

Fotografias hemisféricas para validar o monitoramento da qualidade do manejo florestal na Amazônia Legal

André Luiz Silva Monteiro¹
Carlos Moreira de Souza Jr.¹

¹IMAZON – Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
Rua Domingos Marreiros, 2020 – Altos
Belém, Pará, 66.060-160, Brasil
{ andreluiz, souzajr }@amazon.org.br

Abstract The objective of this study was evaluate the potencial of hemispherical canopy photography to validate the monitoring of the quality of forest management by satellite image based in the canopy damage carried out in dense forest of Paragominas region in Para and transition forest of Sinop region in Mato Grosso, Brazil. The results showed that the hemispherical canopy photography permit to quantify different and significant (Duncan test, 0.05%) canopy damage in various selective logging landscape (logging landing, tree falls, secondary roads and skid trails). Additionally, this method permits to evaluate if the selective logging was conducted with management (planned) or conventional (unplanned) practices. The canopy damage in all selective logging landscape was higher in conventional logging than in management logging. This tool beyond the validate the monitoring of the quality of forest management by satellite image, should be used to inspection and control the forest management quality in the field by environmental agencies.

Palavras chaves: abertura no dossel, fotografias hemisféricas, manejo florestal, Amazonia, canopy open, hemispherical canopy photography, forest management.

1. Introdução

A exploração seletiva de madeira na Amazônia é feita de duas formas: i) manejada – onde são aplicadas as técnicas de manejo florestal, tais como: planejamento da abertura de estradas e pátios de estocagem, corte de cipós ano antes da extração, corte direcional das árvores, entre outras; e ii) convencional – onde as estradas e pátios de estocagem são superdimensionados, os cipós não são cortados ano antes da extração, as árvores são derrubadas sem técnicas de corte e a operação de arraste danifica severamente as árvores remanescentes (Amaral et al, 1998).

As duas formas de exploração deixam danos na floresta que variam de moderados a severos, principalmente relacionado a abertura no dossel. Quantificar essas clareiras ajudam entender os efeitos dessas explorações na fauna, no microclima e na qualidade de regeneração da floresta (Pereira Jr, 2002; Schulze & Zweede, 2006; Asner et al, 2004). Os danos no dossel têm sido quantificados e qualificados através de medições no campo e de dados obtidos por sensores remotos (Johns et al, 1996; Pereira Jr, 2002; Asner et al, 2004). Essas medições são importantes também para se determinar o nível de degradação e a qualidade da exploração seletiva de madeira na Amazônia.

O objetivo desse estudo foi avaliar o potencial de fotografias hemisféricas para validar o monitoramento da qualidade do manejo florestal através de imagens de satélite em floresta ombrofila densa e em floresta de transição da Amazônia Legal.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido em áreas de exploração convencional (EC) e de exploração manejada (EM), localizadas nas regiões de Paragominas – PA e Sinop – MT (Figura 1). O sitio de Paragominas é coberto por floresta tropical densa de terra firme, em terreno plano

a suavemente ondulado, o clima caracteriza-se por uma estação seca de maio a outubro e chuvosa de novembro a abril com média pluviométrica entre 1800 a 2000 mm (Cikel, 2001). A intensidade de extração em Paragominas foi de 32 m³/ha para EM e 33 m³/ha para EC. O sitio de Sinop é coberto por floresta tropical de transição (entre cerrado e floresta ombrófila aberta), sobre relevo plano a suavemente ondulado, o clima é tropical quente úmido com estação seca de maio a agosto e chuvosa de setembro a abril com média de 2000 mm (RadamBrasil, 1981). A intensidade de extração em Sinop foi de 35 m³/ha para EM e 34 m³/ha para EC.

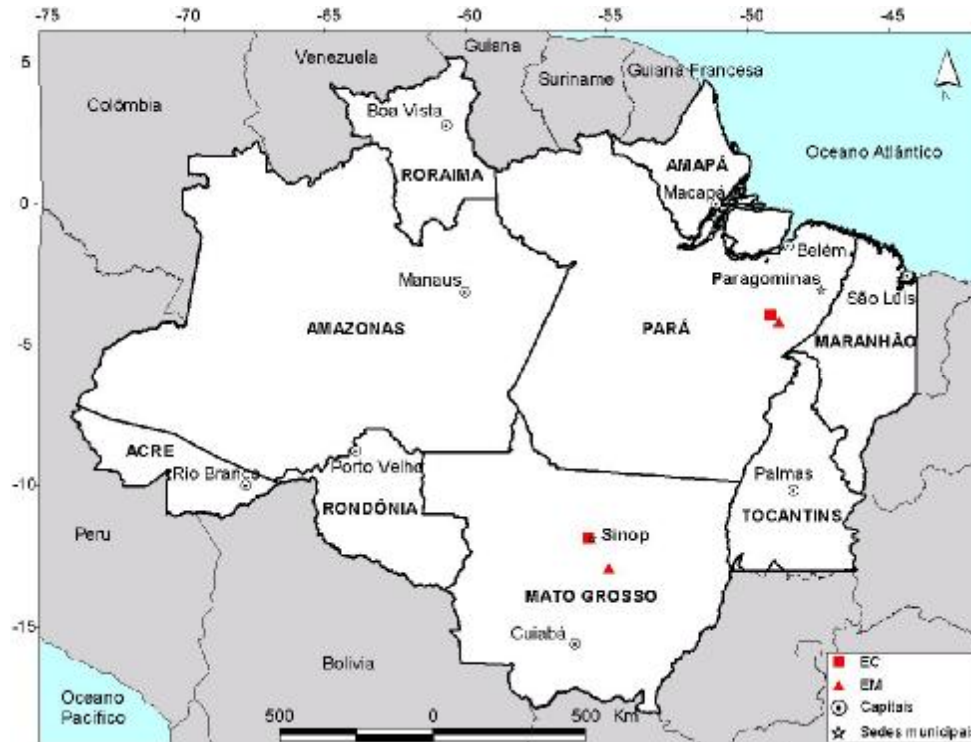


Figura 1. Localização das áreas de estudo.

2.2. Aquisição e avaliação das fotografias hemisféricas

As fotografias hemisféricas foram tomadas com uma câmera digital (Nikon Coolpix, 5,4 Mega pixel de resolução) acoplada a uma lente hemisférica “olho de peixe”, aproximadamente a 1,5 m do solo, nos centros de clareiras abertas na floresta pela derrubada de árvores e das aberturas de estradas, ramais de arraste e pátios de estocagem nas áreas de EC e EM. Essas fotos foram tomadas aproximadamente 1 ano após a extração de madeira das áreas estudadas. Para evitar a incidência direta de iluminação na clareira, o que prejudicaria a análise computacional da abertura do dossel, as fotos foram tomadas 1 hora antes do pôr-do-sol (entre 17 e 18 horas) e 1 hora depois do amanhecer (entre 6 e 7 horas).

A abertura do dossel nas fotografias hemisféricas foram computadas utilizando o programa Gap Light Analyzer[®] 2.0, disponibilizado gratuitamente pela *School of Resource Environmental Management* (http://www.rem.sfu.ca/forestry/downloads/gap_light_analyzer.htm).

2.3. Aquisição e processamento das imagens de satélite

Foram utilizadas imagens de satélite Landsat de órbita/ponto (data de aquisição) 223/62 (16/07/2003) e 226/68 (06/08/2003) adquiridas do Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Essas imagens foram submetidas às correções geométrica e atmosférica utilizando o programa Envi 4.5. Em seguida, foi computado das imagens o modelo linear de mistura espectral para obter as frações solo, vegetação, sombra e NPV (do inglês *non-photosynthetic vegetation* - vegetação seca). Por último, foi aplicado nas imagens o Índice Normalizado de Diferença de Fração – NDFI, o qual realça as cicatrizes da degradação florestal devido a exploração madeireira e/ou queimada. O NDFI é definido por:

$$\text{NDFI} = (\text{VEG}_{\text{norm}} - (\text{NPV} + \text{SOLO})) / (\text{VEG}_{\text{norm}} + \text{NPV} + \text{SOLO}) \quad (1)$$

$$\text{VEG}_{\text{norm}} = \text{VEG} / (100 - \text{SOMBRA}) * 100 \quad (2)$$

onde VEG é a fração de vegetação, SOMBRA a fração sombra, VEG_{norm} a fração vegetação normalizada, NPV a fração npv, e SOLO a fração solo. O valor NDFI pode variar de -1 a 1, sendo que valores próximos a -1 representam maior degradação na floresta e valores próximos a 1 representam menor degradação.

2.4. Análise estatística

Foram computadas as estatísticas como média e desvio padrão da abertura no dossel para floresta nativa, exploração manejada e exploração convencional. Das imagens NDFI foram extraídas as médias de 5 amostras (400 pixels cada) para floresta nativa, pátios de estocagem, estradas e derrubada de árvore. Em seguida foi aplicado o teste de comparação múltipla de Duncan para testar diferença estatística entre as explorações manejada e convencional com taxa de erro de 0,05%.

3. Resultados e Discussão

3.1. Fotografias hemisféricas

A exploração seletiva de madeira provocou distintas e significativas aberturas no dossel nos variados ambientes da extração (pátio de estocagem, derrubada de árvores, estrada e ramal de arraste), tipos exploração e sítios (Figura 2). Estas aberturas foram maiores em pátio de estocagem comparado aos demais ambientes. Isto pode ser explicado pela necessidade da abertura de uma área considerável (~ 500 m²) na floresta para estocar toras de madeira antes de serem transportadas para as serrarias. A abertura média no dossel em pátios foi 24% (Paragominas) e 33% (Sinop) maior na exploração manejada comparado a abertura no dossel em floresta nativa. Enquanto que a mesma abertura foi 34% (Paragominas) e 40% (Sinop) maior na exploração convencional em relação a abertura no dossel em floresta nativa. Entre os tipos de exploração, a abertura no dossel em pátios foi 39% (Paragominas) e 20% (Sinop) maior na exploração convencional comparado a exploração manejada (Figura 2 e 4).

A abertura média no dossel em derrubada de árvores foi 14% (Paragominas) e 22% (Sinop) maior na exploração manejada comparado a abertura no dossel em floresta nativa. Enquanto que essa abertura foi 26% (Paragominas e Sinop) maior na exploração convencional em relação a abertura na floresta nativa. Entre os tipos de exploração a abertura no dossel em derrubada de árvores foi 73% maior na exploração convencional comparado a exploração manejada de Paragominas (Figura 2 e 3).

Em estrada, a abertura no dossel foi 13% (Paragominas) e 26% (Sinop) maior na exploração manejada comparado a abertura no dossel em floresta nativa. Por outro lado,

essa abertura foi 17% (Paragominas) e 32% (Sinop) maior na exploração convencional em relação a abertura na floresta nativa. Entre os tipos exploração foi 19% (Paragominas) e 24% (Sinop) maior na exploração convencional comparado a exploração manejada (Figura 2).

As aberturas no dossel em ramal de arraste foram as menores clareiras dentre os ambientes da exploração seletiva de madeira (Figura 2). Na exploração manejada a abertura foi 4% (Paragominas) e 10% (Sinop) maior comparado a abertura na floresta nativa. Enquanto que na exploração convencional foi 11% (Paragominas) e 15% (Sinop) maior que a abertura na floresta nativa. Entre os tipos de exploração, observamos que a abertura no dossel foi 87% (Paragominas) e 43% (Sinop) maior na exploração convencional comparado a exploração manejada.

Em todos os ambientes da exploração (pátios de estocagem, estrada, derrubada de árvore e ramais de arraste) a abertura no dossel foi maior na exploração convencional que na exploração manejada. A porcentagem de área com distúrbio na exploração convencional chega a ser o dobro da área com danos da exploração manejada (Asner et al, 2004). Medições de *canopy gap fractions* (porcentagem de abertura no dossel), utilizando o *Licor LAI-2000*, até um ano após a extração seletiva de madeira revelaram valores de 21,6% a 10,9% da área total para exploração convencional e exploração manejada respectivamente (Pereira Jr. et al, 2002). O aumento na abertura no dossel pode está relacionado ao aumento na taxa de queda de árvore, a qual na exploração convencional é duas vezes maior que na exploração manejada (Schulze & Zweede, 2006). Neste estudo, em Paragominas, esta diferença foi mais evidente em aberturas devido a derrubada de árvore e a ramais de arraste. Em Sinop a maior diferença na abertura no dossel entre os tipos de exploração foi observado também em ramais de arraste.

As menores diferenças entre as aberturas no dossel da floresta explorada convencionalmente e explorada com manejo foi observada em Sinop. Considerando que a diferença de intensidade de extração entre os tipos de exploração em Paragominas e Sinop foi de apenas 1 m³, atribuímos este fato, principalmente, as características morfológicas da floresta de transição, a qual é menos densa comparada a floresta ombrófila de Paragominas. Além disso, as aberturas no dossel na floresta de Sinop foram maiores que as de Paragominas, as quais podem está relacionadas a maior intensidade de extração neste sitio ou mesmo as características intrínsecas da floresta de transição.

3.2. Imagem de satélite - NDFI

Os valores do NDFI foram distintos entre a exploração manejada e a exploração convencional nos dois sitios desse estudo. Em Paragominas, o NDFI foi de 0,60 para pátios de estocagem, de 0,87 para estradas secundárias e 0,94 para derrubada de árvore; apresentando diferença significativa quando comparada ao NDFI para floresta nativa (0,97). Em Sinop, os valores do NDFI foi similar ao sítio anterior, sendo 0,64 para pátios de estocagem, 0,86 para estradas secundárias e 0,91 para derrubada de árvore; significativamente diferente comparado ao NDFI para floresta nativa (0,96). Os resultados mostraram que quanto maior a abertura no dossel menor será o valor do NDFI. Portanto, os valores do NDFI são correlacionáveis com a abertura no dossel quantificadas nas fotografias hemisféricas.

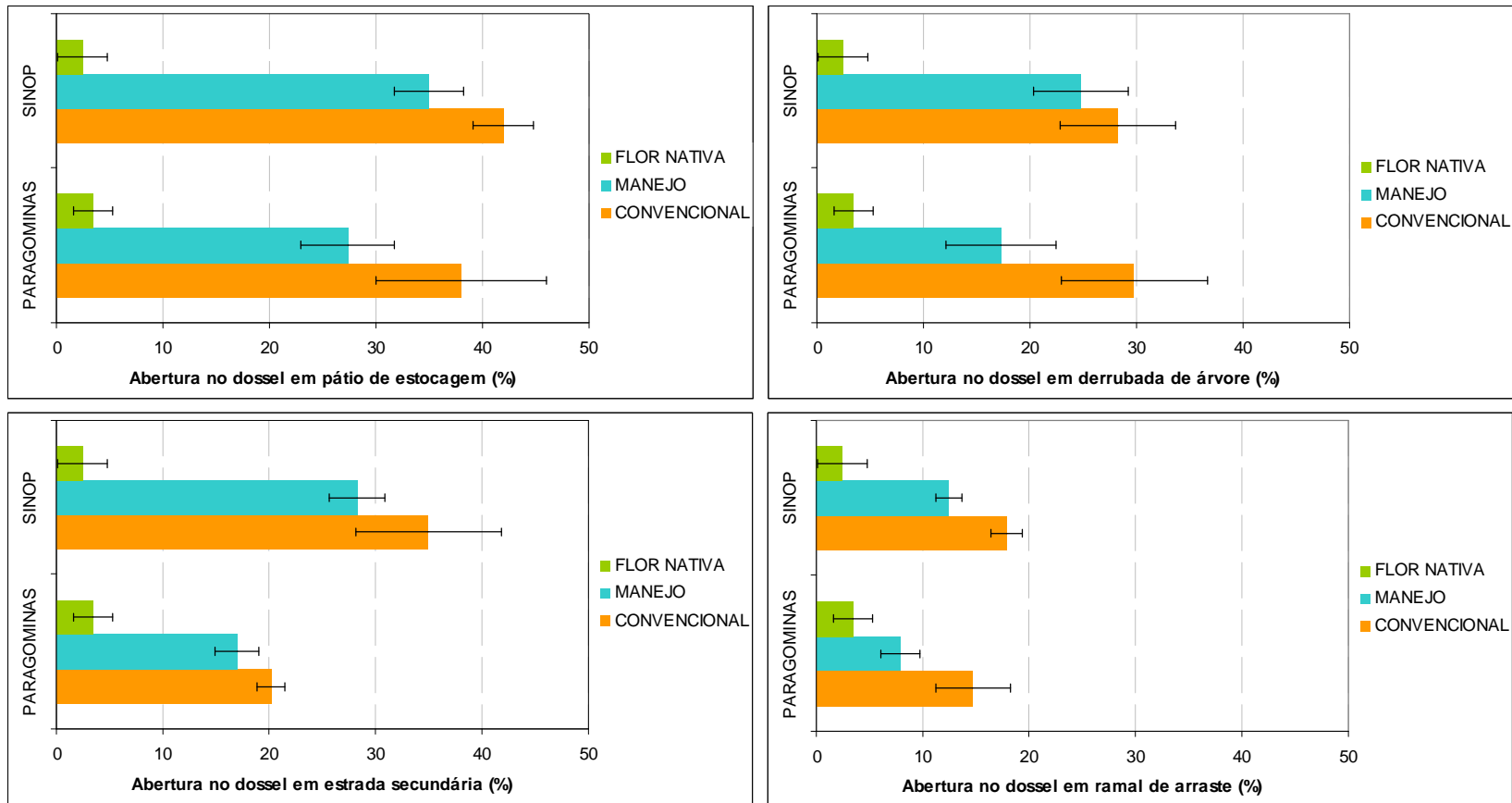


Figura 2. Abertura média no dossel determinadas com fotografias hemisféricas em diferentes ambientes da exploração seletiva de madeira nos sítios de Paragominas-PA e Sinop-MT.

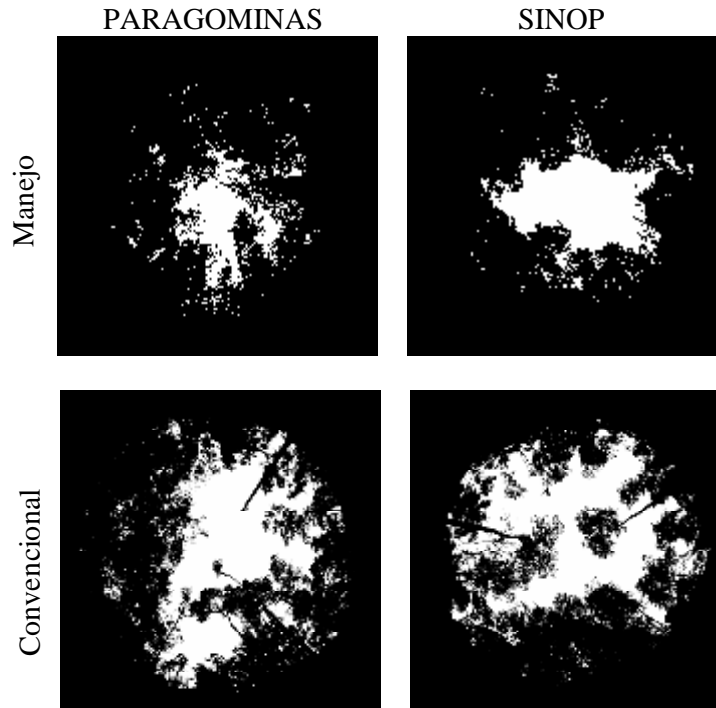


Figura 3. Fotografias hemisféricas da abertura no dossel em derrubada de árvores tomadas em áreas de exploração convencional e exploração manejada de Paragominas-PA e Sinop-MT.

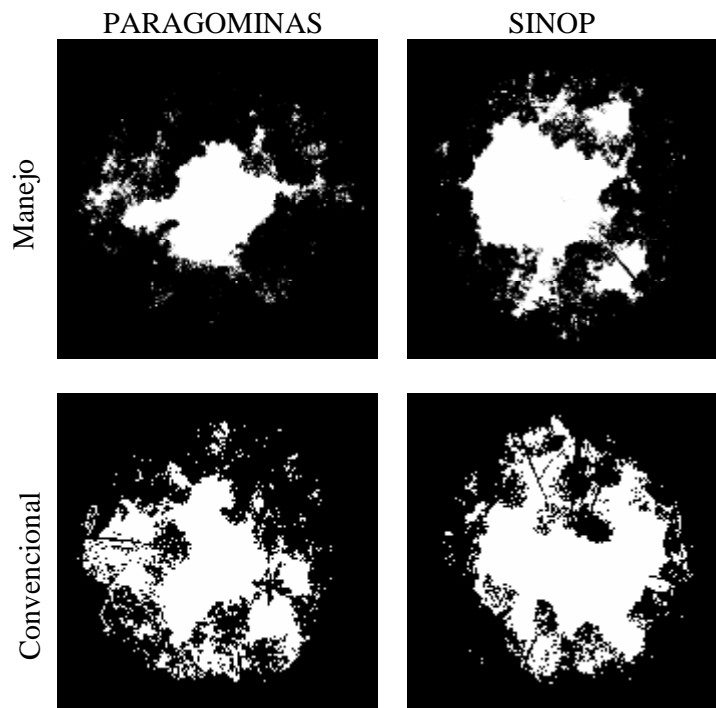


Figura 4. Fotografias hemisféricas da abertura no dossel em pátios de estocagem tomadas em áreas de exploração convencional e exploração manejada de Paragominas-PA e Sinop-MT.

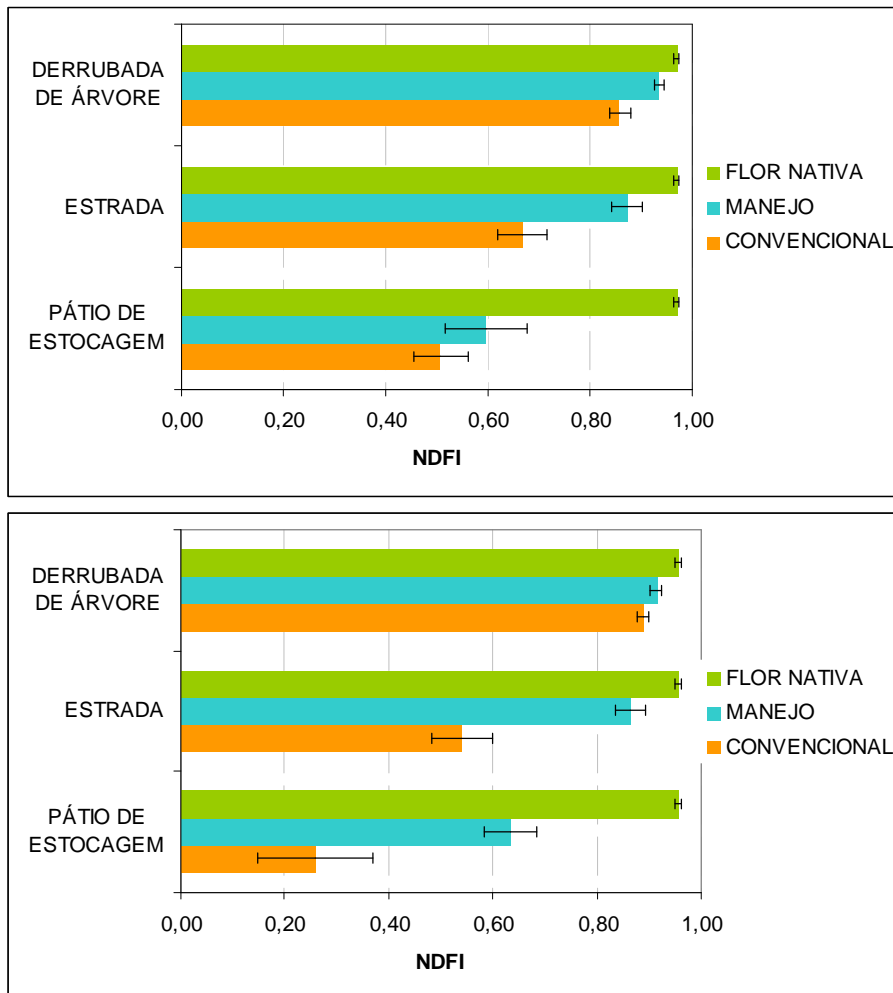


Figura 5. Índice Normalizado de Diferença de Fração (NDFI) em diferentes ambientes da exploração seletiva de madeira nos sítios de Paragominas-PA (acima) e Sinop-MT (abaixo).

4. Conclusão

Este estudo mostrou que as fotografias hemisféricas são úteis para quantificar distintas aberturas no dossel nos variados ambientes da exploração madeireira (pátio de estocagem, derrubada de árvores, estradas e ramal de arraste). Além disso, essas fotos permitem avaliar se a exploração foi conduzida de forma manejada (planejada) ou de forma convencional (não planejada). As aberturas no dossel em todos ambientes da exploração foram maiores na exploração convencional comparada a exploração manejada.

A quantificação da abertura no dossel através de fotografias hemisféricas tomadas nos diferentes ambientes e tipos de exploração madeireira mostrou potencial para validar o monitoramento da qualidade do manejo florestal realizados através das imagens NDFI.

Além disso, esta ferramenta pode ser utilizada nas vistorias de campo pelos órgãos ambientais para avaliar a qualidade do manejo florestal relacionados aos impactos deixados na floresta pela abertura de pátios de estocagem, ramais de arraste e estradas e a derrubada de árvores.

Agradecimentos

Agradecemos a Cikel Brasil Verde, a Maracaí Florestal e a Coimal pelo acesso a suas áreas e pelo apoio operacional. Agradecemos também a Fundação Gordon e Betty Moore pelo apoio financeiro a pesquisa.

Referências

Amaral, P., Veríssimo, A., Barreto, P., Vidal, E. **Floresta para Sempre: um Manual para Produção de Madeira na Amazônia**. Belém: Imazon, 1998. 137p.

Asner, G., Keller, M., Pereira Jr., R., Zweede, J., Silva, J. Canopy damage and recovery after selective logging in Amazonia: field and satellite studies. **Ecological Applications**, 14(4) Supplement, 2004, pp. S280-S298.

Cikel Brasil Verde S.A. **Avaliação de Certificação do Manejo Florestal das florestas naturais da Cikel Brasil Verde S.A. Fazenda Rio Capim – Paragominas, PA, Brasil**. Scientific Certification Systems, Inc. 2001. 39p. Relatório técnico.

Johns, J. S., Barreto, P., Uhl, C. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. **Forest Ecology Management**, 89(1-3):59-77, 1996.

Pereira Jr, R., Zweed, J., Asner, G., Keller, M. Forest canopy damage and recovery in reduced-impact and conventional selective logging in eastern Para, Brazil. **Forest Ecology and Management**, 168 (2002), pp. 77-89.

Radambrasil. Departamento de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais. Folha SC.21 Juruena**. Rio de Janeiro, 20, 39-40, 1981.

Schulze, M & Zweede, J. Canopy dynamics in unlogged and logged forest stands in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, 236 (2006), pp. 56-64.