

## Uso de Imagens NDFI para Identificar Áreas de Exploração Irregular de Madeira em Ações de Fiscalização

Gustavo Freitas Cardoso<sup>1</sup>  
Jamer Andrade da Costa<sup>1</sup>  
Jakeline da Silva Viana<sup>1</sup>  
Nicola Saverio Holanda Tancredi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SIPAM – Sistema de Proteção da Amazônia – Divisão de Sensoriamento Remoto  
Centro Regional de Belém, Pará  
Av. Julio César, 7060 – Val de Cans, Belém, Pará, 66617-420, Brasil  
{gustavo.cardoso, jakeline.viana, jamer.costa, nicola.tancredi}@sipam.gov.br

**Abstract.** The objective of this study was to evaluate the potential of *Normalized Difference Fraction Index* (NDFI) image for identify illegal selective logging activities during an oversight action conducted by ICMBio in the Extractive Reserve Renascer. The NDFI synthesizes information from several component fraction images derived from spectral mixture models the pixel. To do this, first, the encoded radiance of each pixel was converted into physical reflectance values. We applied a spectral mixture model to generate the fractions Green Vegetation, Shadow/Water, Non-Photosynthetically Active Vegetation and Soil. The results indicate that NDFI image was efficient to enhanced detection of the access roads for storage and transport of timber and fraction image to delimit the area of selective logging. After interpretation of the images, overflights were made around properties to look for traces of illegal logging inside the conservation unit. These overflights over logging areas led in the discovery one of the largest seizures of illegal wood in Brazil. Through the use of remote sensing and navigation in real time, this work helped in the discovery and recognition of irregular areas of logging during an oversight action. Thus, our results suggest the use optical remotely sensed data, from the complementary data provided by both fraction and NDFI imagery, to monitor the forest canopy damage caused by selective logging activities approved by government environmental agencies.

**Palavras-chave:** Spectral Analysis Mixture, NDFI, Mapping, Conservation Units, Análise de Mistura Espectral, NDFI, Mapeamento, Unidades de Conservação

### 1. Introdução

O Programa de Monitoramento de Áreas Especiais (ProAE) do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM) utiliza técnicas de sensoriamento remoto para monitorar e identificar atividades antrópica e indícios de ilícitos em Unidades de Conservação e Terras Indígenas na Amazônia Legal. Com intuito de reconhecer e validar essas feições no campo, assim como consolidar a parceria junto ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), o CENSIPAM, através do uso de ferramentas geotecnológicas, participou das ações de planejamento de uma ação de fiscalização ambiental na Reserva Extrativista (Resex) Renascer, localizada no município de Prainha, no Estado do Pará.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar o uso das imagens NDFI para identificar áreas irregulares de exploração madeireira em propriedades situadas no interior da Resex de acordo com os limites estabelecidos pelos Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS); subsidiar a equipe de campo do ICMBio no reconhecimento e levantamento destas áreas a partir de técnicas de navegação em tempo real; e por fim, verificar a acurácia das análises de antropismo nesta Unidade de Conservação.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1. Área de Estudo

A Resex Renascer é uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável criada em 05 de junho de 2009. Segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000), uma Reserva Extrativista é uma área utilizada por populações extrativistas tradicionais, cuja subsistência baseia-se no extrativismo e, complementarmente, na agricultura de subsistência e na criação de animais de pequeno porte, e tem como objetivos básicos proteger os meios de vida e a cultura dessas populações, além de assegurar o uso sustentável dos recursos naturais da unidade. A Resex Renascer está situada no município de Prainha, no Estado do Pará, entre os rios Pará de Uruará e Guajará (Figura 1) e compreende uma área de 211.741 hectares.

No interior da Resex, a ação de fiscalização do ICMBio para detecção de exploração florestal irregular concentrou-se nas proximidades de uma propriedade cujo limite do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) foi denominado neste estudo como PMFS 1.

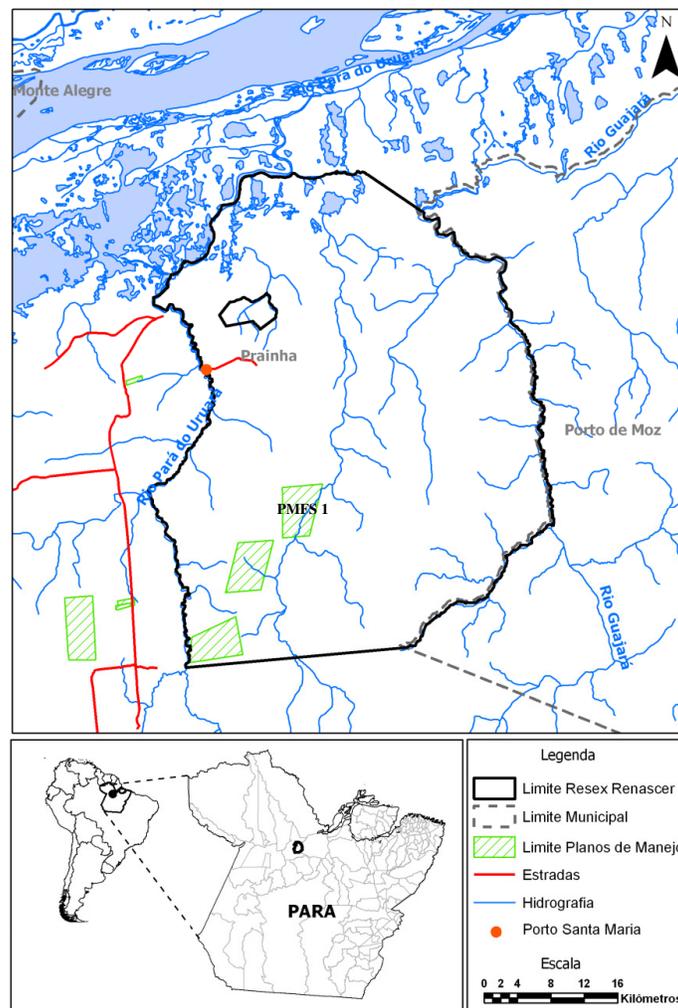


Figura 1: Mapa de localização da Resex Renascer e do PMFS 1.

## 2.2. Processamento de Imagens

O processamento das imagens e as análises de degradação florestal foram baseadas no sensor óptico orbital *Thematic Mapper* (TM), do satélite Landsat 5, órbitas ponto 226/062 (25/10/2009 e 02/07/2008), 227/061 (12/07/2009 e 27/09/2008) e 227/062 (12/07/2009) fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Estas imagens foram georreferenciadas com base no mosaico da National Aeronautics and Space Administration (NASA) *GeoCover* (imagem *S-22-00\_2000*, através do site <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>). O registro baseou-se no algoritmo de triangulação, pelo método de reamostragem por “vizinho mais próximo” e emprego de um polinômio de 1º grau, disponível no software Environment for Visualizing Images (ENVI), versão 4.5. O erro quadrático médio (RMS) extraído da imagem registrada aferiu valores inferiores a 1 (um) *pixel* para todos os pontos de controle. Após registro, a imagem foi radiometricamente corrigida usando os valores de ganho e “offset” para cada banda. (USGS, 2007). Para conversão dos valores digitais em valores físicos de reflectância foi aplicada correção atmosférica na imagem utilizando o módulo FLAASH, do ENVI, baseado no uso do MODTRAN 4, que transforma valores de radiância para reflectância de superfície.

Posteriormente, aplicou-se o modelo de mistura espectral, que simula o processo físico de medição da mistura da radiação para cada elemento contido no IFOV a partir de um modelo linear de mistura. (Adams et al., 1993). Tradicionalmente, os modelos de análise de mistura espectral de um espectro de reflectância são como uma combinação linear de um número finito de assinaturas espectrais dos componentes puros originais da superfície, denominado “endmembers”. Com a escolha ideal dos “endmembers”, os coeficientes da combinação linear são não-negativos, e somados a 1, e, portanto, interpretáveis como frações da cobertura do solo. (Bateson, et al., 2000).

Os dados das imagens reflectância de cada pixel foram decompostos nas frações Sombra, Solo, Vegetação Verde (VV) e Vegetação Não Fotossinteticamente Ativa (VNFA) a partir da análise de mistura espectral. (Adams et al., 1993). Estes quatro tipos de constituintes puros (*endmembers*) são esperados em ambientes florestais degradados na Amazônia (Souza Jr. et al, 2005).

Para melhor contrastar e identificar os sinais de exploração seletiva de madeira em área florestal amazônica, assim como subsidiar as ações de fiscalização destas áreas pelos técnicos do ICMBio, aplicou-se o *Normalized Difference Fraction Index* (NDFI) (Equações 1 e 2) nas imagens reflectância, fórmula elaborada por Souza Jr. et al (2005), e computada usando as imagens fração obtidas a partir do modelo de mistura espectral. De acordo com o autor, florestas seletivamente exploradas apresentam uma baixa proporção de VV e uma alta proporção de VNFA e Solo, em relação à floresta intacta.

$$\mathbf{NDFI} = \frac{\mathbf{VV_{sombra} - (VNFA + Solo)}}{\mathbf{VV_{sombra} + VNFA + Solo}} \quad (1)$$

Onde, **VV<sub>sombra</sub>** é a sombra-normalizada da fração VV, dada por:

$$\mathbf{VV_{sombra}} = \frac{\mathbf{VV}}{\mathbf{100 - sombra}} \quad (2)$$

Os valores NDFI variam de -1 a 1. Teoricamente, o valor NDFI em floresta intacta é esperado ser elevado, próximo a 1, devido a combinação de VVsombra (alto VV e Sombra do dossel das árvores) e baixos valores de VNFA e Solo. Com a degradação florestal, espera-se um aumento dos valores das frações VNFA e Solo, e conseqüentemente uma diminuição dos valores NDFI relativo à floresta intacta. O NDFI tem a vantagem de combinar, em uma única

banda sintética, todas as informações que mostraram ser relevantes para identificação e mapeamento de florestas degradadas na região amazônica. (Souza Jr. et al., 2005).

Já para mapear as áreas antropizadas, utilizou-se o classificador supervisionado *Spectral Angle Mapper* (SAM). O SAM é um método de classificação que permite um rápido mapeamento através do cálculo da similaridade espectral entre a imagem espectro e o espectro de referência, que pode ser extraído da imagem reflectância. (Yuhua *et al.*, 1992). O algoritmo SAM determina a similaridade espectral entre dois espectros calculando o “ângulo” entre eles, tratando ambos os espectros como vetores em um espaço com dimensionalidade igual ao número de bandas. Ângulos menores entre os dois espectros indicam alta similaridade e maiores ângulos, baixa similaridade. (Kruse et al., 1993). Após a etapa de classificação e mapeamento das áreas antropizadas de 2008, efetuou-se uma interpretação visual e edição vetorial dos polígonos para corrigir possíveis erros de classificação. Os mesmos procedimentos adotados para as imagens de 2008 foram executados nas imagens de 2009 para posterior edição das áreas de incremento do desflorestamento identificadas.

Para validar e gerar dados de acurácia das análises de antropismo do ProAE, foram gerados 100 (cem) pontos aleatórios nos centróides dos polígonos de desmatamento em toda a extensão da Resex.

### 2.3. Dados de Campo

As vistorias de campo ocorreram no período de 22 a 31 de março de 2010, com auxílio de helicópteros, embarcações e veículos tracionados. A finalidade foi validar, *in loco*, as áreas de antropismo para subsidiar as análises do ProAE, e localizar zonas de exploração madeireira e esplanadas de estocagem da madeira além do limite dos planos de manejo fornecidos pelo ICMbio. A localização destas áreas foi possível através do uso de técnicas de navegação em tempo real. Para tanto, utilizou-se o aparelho GPS e-Trex Vista HCx e o software Global Mapper como navegadores, e outro programa, o EasyGPS, para espacialização dos registros fotográficos.

As informações de rotas e localização das feições de degradação florestal foram previamente levantadas com o auxílio das interpretações realizadas nas imagens NDFI para definição dos planos de voo. Além do GPS, um laptop foi usado para visualização da navegação durante os sobrevôos e trilhas. Após as atividades de campo as informações eram trabalhadas em escritório através do programa EasyGPS e ArcGIS e repassadas posteriormente para o ICMbio para o planejamento das futuras ações de fiscalização. O EasyGPS é um software gratuito que recebe dados do aparelho GPS (principalmente o “tracking”) e os associa com os registros fotográficos. Para espacialização destas fotos, o horário da máquina fotográfica digital foi ajustado com o horário do equipamento GPS.

### 3. Resultados e Discussão

As intervenções antrópicas na Resex Renascer foram mapeadas em escritório, anteriormente às atividades de campo, e classificadas nas imagens reflectância do Landsat-5 TM. Os resultados extraídos mostraram um antropismo predominantemente já estabelecido por fazendeiros (possivelmente para criação de gado) e madeireiros anterior a criação da unidade (antes de 05/06/2009), na parte norte da unidade, com poucos incrementos em 2009. Contudo, constatou-se forte incremento de exploração madeireira em 2009 (após criação da unidade) adjacentes ao PMFS 1, localizada na parte sul da Resex (Figura 2). Esta análise preliminar implicou em sobrevôos frequentes nestas áreas para subsidiar as atividades de fiscalização do ICMbio.

Os resultados mostraram que antes da criação, a Resex Renascer havia sofrido um desflorestamento de 19.574 ha (9,24%) e, após a criação da unidade, detectou-se um incremento de 6.418 ha, equivalente a 33% da área total desflorestada em 2008 e 3% em

relação à área da unidade. (Figura 3). A estimativa da acurácia do mapeamento de antropismo foi de 94,59 % na Resex.

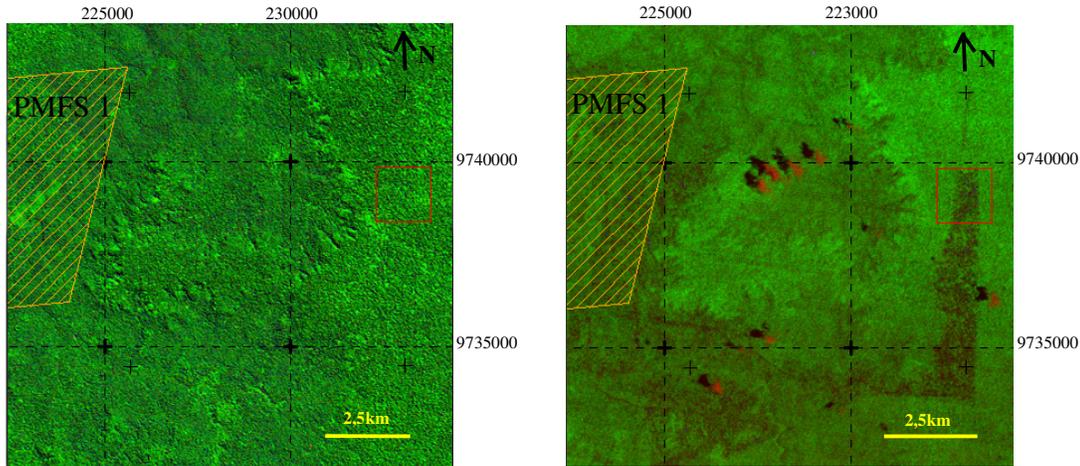


Figura 2: Imagens Fração (*Rsolo,Gvv,Bvnf*). A esquerda, imagem de 2008, anterior a criação da Resex e a direita imagem de 2009, após criação da Resex, com detecção de exploração florestal irregular e intensa próximo ao PMFS 1.

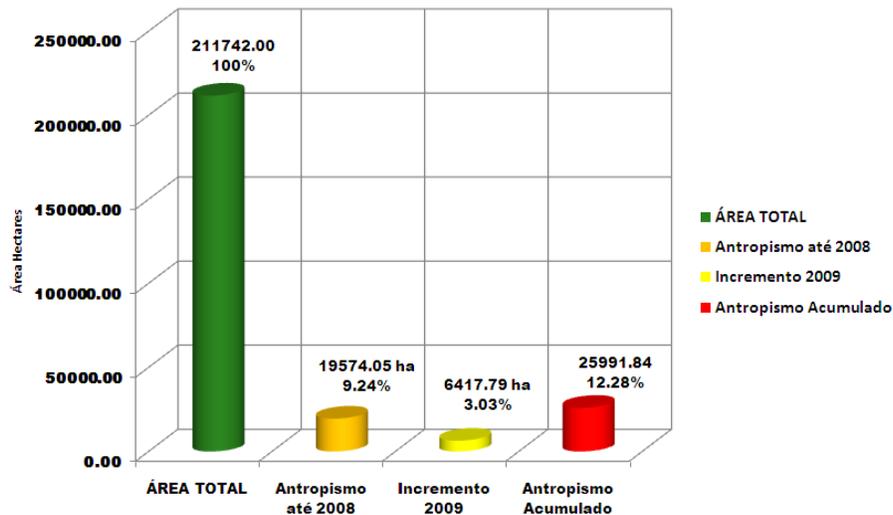


Figura 3: Gráfico contendo análise quantitativa dos incrementos de 2008 e 2009 em relação à área total da Resex Renascer.

O processamento e as interpretações das informações extraídas das imagens fração e NDFI acerca das intervenções antrópicas indicaram potenciais áreas de interesse do ICMbio para checagem (Figura 4). As imagens fração se mostraram eficiente para dimensionar a área explorada enquanto que as imagens NDFI apresentaram bom contraste dos acessos e pátios de estocagem da madeira. Dentre estas áreas, a exploração predatória da madeira realizada pelo PMFS 1 se destacou. Estas áreas foram sobrevoadas a fim de obter registros fotográficos comprobatórios das atividades ilícitas. Com o uso do método apresentado, pôde-se localizar os indícios de ilícitos e subsidiar as atividades de fiscalização do ICMbio.

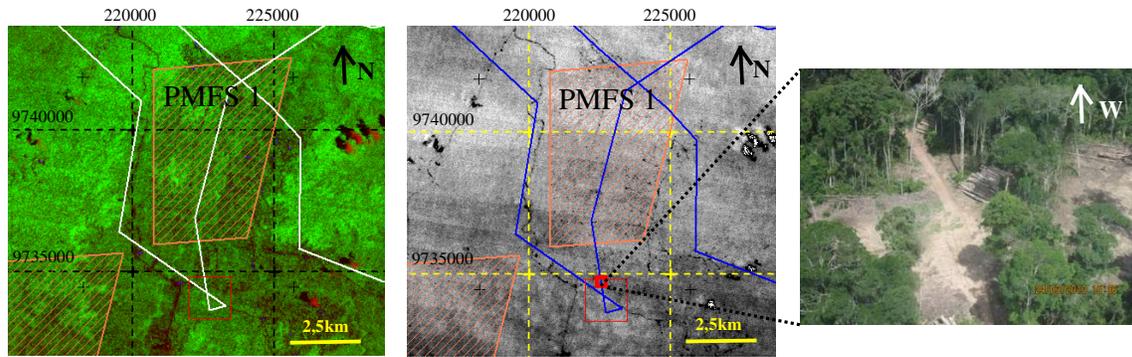


Figura 4: Da esquerda pra direita, imagem fração (*Rsolo*, *Gvv*, *Bvnf*), imagem NDFI em escala de cinza mostrando os principais acessos para transporte da madeira, e foto aérea comprovando a localização dos pátios de estocagem irregular da madeira do PMFS 1. A linha branca, na imagem fração, representa a rota de sobrevôo do helicóptero, e em laranja, a área de manejo florestal.

#### 4. Conclusões

A acurácia de 94,59 % indica que os procedimentos de análises realizados no âmbito do ProAE, realizado pelo SIPAM/CR Belém, foram excelentes e alcançaram os objetivos de identificação do mapeamento do antropismo nesta Unidade de Conservação e pode ser empregado em outras operações futuras.

A atuação do CENSIPAM, através da Divisão de Sensoriamento Remoto do Centro Regional de Belém (SIPAM/CR-BE), foi fundamental para as atividades de fiscalização do ICMbio. Através do uso de técnicas de sensoriamento remoto e navegação em tempo real, este trabalho auxiliou no reconhecimento e descoberta de áreas irregulares de exploração madeireira além dos limites do PMFS 1. Os sobrevôos nestas áreas culminaram na descoberta de uma das maiores apreensões de madeira ilegal no Brasil, e tiveram repercussão nacional através dos principais meios de comunicação, como encontrada no endereço eletrônico: [http://www.gentedeopini ao.com/ler\\_noticias.php?codigo=59094](http://www.gentedeopini ao.com/ler_noticias.php?codigo=59094).

Deste modo, sugerem-se o uso das imagens fração (VV, VNF, Solo e Sombra) e NDFI, como insumos importantes e complementares no planejamento de ações de fiscalização para o reconhecimento de áreas de exploração irregular da madeira, a identificação de acessos aos pátios de estocagem, assim como o monitoramento de PMFS autorizados para exploração florestal.

#### Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem todas as instituições públicas envolvidas neste trabalho que contribuíram substancialmente para o planejamento e execução das ações de fiscalização na Resex Renascer, com um objetivo comum, de evitar e ou mitigar as atividades predatórias de exploração da madeira em áreas públicas que promovem o uso sustentável dos recursos naturais. São elas: CENSIPAM, ICMbio, Polícia Federal, Força Nacional e Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Pará.

#### Referências Bibliográficas

Adams, J. B., Smith, M. O. and Gillespie, A. R. Imaging spectroscopy: Interpretation based on spectral mixture analysis. In V. M. Pieters and P. Englert (Eds.). **Remote geochemical analysis: Elemental and mineralogical composition**. New York, Cambridge University Press, v.7, p. 145–166, 1993.

Bateson C.A. Asner G.P., and Wessman, C.A. Endmember Bundles: A New Approach to Incorporating Endmember Variability into Spectral Mixture Analysis. **IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing**, v.38, n.2, p.1083 – 1094, 2000.

BRASIL. [LEI N.º 9.985, de 18 de julho de 2000](#). Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 19/07/2000.

Kruse, F.A., A.B. Lefkoff, J.W. Boardman, K.B. Heidebrecht, A.T. Shapiro, P.J. Barloon and A.F.H. Goetz. The spectral image processing system (SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 44, p. 145-163, 1993.

Souza Jr., C.M.; Roberts, D.A.; Cochrane, M.A. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing of Environmental**, v. 98, p. 329–343, 2005.

USGS. 2007. Revised Landsat 5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/documents/L5TM\\_postcal\\_v11.pdf](http://landsat.usgs.gov/documents/L5TM_postcal_v11.pdf)>. Acessado em: 07 de abril de 2010.

Yuhas, R.H., A.F.H. Goetz and J.W. Boardman. Discrimination Among Semi-Arid Landscape Endmembers Using the Spectral Angle Mapper (SAM) Algorithm. Summaries of the 4th JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication, v. 92, n. 41, p. 147-149, 1992.