

Análise multitemporal de dados LiDAR para avaliação da recuperação no sub-bosque florestal em concessões florestais

Charton Jahn Locks¹
Luísa Gurjão de Carvalho Amaral¹

¹ Serviço Florestal Brasileiro
SCEN, Trecho 2, Bl. G CEP: 70818-900 – Brasília – DF
charton.locks@florestal.gov.br, luisagcarvalho@gmail.com

Resumo. O objetivo deste estudo foi mensurar a recuperação florestal ocorrida no sub-bosque de áreas de concessão florestal para o manejo florestal sustentável, dois anos após a sua exploração. O estudo ocorreu na Unidade de Manejo Florestal I (UMF I) da Floresta Nacional do Jamari, no estado de Rondônia. Duas varreduras com LiDAR foram feitas, a primeira imediatamente após a exploração da área, no ano de 2011, e a outra dois anos depois, em 2013. Foram também sobrevoadas áreas não exploradas em 2011 e 2013 para servir como testemunhas na análise. Foi utilizado um modelo de densidade relativa, considerando apenas os retornos do sub-bosque florestal, de 1 a 5 metros de altura, com resolução espacial de 2 metros. Os resultados indicaram que a diferença na densidade relativa média no sub-bosque florestal, quando se compara uma área que sofreu exploração seletiva de madeira e uma área não explorada, caiu de 12,74%, no ano da exploração, para 2,28% após dois anos de pousio. Os vestígios de exploração, nitidamente presentes nas imagens LiDAR de densidade relativa obtidas logo após a exploração, diminuem consideravelmente após dois anos de pousio. A quantidade de área com valor de densidade relativa igual a zero foi a que teve a maior redução, caiu de 31,27% em 2011 para 19,72% em 2013. Este percentual alcançado dois anos após a exploração é inferior inclusive ao encontrado para as áreas não exploradas. Coberturas multitemporais de dados LiDAR apresentaram-se eficazes no monitoramento da recuperação florestal do sub-bosque de uma floresta que sofreu exploração seletiva de madeira.

Palavras-chave: LiDAR, manejo florestal, concessão florestal, Floresta Nacional do Jamari, Amazônia Brasileira

Abstract. This work aimed to measure the recovery of the forest understory in an area under concession area for sustainable forest management, two years after its exploitation. The studied area is part of the Jamari National Forest, in the State of Rondônia, Brazil. Two airborne LiDAR datasets were used, one collected immediately after exploitation, in 2011, and the other one two years later, in 2013. LiDAR derived metrics of unlogged areas were also collected in 2011 and 2013 to serve as a basis of comparison in the analysis. A Relative Density Model (RDM) was the adopted gridmetric, considering only the returns from forest understory, 1-5 meters above ground with a 2 meters spatial resolution. The results indicated that the difference in average relative density in the forest understory when an area that was selectively logged is compared with an unlogged area, drops from 12.74% in the year of exploitation to 2.28% after two years. The logging impact, clearly presented in the LiDAR metrics images, reduced considerably after two years. Areas with a relative density value equal to zero had the greatest reduction, decreasing from 31.27% in 2011 to 19.72% in 2013. This percentage reached two years after exploitation is even lower than the ones of the unlogged areas. Multitemporal LiDAR data coverage presented themselves effective in monitoring the recovery of the understory of a forest that was subject to selective logging.

Key-words: LiDAR, forest management, forest concession, Jamari National Forest, Brazilian Amazon

1. Introdução

A finalidade do Manejo Florestal Sustentável é conseguir que as florestas forneçam continuamente benefícios econômicos, ambientais e sociais, mediante um adequado planejamento para o aproveitamento dos recursos madeireiros e não madeireiros disponíveis, reduzindo os danos à floresta remanescente, e o desgaste do solo e erosão, além de favorecer a regeneração e a proteção da diversidade biológica (Gama *et al.*, 2005).

Uma das críticas ao manejo florestal realizado na Amazônia diz respeito à falta de regionalização das regras e padrões para sua execução. Mesmo sendo a floresta amazônica heterogênea em sua composição, apresentando, entre outras diferenças, variações na topografia, pluviometria, ocorrência de espécies de árvores comerciais e a densidade vegetal, os padrões para execução do manejo florestal são similares. Um exemplo disso é a intensidade máxima de exploração de 0,86 m³/ha.ano, definida como padrão para toda Amazônia (Braz *et al.*, 2014).

Estudos que colaborem com o aperfeiçoamento dos padrões do manejo florestal, para as diferentes regiões da Amazônia, são importantes para garantir que a exploração comercial da floresta seja mais eficiente do ponto de vista econômico e ambiental. Dentre os parâmetros que

precisam ser mais bem estudados, está a capacidade de regeneração da floresta após um evento de exploração seletiva.

O uso de imagens de satélite multiespectrais possui capacidade limitada para mapear as mudanças que ocorrem abaixo do dossel florestal em áreas de exploração seletiva de madeira (Coops *et al.*, 2007). Já a varredura usando laser aerotransportado, ou *Airborne LiDAR (Light Detection And Ranging)*, é capaz de fornecer informações sobre o sub-bosque e sobre a topografia do terreno (Jensen, 2009). Como grande parte das alterações causadas pelo manejo florestal ocorre no sub-bosque, ocasionadas pela abertura da infraestrutura para exploração florestal, vê-se a importância do uso da tecnologia LiDAR nesse tipo de mapeamento (Pinagé e Locks, 2014).

A tecnologia LiDAR consiste na emissão e recebimento de um pulso laser, a partir de uma plataforma, com uma elevada frequência de repetição. A metade do tempo que o pulso levou desde a sua emissão até o seu retorno é utilizada para calcular, de maneira precisa, a distância do equipamento ao objeto (Silva *et al.*, 2013). Dessa maneira, é possível reconstituir, por meio de uma nuvem de pontos em três dimensões, o objeto de interesse.

Este estudo tem como objetivo a mensuração da recuperação ocorrida no sub-bosque florestal de uma área que foi explorada de acordo com as técnicas de impacto reduzido do manejo florestal sustentável, utilizando coberturas multitemporais de dados LiDAR.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

A Floresta Nacional do Jamari foi criada em 1984 e situa-se nos municípios de Itapuã do Oeste, Cujubim e Candeias do Jamari, no estado de Rondônia. Possui área de 220 mil hectares e, segundo a classificação fisioeconômica-ecológica do IBGE (2012), prevalece na unidade a Floresta Ombrófila Densa com porções de Floresta Ombrófila Aberta, que podem se apresentar com predominância de palmeiras ou com cipós.

A área em análise diz respeito à Unidade de Produção Anual 1 (UPA 1) Unidade de Manejo Florestal I (UMF I), onde em setembro de 2010 foi iniciada a exploração e em 2011 finalizada. O volume médio de madeira retirado foi de 14,8 m³/ha (Pinagé e Locks, 2014).

2.2 Dados Utilizados

Foram utilizados dois conjuntos de dados LiDAR, sendo uma varredura feita em 2011 logo após o fim da exploração, em novembro, e outra varredura no ano de 2013 realizada no mês de setembro. Na Figura 1 é possível visualizar a área de cobertura LiDAR.

Os dados foram disponibilizados em forma de nuvem de pontos com extensão *.las e acompanhados do Modelo Digital de Terreno (MDT) com um metro de resolução espacial. A projeção e sistema de referência adotados foram a UTM, fuso 20 S e Datum SIRGAS 2000.

A densidade de pontos mínima exigida na aquisição foi de quatro retornos por metro quadrado e ambas as varreduras atingiram essa especificação.

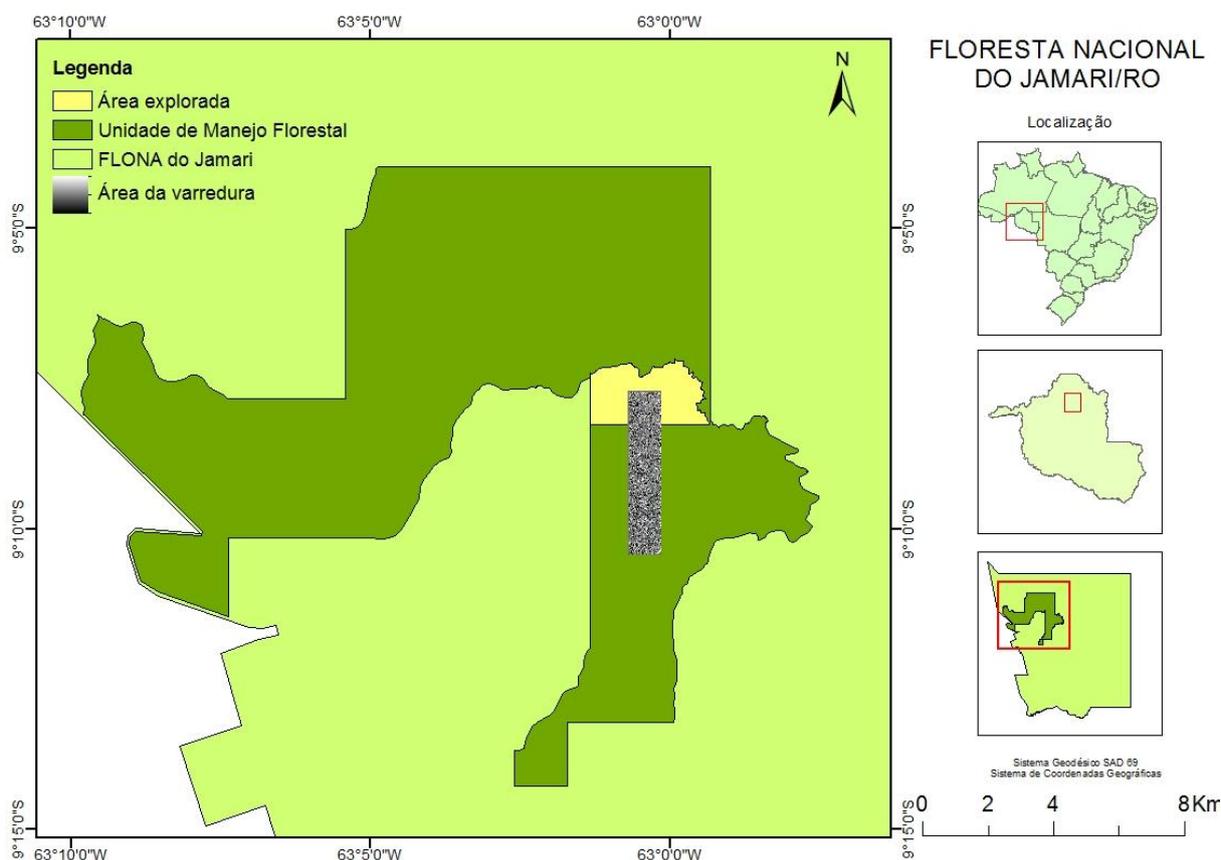


Figura 1 - Localização da área de estudo e dos dados LiDAR, FLONA do Jamari.

2.3 Processamento dos Dados

Para atingir os objetivos deste estudo, foi realizada a comparação entre os dados LiDAR obtidos logo após a exploração de uma parcela florestal de aproximadamente 100 hectares, com os dados obtidos após dois anos de pousio desta mesma área. Foram consideradas as informações de uma parcela próxima não explorada, mapeada também em 2011 e em 2013, para equalização dos resultados.

Duas premissas foram assumidas neste trabalho, a primeira diz respeito à consideração de que a área explorada após a finalização da exploração e as áreas não exploradas não sofreram nenhum distúrbio, que não os naturais; a segunda premissa assumida leva em consideração que a proximidade entre a área explorada e a área não explorada dentro da mesma UMF são consideradas similares em sua estrutura florestal.

Para processar as nuvens de pontos e os modelos de terreno foi utilizado o pacote FUSION (McGaughey, 2010), e o processamento das métricas derivadas foi realizado no ArcGIS (ESRI, 2011). Os arquivos do MDT foram convertidos do formato *.grid para o formato *.ascii e em seguida, para o formato *.dtm, nativo do pacote FUSION. A altura do terreno derivada do MDT foi subtraída de cada retorno para remover a influência da topografia sobre a altitude da floresta.

O processador LTK Processor do FUSION foi utilizado para processar o conjunto de múltiplos tiles (no formato *.las) de cada área de estudo. O resultado de cada processamento do LTK consiste em 81 superfícies matriciais em resolução espacial definida pelo usuário, contendo métricas de cobertura, elevação e intensidade (McGaughey, 2010).

Para calcular a densidade da vegetação no sub-bosque, e dessa maneira evidenciar os danos causados após a exploração bem como a recuperação ocorrida após dois anos de pousio da área, foram considerados somente os retornos com altura entre 1 e 5 metros, evitando assim a contabilização de pontos referentes ao terreno (com 0 metro de altura) e acima da altura definida (5 metros). Em dados LiDAR, a densidade de cobertura vegetal em um determinado estrato é obtida pela razão entre os retornos acima de um limiar de altura específico e os retornos totais (USFS, 2014), conforme descreve a Equação 1 e a Figura 2.

$$Densidade = \left(\frac{\# \text{ de retornos} > \text{limiar}}{\# \text{ total de retornos}} \right) * 100 \quad (1)$$

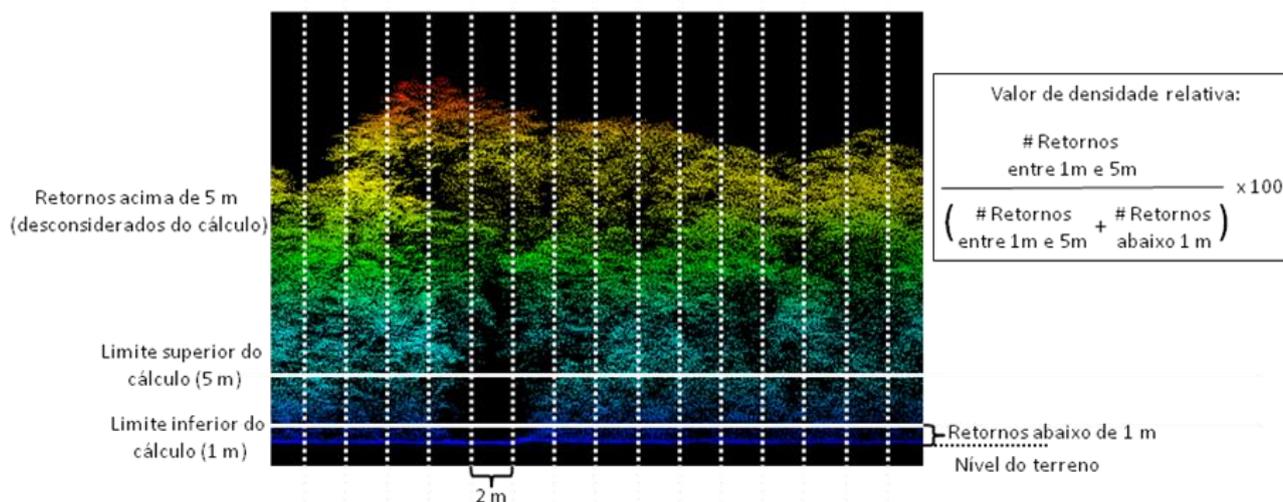


Figura 2 – Esquema de estratificação da floresta para análise das alterações no sub-bosque.

No entanto, para avaliar somente o impacto da exploração, foram consideradas informações de densidade do sub-bosque de áreas não exploradas para equalizar as condições naturais das áreas.

A métrica utilizada para evidenciar os impactos da exploração madeireira no sub-bosque e a sua recuperação foi a métrica de densidade relativa, oriunda de todos os retornos de pulsos LiDAR de 1 a 5 metros (arquivo all_cover_above1_2METERS gerado pelo aplicativo FUSION). Esta métrica foi gerada com resolução espacial de 2 metros, como sugerido por Pinagé e Locks (2014).

3. Resultados e Discussão

A partir de uma visão aérea de toda nuvem de pontos LiDAR é possível perceber algumas diferenças entre a área recentemente explorada e após dois anos de pousio. Algumas das clareiras começam a apresentar sinais de recuperação, como pode ser visto na Figura 3.

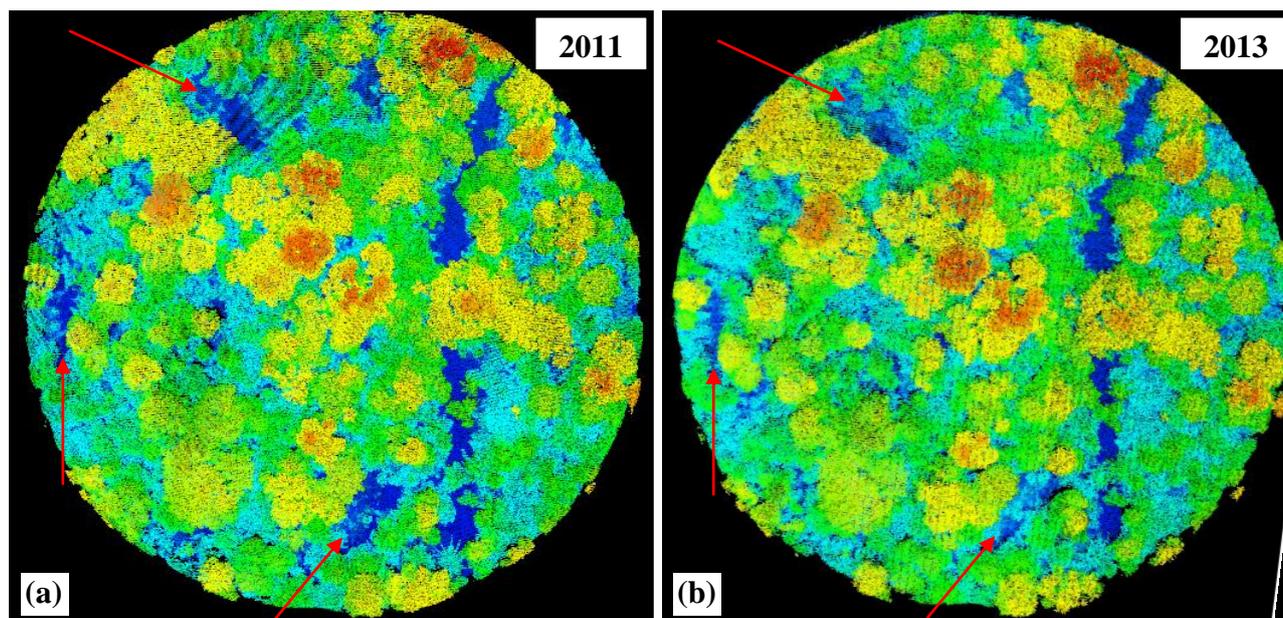


Figura 3 - Visão aérea da nuvem de pontos de uma porção da área que foi explorada em 2011 (a) e sua situação em 2013 (b). A graduação de cores esta associada a altura do retorno em relação ao terreno, quanto mais alto mais vermelho, quanto mais próximo ao terreno mais azul.

Uma escala em tons de cinza foi utilizada para representar a densidade relativa de cada pixel das imagens geradas apresentadas na Figura 4. As cores mais escuras representam valores de baixa densidade relativa, locais onde há escassez de objetos (neste caso vegetação), capazes de interagir com os pulsos lasers e gerarem retornos, representando tanto áreas com sub-bosque naturalmente mais aberto quanto áreas impactadas pela exploração florestal. As células de cores mais claras, de maior densidade relativa, são os locais onde ocorreu maior interação entre os pulsos lasers e a vegetação, gerando maior quantidade de retornos, neste estudo, consideradas como áreas não alteradas pela exploração.

Na Figura 4 (a) é possível observar o impacto causado pela exploração florestal no sub-bosque da área, sendo visíveis as estradas primárias, secundárias, os pátios de estocagem, as trilhas de arraste e clareiras. Na comparação visual da Figura 4 (a) com a Figura 4 (b), é possível perceber a redução de células de valores de baixa densidade, se tornando mais difícil de identificar as trilhas de arraste, os pátios de estocagem e as estradas secundárias. A estrada principal (no centro da imagem) continua nítida, pois ela continua sendo utilizada para acesso e transporte da madeira proveniente das demais UPAs que estão em exploração. Na Figura 4 (c) é possível observar a situação do sub-bosque da área testemunha, não explorada, em 2011 e na Figura 4 (d) a área testemunha em 2013.

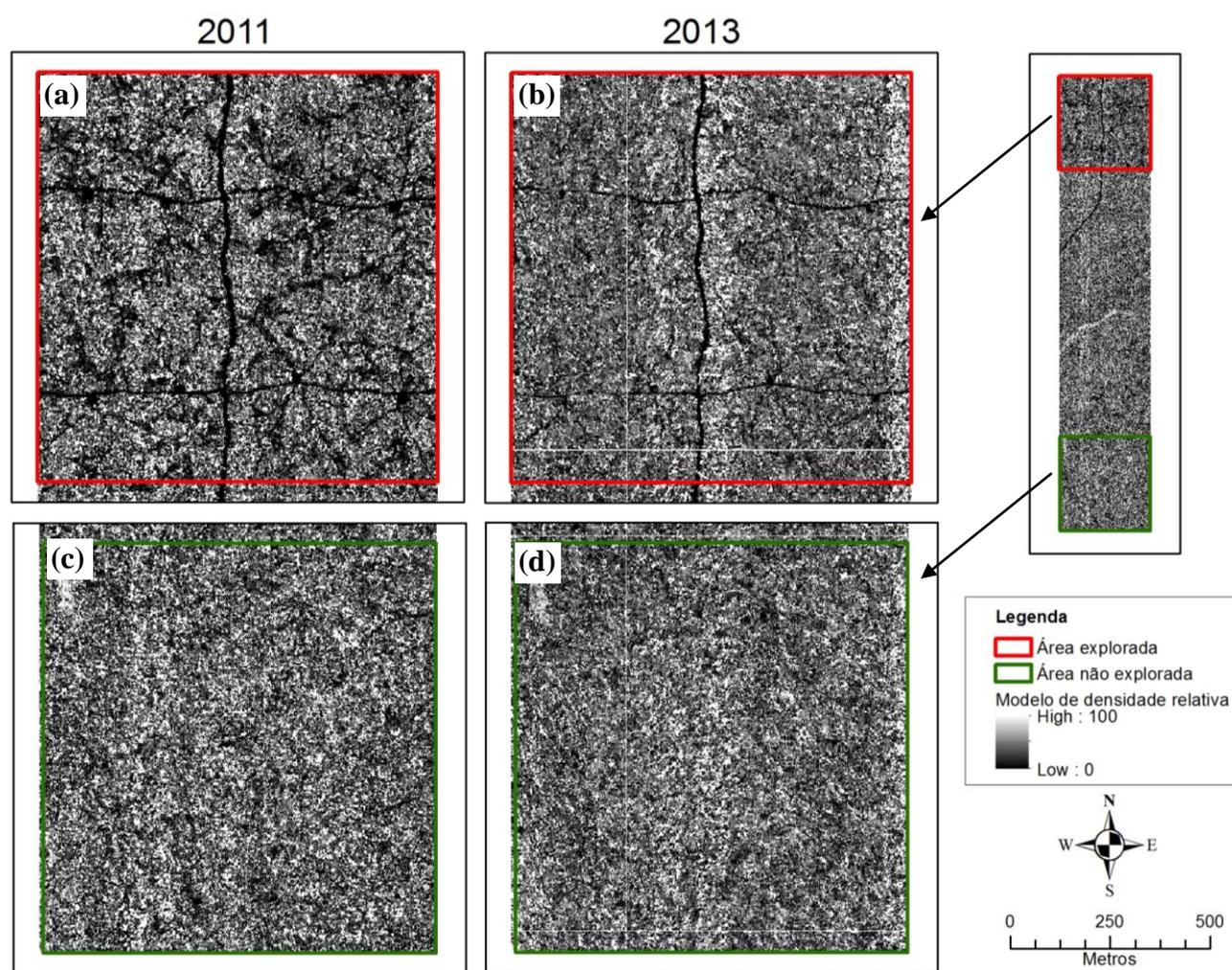


Figura 4 - Métricas da densidade relativa para a parcela explorada em 2011 (a), obtida logo após a finalização da exploração e em 2013 (b), após dois anos de pousio. Também para o sub-bosque da área não explorada em 2011 (c) e em 2013 (d).

É possível observar na Figura 5, a curva de acúmulo do percentual de área em relação aos valores de densidade relativa do sub-bosque para as diferentes áreas analisadas. Como esperado, o valor percentual da área com densidade relativa igual a zero, que representa os locais altamente impactados pela exploração, é maior no mapeamento realizado logo após a exploração florestal, em

2011, chegando a 31,27%. Após dois anos de pousio, esta mesma área passa a apresentar o menor valor, 19,72%, valor menor inclusive que os encontrados para as áreas não exploradas, de 28,63% em 2011 e 22,11% em 2013.

Estades e Escobar (2005), citado por Hernández *et al.* (2013) apontam que na Estação de Pesquisa Florestal do Chile (*Forest Research Station*), as plantações inequiduais que tiveram desbaste e poda obtiveram maior desenvolvimento do sub-bosque devido a maior penetração de luz. Detectaram também, que a altura e densidade do sub-bosque diminuem à medida que o estrato mais alto da floresta se desenvolve gerando uma estrutura mais densa.

Dessa maneira, o pequeno percentual de área com valor de densidade igual a zero na área em pousio pode ser explicada pelo fato da exploração favorecer o crescimento de espécies pioneiras através do aumento da luminosidade no sub-bosque e por consequência aumento da densidade relativa em alguns pontos do sub-bosque em recuperação. Há de se considerar também que a vegetação do sub-bosque não é totalmente suprimida nas trilhas de arraste, e apesar do impacto causado pela passagem do Skidder, uma boa parte permanece viva e retoma seu crescimento algum tempo depois.

Foi identificado que área mapeada logo após a sua exploração apresentou significativo aumento na sua densidade relativa média de seu sub-bosque, saindo de 36,24% em 2011 para 41,16% em 2013, enquanto isso, a área testemunha, não explorada, teve sua densidade relativa média mantida praticamente igual, 41,53% em 2011 e 42,12% em 2013. Ou seja, a diferença relativa entre a área explorada e a área não explorada caiu de 12,74% no momento logo após o evento de exploração para 2,28% após dois anos de pousio.

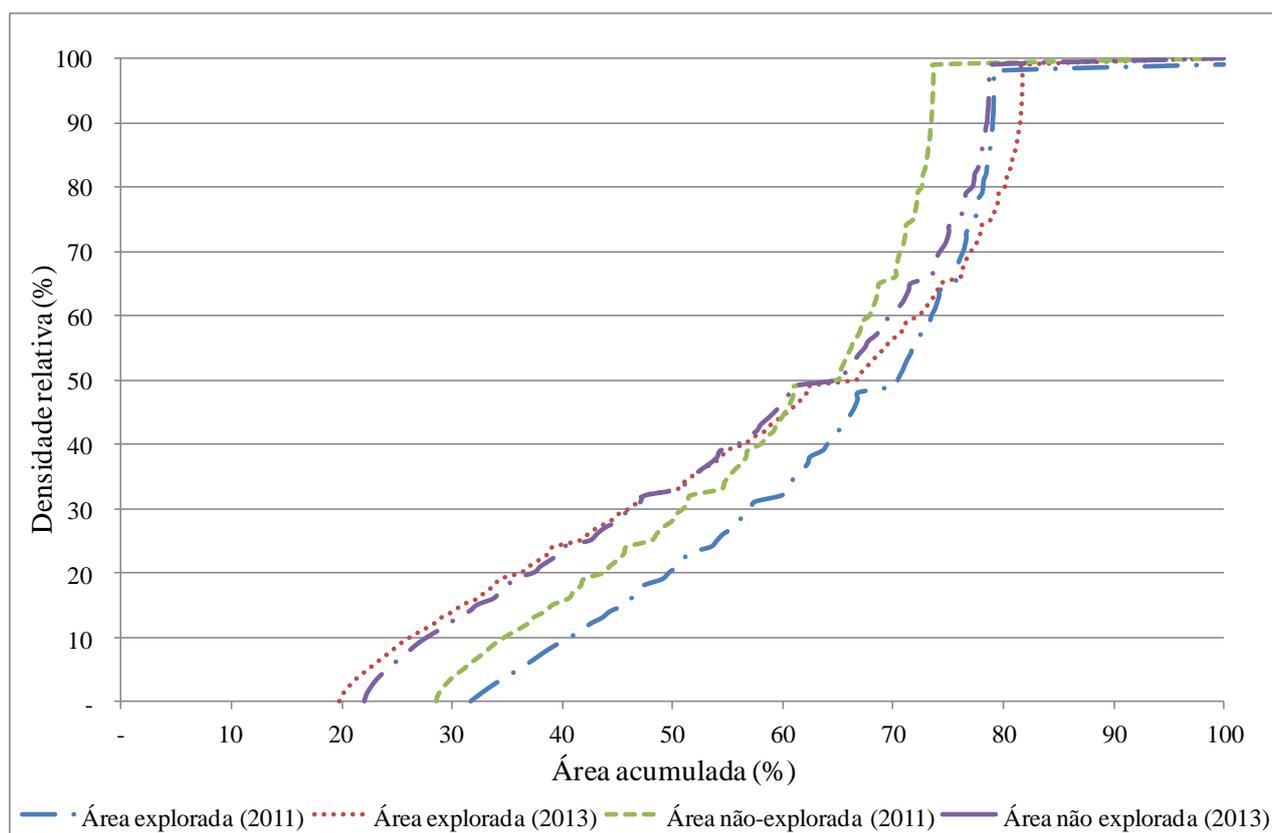


Figura 5 - Distribuição cumulativa do percentual de área em relação aos valores de densidade relativa para as diferentes regiões analisadas.

4. Conclusões

O uso de coberturas multitemporais de dados LiDAR mostrou-se útil no monitoramento da dinâmica de recuperação do sub-bosque florestal de áreas afetadas pela exploração seletiva de madeira.

A detecção dos vestígios da exploração, nitidamente visíveis na imagem LiDAR de densidade relativa obtida logo após a exploração, fica consideravelmente comprometida após dois anos de pousio da área, apesar das estradas primária e secundária e os pátios de estocagem ainda serem visíveis, as trilhas de arraste e as clareiras decorrentes da queda das árvores são praticamente imperceptíveis.

Apesar de 31,27% da área mapeada imediatamente após sua exploração apresentar densidade relativa no sub-bosque igual a zero, dois anos depois esse valor cai para 19,72%, valor ligeiramente inferior ao encontrado para a área não explorada.

A diferença entre a densidade relativa média do sub-bosque de uma área recém-explorada e de uma área não explorada é de 12,74%, porém dois anos depois, a recuperação natural da florestal derruba essa diferença para 2,28%.

É necessária a realização de mais estudos com objetivo de entender o comportamento da floresta e sua resposta a eventos de exploração seletiva de madeira. O acompanhamento da recuperação de uma floresta ao longo de um tempo maior do que o realizado neste estudo e o acompanhamento da recuperação em mais áreas de florestas, localizadas em diferentes regiões da Amazônia, podem servir de base para uma revisão nas normas brasileiras de manejo florestal.

Agradecimentos

Os autores agradecem a parceria do Projeto Paisagens Sustentáveis, da Empresa Brasileiro de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que cedeu os dados LiDAR utilizados neste estudo. Estes dados foram adquiridos com apoio financeiro da Agência para o Desenvolvimento Internacional Norte Americana (USAID) e do Departamento de Estado norte americano (USDS), com apoio técnico da EMBRAPA e dos Programas Internacionais do Serviço Florestal norte americano (USFS).

À equipe da Gerência Executiva de Monitoramento e Auditoria Florestal (GEMAF) do Serviço Florestal Brasileiro, em especial aos colegas Claudio Brandão Cavalcanti, Luísa Resende Rocha e Sergio Luiz do Bomfim, pelas valiosas contribuições ao estudo.

Referências Bibliográficas

Bras, E.M.; Mattos, P.P.; Oliveira, M.F.; Basso, R.O. Strategies for Achieving Sustainable Logging Rate in the Brazilian Amazon Forest. **Open Journal of Forestry**, v. 4, n. 2, p. 100-105, 2014.

D'Oliveira, M.V.N. *et al.* 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**, v. 124, p. 479-491, 2012.

ESRI. **ArcGIS Desktop: Release 10.1**. Redlands, CA: ESRI, 2012.

Gama, J.R.V.; Bentes-Gama, M.M; Scolforo, J.R.S. Manejo sustentado para floresta de várzea na Amazônia oriental. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 719-729, 2005.

Hernández P.J.; De La Maza, C.L. **Biodiversidad: Manejo y conservación de recursos forestales**. Santiago, Chile. Editorial Universitaria, 2007. 803 p.

Jensen, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 672 p.

McGaughey, R.J. **FUSION/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization**. Seattle, WA: USFS, 2012. 167 p.

Pinagé, E.R.; Locks, C.J. Aplicação de dados lidar na avaliação de alterações no sub-bosque florestal em concessões florestais. In. Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal (SenGeF), 11, 2014, Curitiba. **Anais...** Artigos, p. 122-129. Disponível em: <http://www.11sengef.com.br/arquivos/documentos/anaisonline/SENGEF2014.pdf>. Acesso em 23 out. 2014.

Silva, M. N.; Buck, A. L. B.; Lingnau, C.; Machado, A. M. L.; Miranda, B. P. Varredura com laser terrestre para determinação das variáveis dendrométricas da *Araucaria angustifolia*. . In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 5509- 5516.

US Forest Service. **First Order Lidar Metrics: A supporting document for lidar deliverables**. Remote Sensing Applications Center (RSAC), Salt Lake City, Utah, 2014. 13 p.