nesse estudo foi semelhante aos resultados obtidos em outros trabalhos com a utilização de dados LiDAR [6];[7]. A classe de infraestrutura (estrada e pátio) representou 2,3% da área total e correspondeu a perda média de BSAS de 5,4 Mg.ha^{-1} (Tabela 2). As clareiras foram responsáveis por 82% da área de impacto total e perda de BSAS de 26,1 Mg.ha^{-1}. O baixo impacto da infraestrutura sobre a floresta pode ser atribuido às técnicas de planejamento e exploração de impacto reduzido, que consideram a realidade topografica local no trajeto da estrada. Além disso, as estradas avaliadas na área de estudo apresentam largura máxima de 4 metros, compativel com a legislação vigênte. Em função destas caracteristicas, o sensor RGB do ARP não captou em dadas situações a infraestrutura, em função das árvores de maior porte ao longo do seu trajeto.

Tabela 2. Resumo das estimativas de áreas impactadas e perda de BSAS pela atividade de exploração florestal na UPA 3 da FEA.

Resumo	Área (ha)	%	BSAS total (Mg)	%	BSAS (Mg/ha)
Área total estudo (ha)	203,1	100	46678,9	100,0	229,8
Área de Impacto Total (ha)	26,8	13	6402,2	13,7	31,5
Área de Clareiras (ha)	21,9	11	5305,2	11,4	26,1
Área de estradas (ha)	4,1	2	919,6	2,0	4,5
Área de pátios (ha)	0,7	0,3	177,4	0,4	0,9

4. CONCLUSÕES

A combinação de dados Lidar e dados ARP possibilitou as estimativas de área de impacto e perda de biomassa em área de manejo florestal sustentável.

A imagem obtida a partir de aeronave remotamente pilotada (ARP), com resolução espacial de 30 cm, foi adequada para a classificação dos impactos da exploração madeireira em floresta tropical. Em razão da imagem produzida pela câmera a bordo do ARP constituir o produto de um sensor passivo, não foi possível quantificar os impactos situados abaixo da copa das árvores.

A época do ano em que se realizou o voo ARP influenciou na classificação dos impactos, em razão da presença de copas desfolhadas de espécies decíduas no período seco (julho-setembro na área de estudo) se confundirem com clareiras.

5. REFERÊNCIAS

[1] Vieira, I. C. G.; Toledo, P. M.; Higuchi, H. "A Amazônia no antropoceno", *Ciência e Cultura*, v. 70, n. 1, São Paulo, Jan./Mar, 2018.

[2] Melo, A.W. F. DE. "Alometria de Árvores e Biomassa Florestal na Amazônia Sul-Ocidental". 154, 2017. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais - Instituto de Pesquisa da Amazônia-INPA, Manaus/AM, 2017.

[3] Figueiredo, E.O; D'Oliveira, M.V.N. de; Locks, C.J.; Papa, D.A. "Estimativa do volume de madeira em pátios de estocagem de toras por meio de câmeras RGB instaladas em Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP)". Rio Branco, AC: Embrapa, 2016.

[4] D'Oliveira, M. V. N de; Figueiredo, E. O.; Papa, D. A. "Uso do Lidar como ferramenta para o manejo de precisão em florestas tropicais". Brasília, DF: Embrapa, 130 p, 2014.

[5] Figueiredo S. M.M.; Cavalcante, L.M.C.; Valentim, J.F.; Figueiredo, E.O. "Avaliação da acurácia de classificação digital de imagens no mapeamento de áreas de pastagens degradadas em Rio Branco", Acre. In. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 14., 2009. Anais... Natal, p. 5789-5796, AL: INPE, 2009.

[6] D'oliveira, M. V. N.; Reutebuch, S. E.; Mcgaughey, R. J.; Andersen, H. E." Estimating forest biomass and identifying low-intensity logging areas using airborne scanning lidar in Antimary State Forest, Acre State, Western Brazilian Amazon". *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 124, p. 479-491, set. 2012.

[7] De Carvalho, A. L. D'Oliveira, M.V.N; Putz, F.E.; Oliveira, L.C. "Natural regeneration of trees in selectively logged forest in western Amazonia". *Forest Ecology and Management*, v. 392, p. 36–44, 2017.