



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**ALTERAÇÃO DO DOSSEL FLORESTAL A PARTIR DE IMAGENS ORBITAIS NO  
MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PA**

**BRUNO MONTEIRO FERREIRA**

Belém-PA  
Agosto de 2017

BRUNO MONTEIRO FERREIRA

ALTERAÇÃO DO DOSSEL FLORESTAL A PARTIR DE IMAGENS ORBITAIS NO  
MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PA

Dissertação submetida à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, na área de concentração Manejo de Ecossistemas Florestais, para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: João Olegário Pereira de Carvalho

Coorientadora: Maria de Nazaré Martins Maciel

Belém-PA  
Agosto de 2017

BRUNO MONTEIRO FERREIRA

ALTERAÇÃO DO DOSSEL FLORESTAL, A PARTIR DE IMAGENS ORBITAIS NO  
MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PA

Dissertação submetida à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, na área de concentração Manejo de Ecossistemas Florestais, para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. João Olegário Pereira de Carvalho – Presidente  
Universidade Federal Rural da Amazônia

---

Dr. Paulo Luiz Contente de Barros  
Universidade Federal Rural da Amazônia

---

Dr. Marcos Adami  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

---

Dr. Bruno Wendell de Freitas Pereira  
Universidade Federal Rural da Amazônia

---

Dr<sup>a</sup>. Merilene do Socorro Silva Costa (Suplente)  
Universidade Federal Rural da Amazônia

Belém-PA  
Agosto de 2017

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus sem o Qual eu certamente não estaria aqui;

À minha família pela compreensão em todos os momentos;

À Universidade Federal Rural da Amazônia pela oportunidade de realizar este renomado curso;

À minha orientadora, Professora Dr<sup>a</sup>. Maria de Nazaré Martins Maciel pela dedicação, paciência e sabedoria com a qual me orientou;

Ao meu orientador, Professor Dr. João Olegário Pereira de Carvalho pelo apoio, dedicação e sabedoria nesse processo de formação profissional;

À banca examinadora composta por: Prof. Dr. Paulo Luiz Contente de Barros, Dr. Marcos Adami, Prof. Dr. Bruno Wendell de Freitas Pereira;

À Professora Dr<sup>a</sup>. Merilene do Socorro Silva Costa, suplente da banca de Defesa;

Ao Instituto do Meio Ambiente e do Homem por ter colaborado diretamente para realização desse estudo;

Ao Laboratório de Geoprocessamento, Análise Espacial e Monitoramento por Satélite por todo suporte técnico e operacional;

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho, de tal forma, contribuem para formação pessoal e profissional;

Deus disse: De maneira alguma te  
deixarei, nunca, jamais te abandonarei.  
(Hebreus 13:5).

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização do Município de Paragominas, incluindo a cena de estudo.....	17
<b>Figura 2:</b> Fluxograma de distribuição das etapas aplicadas na metodologia.....	19
<b>Figura 3:</b> Imagens fração para a área 01, geradas por meio do SMA, onde, a imagem (A) corresponde a abundância de Vegetação verde, (B) abundância de Vegetação não-fotossinteticamente ativa, (C) abundância de solo e (D) abundância de sombra .....	27
<b>Figura 4:</b> Imagens fração para a área 02, geradas por meio do SMA, onde, a imagem (A) corresponde a abundância de Vegetação verde, (B) abundância de Vegetação não-fotossinteticamente ativa, (C) abundância de solo e (D) abundância de sombra.....	29
<b>Figura 5:</b> Imagens fração para a área 03, geradas por meio do SMA, onde, a imagem (A) corresponde a abundância de Vegetação verde, (B) abundância de Vegetação não-fotossinteticamente ativa, (C) abundância de solo e (D) abundância de sombra.....	30
<b>Figura 6:</b> Imagem em NDFI, mostrando a variação no gradiente de cores (verde e alaranjado).....	32
<b>Figura 7:</b> Imagem em NDFI para a área 02, com variações de cores somente nos tons de verde.....	34
<b>Figura 8:</b> Imagem em NDFI para a área 03, caracterizando variações de cores no interior da área.....	35

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Estatística descritiva dos valores normalizados por meio do NDFI, das áreas 01, 02 e 03.....	28
<b>Tabela 2:</b> Valores de NDFI para as três áreas avaliadas.....	31
<b>Tabela 3:</b> Comparação de Rank pelo teste de Kruskal-Wallis.....	31

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1:</b> Valores de irradiação solar extra-atmosférica decorrentes de diferentes bandas espectrais.....	19
<b>Equação 2:</b> Conversão do número digital para reflectância.....	20
<b>Equação 3:</b> Valores da irradiância no momento em que a imagem foi tomada.....	20
<b>Equação 4:</b> Modelo de Spectral Mixture Analysis-SMA.....	22
<b>Equação 5:</b> Modelo de Spectral Mixture Analysis.....	22
<b>Equação 6:</b> Modelo de SMA de erro.....	22
<b>Equação 7:</b> Índice Normalizado de Diferença de Fração-NDFI.....	23
<b>Equação 8:</b> Vegetação Verde normalizada para a sombra.....	23
<b>Equação 9:</b> Grau de Alteração no Dossel Florestal.....	24



## **LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS**

**AME** - Análise de Mistura Espectral

**APAT**- Autorização Prévia à Análise Técnica de Plano de Manejo Florestal Sustentável

**AUTEF** - Autorização para Exploração Florestal

**EC** - Exploração Convencional

**EIR** - Exploração de Impacto Reduzido

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**MLME** - Modelo Linear de Mistura Espectral

**NDFI** - Índice Normalizado de Diferença de Fração

**NPV** - No Photosynthetically Vegetation

**SEMAS** - Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade

**SMA** - Spectral Analysis Mixture

**TMA** - Tamanho mínimo da amostra

**USGS** - United States Geological Survey

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO (CONTEXTUALIZAÇÃO)</b> .....	12
<b>2. OBJETIVOS GERAL</b> .....	15
2.1 Objetivos específicos .....	15
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	16
3.1 Área de estudo .....	16
3.2 Obtenção da Base de Dados.....	17
3.3 Processamento e análise dos dados.....	18
3.3.1 Pré-processamento das imagens.....	19
3.3.2 Processamento da Imagem.....	21
3.3.3 Spectral Analysis Mixture – SMA .....	21
3.3.4 Índice Normalizado de Diferença de Fração - NDFI .....	23
3.4 Estatística Descritiva e/ou Exploratória de Dados.....	25
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	25
4.1 Identificação da exploração florestal, por meio do SMA, com análise da intensidade das alterações no dossel florestal. ....	25
4.2 Análise do grau de alteração no dossel florestal nas áreas 01,02 e 03 .....	29
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	35
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	36

## RESUMO

As florestas tropicais, como a floresta amazônica, têm fundamental participação na estabilidade dos ambientes locais, principalmente, pela oferta de serviços e produtos. Por isso, passou a ser visionada como fonte inesgotável de recursos florestais, dentre os quais, está o produto madeireiro. Nesse contexto, problemas ambientais passaram a ter maior atenção dos órgãos públicos, ligados ao monitoramento desses recursos. Diante disso, as ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são fortes aliadas à maximização dessas operações. Esse cenário leva ao objetivo deste estudo, que é avaliar as alterações no dossel florestal, por meio da Análise de Mistura Espectral-AME e Índice Normalizado de Diferença de Fração-NDFI. O estudo foi conduzido em três áreas localizadas no município de Paragominas-PA obtidas no banco de dados da SEMAS-PA. No primeiro passo, a imagem foi pré-processada, para posterior aplicação do SMA. Na aplicação do SMA gerou-se quatro frações de abundância, as quais foram fundamentais para identificação da exploração. Em seguida, foi utilizado o NDFI, para determinar o Grau de Alteração no Dossel Florestal-GADF. Os resultados revelaram diferenças significativas pelo teste de Kruskal-Wallis nas três áreas, ao observar a comparação das quatro imagens-fração e no valor de NDFI, o que não traduziu diferenças quanto ao GADF, pois as áreas, apresentaram mesmo intervalo de alteração, conforme os intervalos propostos pela SEMAS (2015), indicando baixa intensidade de impactos sobre o dossel florestal. O NDFI, sob as condições locais, não mostrou sensibilidade a mudanças quanto ao nível de alteração no dossel florestal (Tabela 2), isso pode ter acontecido devido à necessidade de detecção da vegetação seca, que no caso ainda está em processo de consolidação, pois a análise das imagens ocorreu durante a exploração madeireira.

**Palavras-chave:** Amazônia; Geoprocessamento; Análise de Mistura Espectral-AME; Índice Normalizado de Diferença de Fração-NDFI.

## 1. INTRODUÇÃO (CONTEXTUALIZAÇÃO)

A floresta Amazônica abrange grande parte da América do Sul e, no Brasil, a área ocupada pela Amazônia legal é de 4.988.939 km<sup>2</sup> (HIGUCHI et al., 2004). Além de abrigar vastos recursos hídricos, florestais e minerais, a floresta tem importantes funções ecológicas, como a conservação de recursos genéticos, biodiversidade, controle do regime de chuvas na região amazônica e em todo o Brasil, regulação do aquecimento global por meio de seu estoque de carbono, controle da erosão dos solos, entre outras (MEIRELES FILHO, 2004).

As florestas são fundamentais para o desenvolvimento social, econômico e ambiental. A efetividade na administração das florestas naturais somente poderá ser consolidada por meio do conhecimento de seu valor global. Portanto, a sociedade precisa conhecer os recursos, serviços e processos dinâmicos que integram seus ecossistemas (ANDREOLI, 2009).

Apesar da sua indiscutível relevância para a manutenção da vida, as áreas florestadas na região amazônica são desmatadas. Segundo Fonseca et al., (2015), “o desmatamento acumulado no período de agosto de 2014 a janeiro de 2015, correspondendo aos seis primeiros meses do calendário oficial de medição do desmatamento, atingiu 1.660km<sup>2</sup>. Houve aumento de 213% do desmatamento em relação ao período anterior (agosto de 2013 a janeiro de 2014) quando atingiu 531km<sup>2</sup>”.

Considerando o contexto histórico do município de Paragominas, destaca-se o momento dito por Aviz & Albagli (2013) sobre “o ápice da crise na indústria madeireira no final dos anos 90”. Isso ocorreu provavelmente devido à exploração irregular de madeira, fato que culminou para o fechamento de empresas de processamento de madeira em tora, reduzindo os impactos ambientais, mas causando a diminuição de postos de empregos.

Em consequência das altas taxas históricas de desmatamento, Paragominas foi incluído na lista do Ministério do Meio Ambiente-MMA dos municípios que mais desmatam na Amazônia (PACHECO, 2011). A partir de então, passou a ser alvo das ações do governo federal de controle do desmatamento, com intensificação da fiscalização pelo IBAMA e Polícia Federal, com forte restrição de comercialização de produtos gerados por atividades rurais (VILELA et al., 2005). Como exigências para sair da lista do MMA, Paragominas precisou reduzir o desmatamento e realizar o

Cadastro Ambiental Rural (CAR) das propriedades em pelo menos 80% de seu território.

Frente a esse contexto, são essenciais medidas que permitam a maximização das operações de fiscalização e combate à degradação florestal. Por isso destacam-se principalmente as alterações causadas pela exploração seletiva de madeira e que são objetos desse estudo, por isso é importante conhecer as práticas exploratórias aplicadas na Amazônia ou na região. Ferreira et al. (2015) descrevem “a exploração florestal conforme as duas principais práticas aplicadas na Amazônia: Exploração Convencional (EC) que pode ser classificada como uma “garimpagem florestal”; e a Exploração de Impacto Reduzido (EIR) que busca subsidiar às demandas sociais e ambientais frente à conservação da floresta e proteção ambiental”.

Com o advento de novas tecnologias, incluindo a evolução e aperfeiçoamento do sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, tornou-se plausível, que medidas de análises à distância pudessem permitir a caracterização do ambiente a partir dos seus respectivos comportamentos espectrais. Shimabukuro et al. (1998) explicam que o comportamento espectral das folhas depende da sua composição química e de sua estrutura interna. A variação da reflectância do dossel, no comportamento de onda do espectro eletromagnético depende, principalmente, da quantidade de folhas e da arquitetura do dossel, permitindo o desenvolvimento de mecanismos de monitoramento baseados nesses princípios. Por isso, diversos índices voltados à vegetação têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar a assinatura espectral da vegetação. Estes índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição, que influenciam a resposta espectral dos alvos (SHIMABUKURO et al., 1998).

Não obstante, Kawabuko et al., (2004) comentam que “a fundamentação metodológica dos modelos de mistura espectral se baseiam nos problemas de mistura que ocorrem nas imagens de Sensoriamento Remoto em virtude da resolução espacial do sensor”. Essa mistura está relacionada com os diferentes materiais ou objetos contidos “dentro” do pixel no momento da medição do fluxo radiante por parte de um sensor (SHIMABUKURO; PONZONI, 2017). Assim, dentro de um único elemento de 30 m x 30 m, a radiância registrada inclui mais de um tipo de cobertura do terreno (além dos efeitos atmosféricos).

A Análise de Mistura Espectral -AME (*Spectral Mixture Analysis-SMA*) estima a abundância de solos, sombra, vegetação não fotossinteticamente ativa e vegetação verde. Assim, como comentado por Wu (2004), “um pressuposto básico de modelos SMA é que a resposta espectral para cada pixel é resultado de uma combinação linear ou não dos endmembers contidos numa cena”.

A inferência espacial nas análises de cobertura do solo e estudos de vegetação foi aperfeiçoada de posse dos MLME e SMA, no entanto em áreas onde ocorre exploração seletiva de madeira, principalmente em florestas densas na Amazônia, há necessidade de melhorar a capacidade de detecção e discriminação desses impactos no dossel florestal. Por isso, Souza Jr et al. (2013) apontam que; teoricamente, os valores do Índice Normalizado de Diferença de Fração-NDFI em floresta intacta ou não alterada são, geralmente, elevados (isto é, cerca de 1), devido à combinação de alta presença de vegetação verde (*green vegetation-GV*) e baixos valores de NPV e de solo. Quando a floresta se torna um ambiente degradado ou alterado, as frações de NPV e do solo aumentam, devido à cobertura do dossel diminuir, reduzindo NDFI nessas áreas. O conjunto de bandas que compõem o NDFI, contendo informações de reflectância, demonstra ser capaz de identificar e mapear florestas degradadas ou alteradas na Amazônia.

Mesmo diante das tecnologias de monitoramento espacial, o Estado do Pará ainda “amarga” o título de um dos estados com maiores intensidades de desmatamentos na região norte. Esse cenário descreve claramente que há fundamentação de estudos que alcancem amplas escalas dentro do território paraense, tais medidas, favorecem a gestão dos recursos florestais e controle ambiental. Esse contexto caótico levou o Ministério do Meio Ambiente a incorporar o município de Paragominas dentro do projeto Municípios Verdes. Essa iniciativa em conjunto com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS do Estado do Pará, no ano de 2008, reduziu o desmatamento por atividades agropecuárias e explorações madeireiras reduzindo o impacto sobre os recursos florestais, mas apesar disso, ainda é possível observar elevados indícios de explorações seletivas de madeireiras e altos níveis de degradação florestal (BARROS & VERÍSSIMO, 2013). Por isso, em 16 de janeiro de 2014 a SEMAS – PA, por meio da Portaria nº 063/2014, “instituiu a metodologia de análise de geoprocessamento, no âmbito desta Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará – SEMA/PA, para identificar alterações na cobertura florestal com uso do Índice Normalizado de

Diferença de Fração – NDFI sem autorização do órgão ambiental competente, que forem objeto de pedido de Autorização Prévia à Análise Técnica de Plano de Manejo Florestal Sustentável – APAT” (SEMAS, 2014).

A partir do ano de 2015 com a atualização da Instrução Normativa – IN: 05 (SEMAS, 2015) o NDFI passou a compor, como elemento de avaliação dos impactos causados pela exploração florestal, os planos de manejo florestal solicitados a SEMAS. Diante dessa situação, o estudo busca responder à questão: a avaliação qualitativa nas áreas submetidas à exploração florestal pode ser feita por meio do NDFI? Partiu-se da hipótese de que o NDFI permite discriminar as alterações no dossel florestal, especificando o grau de alteração ocorrido nessas áreas, busca-se demonstrar a sensibilidade do NDFI, durante a exploração florestal. De tal modo, será aplicado o Spectral Analysis Mixture – SMA e Índice Normalidade de Diferença de Fração NDFI, componentes essenciais para avaliação qualitativa dessas áreas.

### **Questão**

O impacto no dossel florestal é evidenciado à medida em que ocorre a exploração florestal e pode ser detectado por “cicatrices” no dossel. No entanto, as alterações no dossel florestal, durante a exploração madeireira, podem ser avaliadas por meio do NDFI?

### **Hipótese**

**H<sub>1</sub>:** Durante a exploração madeireira, o NDFI discrimina as principais alterações sobre o dossel florestal.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar as alterações no dossel florestal nas áreas de exploração madeireira, por meio do SMA e NDFI.

### **2.1 Objetivos específicos**

- ✓ Identificar áreas de exploração florestal, por meio da aplicação do SMA em imagens orbitais.
- ✓ Analisar a intensidade das alterações florestais nas áreas exploradas.
- ✓ Analisar a Qualidade da exploração madeireira nas áreas de estudo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O município de Paragominas, situado às margens da rodovia Belém-Brasília (BR-010), a 320 km da cidade de Belém entre as coordenadas de latitudes geográficas 02°30'00''S e 03°00'00''S e de longitude 46°40'00''W e 46°20'00''W, possui uma área de 1,93 milhões de hectares (1,5% da superfície do Pará) e abriga uma população de quase 91 mil habitantes (IBGE, 2010).

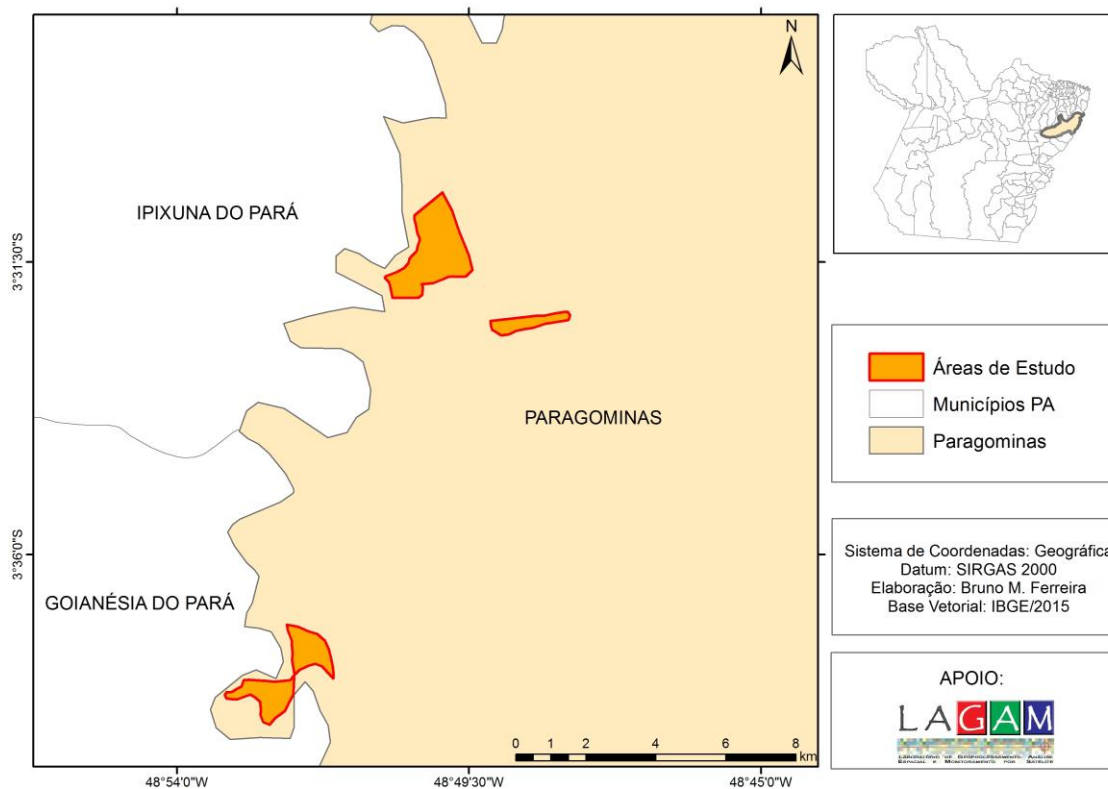
Paragominas faz parte da mesorregião Sudeste Paraense e se limita a leste com o Maranhão, ao norte com os municípios de IPIXUNA DO PARÁ e Nova Esperança do PIRIÁ, ao sul com Ulianópolis e Dom Eliseu e ao oeste com Goianésia do Pará, como observado na Figura 1. Segundo a classificação de Koppen, o tipo climático predominante é o Af, caracterizado por temperatura média e índice pluviométrico anuais altos. A precipitação pluviométrica apresenta-se com a média de 1.765,9 mm/ano, sendo que no período de julho a outubro verifica-se menor disponibilidade hídrica (WATRIN & ROCHA, 1992).

O relevo no município de Paragominas possui uma topografia onde os níveis altimétricos apresentam pouca variação. Contudo, tais níveis se encontram em cotas mais elevadas que a média dos municípios da Microrregião de Paragominas. Os tipos de solos predominantes são: Latossolo Amarelo e Concrecionários Lateríticos; Latossolo Amarelo, textura argilosa, Latossolo Amarelo, textura média e Areias Quartzosas. Há presença de Solos Aluviais e Solos Indiscriminados nas áreas de várzea. A tipologia vegetal é formada principalmente por florestas secundárias e pastagens (PACHECO, 2011). Originalmente, o município de Paragominas era absolutamente coberto por floresta ombrófila densa, porém no ano de 2008, 45% de sua área total estavam totalmente desmatados ou altamente degradados pela ação antrópica, o restante (55%) do território está coberto por florestas em diversos estágios de uso e conservação (SANTOS, et al., 2017). Além disso, os desmatamentos provocados pelo avanço da agropecuária e exploração madeireira na região reduziram, drasticamente, as grandes áreas cobertas pela floresta original, dominadas, hoje, por extensas áreas de Mata Secundária, (PIMENTEL et al., 2012).



**Figura 1:** Localização do Município de Paragominas incluindo a cena de estudo.

**Fonte:** IBGE/2015.



As três áreas avaliadas pertencem ao conjunto de várias áreas que compõe a UPA 15, objeto de estudo. A descrição da AUTEF, cedida pela SEMAS, diz que a área líquida autorizada é de 2.799 ha com intensidade de corte de 28,9106 m<sup>3</sup>/ha de madeira, o que corresponde a 80.949,8607 m<sup>3</sup>. A liberação da área ocorreu no ano de 2012 e tinha previsão inicial de encerrar em agosto de 2014, no entanto, por inconformidades apontadas pela SEMAS, a autorização foi cancelada em junho de 2014, indicando o encerramento das atividades exploratórias nesse ano.

### 3.2 Obtenção da Base de Dados

Utilizando as bases vetoriais cartográficas do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE, 2015), foram confeccionados os mapas de localização do município de Paragominas com delimitação da cena de estudo e das áreas analisadas.

Para acesso às bases da Autorização para Exploração Florestal-AUTEFs, foi utilizado o sistema de consulta pública por meio do Sistema Integrado de Monitoramento e Licenciamento Ambiental – SIMLAM que segundo a SEMAS, “tem como objetivo, disponibilizar, para o público em geral, o acompanhamento dos

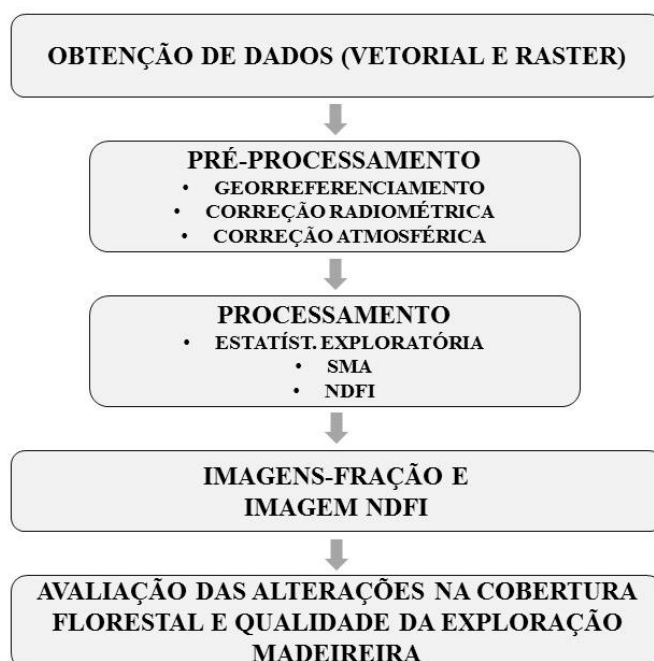
processos e das atividades licenciadas para estabelecer transparência e eficiência à política ambiental (SEMAS, 2015)”.

Para análise da cobertura florestal e intensidade das alterações na qualidade da exploração madeireira, foi utilizada a imagem do satélite Landsat 8 sensor *Operational Land Imager-OLI* órbita e ponto 223-62 de 27 julho de 2013. A imagem foi adquirida no período de baixo índice pluviométrico e menor cobertura de nuvens o que possibilita a melhor análise da imagem.

### 3.3 Processamento e análise dos dados

A metodologia do estudo foi dividida em etapas. No fluxograma (Figura 2) pode-se observar as principais etapas relativas à metodologia do estudo. O primeiro passo foi aplicar o pré-processamento da imagem, objetivando reduzir as distorções geométricas e interferências nos valores digitais dos pixel's, mantendo a integridade das respostas espectrais mais próximo ao estado real. Em seguida, o processamento das imagens consistiu na extração e análise dos valores espectrais contemplando a estatística exploratória de dados, em seguida a aplicação do SMA para obter as imagens-fração da vegetação verde, vegetação não fotossinteticamente ativa, solos, sombra. Por seguinte, foi aplicado o agrupamento das imagens-fração e composição da imagem de abundância em NDFI. Isso permitirá a visualização dos indicadores de alteração florestal e qualidade da exploração nas áreas de extração madeireira seletiva, tais como, estradas e pátios de estocagem, entre outras.

**Figura 2:** Fluxograma de distribuição das etapas aplicadas na metodologia.



Nas etapas seguintes foram coletadas amostras de controle ou *region of interest* para obtenção das médias das respostas espectrais do conjunto de pixels coletados, o objetivo é determinar o comportamento espectral das áreas exploradas. Por fim, foi feita a análise e interpretação dos indicadores de alteração florestal incluindo a caracterização dos modelos de exploração aplicados (Exploração convencional-EC e Exploração de Impacto Reduzido-EIR). A seguir foram discriminadas as principais etapas envolvidas na metodologia do trabalho.

### 3.3.1 Pré-processamento das imagens

Foi utilizada a cena do ano de 2013, oriunda da plataforma landsat 8 sensor *Operational Land Imager-OLI* referente ao mês de julho. A imagem foi georreferenciada, utilizando polinômio de primeiro grau e interpolação por vizinho mais próximo para realocação dos níveis de cinza, com base em uma imagem georreferenciada disponível na plataforma *United States Geological Survey - USGS* chamada de imagem GEO-COVER, apresentando erro médio quadrático ou *Root Mean Square-RMS* inferior a 0,7 de deslocamento por pixel. Em seguida, a correção radiométrica da imagem permitiu a conversão do valor digital ou radiância para valores de reflectância, com base na quantidade de energia electromagnética que passa através ou é emitida a partir de uma área em particular.

Chander & Markham (2003) observam que é vantajoso transformar os valores de radiância para reflectância, porque o efeito produzido pelo ângulo zenital do sol devido à diferença horária pode ser reduzido, isso minimiza as diferenças nos valores de irradiação solar extra-atmosférica decorrentes de diferentes bandas espectrais, calculada pela expressão:

$$\rho_P = \frac{\Pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{E_{SUN\lambda} \cdot \cos \theta_s} \quad eq. 1$$

Onde,

$\rho_P$  = Reflectância planetária sem unidade,

$L_\lambda$  = Radiância para banda espectral  $\lambda$  na abertura do sensor ( $W/m^2/\mu m/sr$ ),

$d$  = distância Terra-Sol em unidades astronômicas,

$E_{SUN\lambda}$  = irradiações exoatmosféricas solares médias ( $W/m^2/\mu m$ ),

$\theta S$  = ângulo zenital solar em graus.

Para uso na plataforma landsat 8 com sensor OLI a calibração radiométrica é aplicada por uma relação linear entre a radiância espectral e o número digital-ND. Esta função linear é descrita e aplicada por Brizuela et al., (2007), considerando três parâmetros fundamentais (eq. 2): a gama de valores no ND imagem, irradiância inferior ( $L_{min}$ ) e radiação mais elevado ( $L_{max}$ ). Em geral, os dados são distribuídos em formato de 16 bits o que corresponde ao gradiente de 65.536 níveis de cinza. Chander & Markham (2003) descrevem que o  $L_{min}$  é a radiação espectral correspondente ao valor mínimo ND (normalmente 0).  $L_{max}$  é a radiação correspondendo ND valor máximo (normalmente 65.536). A conversão do ND para reflectância é feita por meio da equação:

$$L = (L_{max} - L_{min} / N_{bits}) \cdot ND + L_{min} \quad eq. 2$$

O brilho  $L$  é expresso em  $W m^{-2} sr^{-1}$ .

Por fim, a aplicação da correção atmosférica com base nos metadados pelo módulo *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes-FLAASH*, permite a correção dos valores digitais na imagem minimizando os efeitos aditivos ou redutivos nos pixels. Para chegar a uma imagem de reflectância, deve-se converter os valores digitais para radiância e em seguida calcular a reflectância, segundo os princípios da equação 03 (MENESES et al., 2012). Para isso há necessidade de se saber os valores da irradiância no momento em que a imagem foi tomada. Meneses et al. (2012) comentam que há complexas formulações matemáticas (Eq. 03) que possibilitam fazer essa conversão de valores digitais e estão embutidos nos algoritmos de processamento de imagens para correção atmosférica.

$$L_{sensor} = \frac{\rho ET}{\Pi} + L_{atm} \quad eq. 3$$

Onde,

$L_{sensor}$  = radiância total medida no sensor

$\rho$  = reflectância do alvo

$E$  = irradiância sobre o alvo

$T$  = transmitância da atmosfera

$L_{atm}$  = radiância (aditiva) da atmosfera

Ao final do pré-processamento, foi aplicado o SMA e NDFI, conforme descrito no fluxograma (Figura 02). Essa etapa é fundamental para criação de resultados consistentes com a área estudada.

### 3.3.2 Processamento da Imagem

#### 3.3.3 Spectral Analysis Mixture – SMA

As imagens multiespectrais, como da série Landsat, permitem a obtenção e estimativa dos valores de abundância, utilizando as próprias imagens, pois quando são conhecidas as respostas espectrais é possível estimar as proporções de componentes puros, nesse sentido o inverso também se faz realidade, como dito por Shimabukuro (1998), “quando as respostas espectrais são conhecidas, então a proporção de componentes puros pode ser gerada dentro de cada pixel”.

Nesse contexto, Shimabukuro et al. (1998) comentam que a “relação linear é usada para representar a mistura espectral dos componentes dentro do elemento de resolução do sensor. Assim, a resposta de cada pixel, em qualquer banda espectral, pode ser definida como uma combinação linear das respostas de cada componente, desde que esteja no alvo sensoriado. Desse modo, cada pixel da imagem, pode assumir qualquer valor dentro da escala de cinza, contendo informações sobre a proporção e a resposta espectral de cada componente dentro de cada elemento de resolução”. Por isso, a estimativa de que a resposta de um pixel em cada banda espectral é a combinação linear ponderada das respostas espectrais dos componentes selecionados. O fator de ponderação é dado pela fração da área do pixel ocupada pelo respectivo componente (*endmember*) (MENDONÇA, 2016).

As respostas espectrais  $R_k$  e  $r_{j,k}$  podem ser expressas em termos de refletância espectral, radiância espectral ou valor digital, nesse caso foram consideradas as respostas de refletância espectral (MENDONÇA, 2016). O SMA foi aplicado nas bandas espectrais dos sensores OLI b1- aerossol costeiro; b2-azul; b3- verde; b4- vermelho; b5-infravermelho próximo; b6- infravermelho médio (1.57 – 1.65); b7- infravermelho médio (2.11 – 2.29), para gerar os quatro componentes principais: vegetação verde, vegetação seca, solo e sombra. A fração solo ressalta as áreas com abundância de solo exposto; a fração vegetação verde assemelha-se aos índices de

vegetação, ressaltando o vigor de biomassa verde, enquanto que a fração de vegetação seca expressa o comportamento da vegetação danificada na exploração florestal, por fim a fração *sombra* resalta os valores com baixa refletância espectral.

O SMA permite o processamento de imagem para uso da informação espectroscópica de uma ampla gama de sensores. É flexível para uma variedade de aplicações e fornece um quadro constante de referência, a partir do qual é plausível fazer interpretações quantitativas de mudanças biofísicas no espaço e tempo (USTIN et al., 1993). Elmore et al. (2000) dizem que “o SMA se baseia no conceito de que a proporção relativa de alguns componentes espectralmente distintos é o que domina a variância em uma determinada cena remotamente detectada. Por isso, a distinção entre as respostas espectrais dos diferentes componentes favorece a discriminação dos principais componentes avaliados, tais como; frações de abundância  $V_v$ ,  $V_s$ , solo e sombra, idem como descrito por Ferreira et al. (2015), onde o modelo de SMA assume que os espectros de imagem são formados por uma combinação linear de  $n$  espectros puros, de tal modo que:

$$R_b = \sum_{i=1}^n F_i R_{i,b} + \varepsilon_b \quad eq. 04$$

$$\sum_{i=1}^n F_i = 1 \quad eq. 05$$

Onde;

$R_b$  é a reflectância na banda  $b$ ,  $R_{i,b}$  é a reflectância para endmember  $i$ , na banda  $b$ ,  $F_i$  a fração de endmember  $i$ , e  $\varepsilon_b$  é o erro residual para cada banda. O modelo de SMA de erro é estimado para cada pixel da imagem, podendo ser calculado por:

$$RMS = \left[ n^{-1} \sum_{b=1}^n \varepsilon_b \right]^{1/2} \quad eq. 06$$

Souza Jr et al. (2005) comentam que a identificação da natureza e número de puros espectros (ou seja, endmembers) na imagem é imperativo para uma aplicação bem-sucedida de modelo SMA, do qual quatro tipos de *endmembers* são esperados em ambientes florestais degradados, conforme já citado.

O modelo de mistura espectral SMA foi aplicado usando os endmembers estimados na própria imagem por meio do aplicativo *IMG TOOLS 1.0*. As imagens-fração foram avaliadas e interpretados com base em inferência estatística e distribuição espacial.

### 3.3.4 Índice Normalizado de Diferença de Fração - NDFI

Após concluir o processamento pelo MLME e SMA, os produtos gerados são utilizados para compor a imagem de abundância, baseada em pixel's puros, que define-se como sendo um produto em NDFI. Ferreira et al. (2015) comentam que a abundância de solos gerados nas imagens é usada para determinar as áreas de pátio de estocagem, estradas e ramais de acesso, enquanto que a abundância de vegetação verde e não fotossinteticamente ativa é utilizada para determinar o grau de impacto causado pela exploração madeireira, ressaltando-se que a fração de vegetação é normalizada para eliminar o efeito de sombra. Sendo assim, SOUZA Jr et al. (2005) citam que a partir das imagens-fração foi possível gerar a imagem representativa do NDFI dado pela equação:

$$\text{NDFI} = \frac{\text{GV}_{\text{Shade}} - (\text{NPV} + \text{Soil})}{\text{GV}_{\text{Shade}} + \text{NPV} + \text{Soil}} \quad \text{eq. 07}$$

$$\text{GV}_{\text{Shade}} = \frac{\text{GV}}{100 - \text{Shade}} \quad \text{eq. 08}$$

Onde;

$\text{GV}_{\text{shade}}$  = imagem-fração de *green vegetation-GV* ou vegetação verde normalizada à sombra,

$\text{GV}$  = imagem-fração de vegetação verde

$\text{NPV}$  = *vegetation not photosynthetically active*

$\text{Soil}$  = imagem-fração de solo

$\text{Shade}$  = imagem-fração de sombra

O NDFI varia de -1 (pixel com 100% de solo exposto) a 1 (pixel com > 90% com vegetação florestal). Dessa forma, tem-se uma imagem contínua, contendo a transição de áreas desmatadas, passando por florestas alteradas, até florestas sem sinais de alterações (FONSECA et al., 2015).

A amostragem para análise das imagens-fração foi feita a partir de polígonos amostrais por meio da ferramenta *rois*, no *Envi 4.5*, que são amostras poligonais de um arquivo raster, onde cada uma é formada por um polígono com abrangência de 04 x 04 ou 03 x 03 pixels, considerando o mínimo amostral. SOUZA Jr et al. (2005) descrevem que são coletadas amostras espacializadas e sobrepostas às áreas com sinais de exploração florestal, por isso, os resultados obtidos estarão dentro dos intervalos de interesse, que podem ser: baixo, intermediário e de alta intensidade de alteração na cobertura florestal, conforme mostrado a seguir. A eq. 3 é usada para determinar intervalo de resposta espectral na exploração madeireira, sendo a principal fórmula de caráter qualitativo.

$$\text{GADF} = (\text{média} \cdot (\text{amostra1} + \text{amostra2} + \text{amostra3} + N_{\text{amostras}})) / 100 - 1 \quad \text{eq. 09}$$

Onde;

GADF = Grau de Alteração no Dossel Florestal;

média = média das médias das respostas espectrais para cada região de interesse (*rois*);

amostra<sub>1,2,3,Namostras</sub> = média das respostas espectrais para *N* coletas (*rois*).

Os intervalos descritos na portaria da SEMAS para os intervalos de NDFI são:

I – Baixo:  $\text{NDFI} \geq 0,90$ ;

II – Intermediário:  $0,85 \leq \text{NDFI} \leq 0,89$ ; e

III – Alto:  $\text{NDFI} \leq 0,84$ .

Para o cálculo do tamanho mínimo da amostra - TMA, nas três áreas avaliadas, utilizou-se a amostragem estratificada (área 01 e 03) que, segundo Queiroz (2012), consiste em dividir uma população de tamanho *N* em *L* subpopulações constituídas de  $N_1, N_2, \dots, N_L$  unidades, tal que não haja superposição e, juntas, totalizem a população de tamanho *N*. Enquanto que para área 02 a amostragem foi aleatória, devido à homogeneidade local.

As subpopulações, denominadas estratos, devem ter os valores  $N_h$  conhecidos, pois dentro de cada estrato, separadamente, seleciona-se uma amostra de tamanho  $n_h$ . A grandeza amostral para a população será igual:  $n = n_1 + n_2 + \dots + n_L$ . Consecutivamente, na área 01 há 4.117 pixels na área total divididos em 4 quadrantes; Quad. I com 940 pixels, Quad. II com 810 pixels, Quad. III com 765 pixels e Quad. IV com 1503 pixels; na área 02 há 804, enquanto que na área 03 há 2.675 pixels totais divididos em 2



quadrantes; Quad. I com 1438 pixels e Quad. II com 1278 pixels, a divisão em quadrantes favorece a descrição e caracterização das áreas, visto que diminui a variabilidade com fenômeno estudado. A determinação dos estratos é feita em função das características locais da população florestal. Por outro lado, existem casos em que a delimitação dos estratos (tipos florestais) só é possível por meio de levantamentos aerofotogramétricos (QUEIROZ, 2012).

### **3.4 Estatística Descritiva e/ou Exploratória de Dados**

A estatística descritiva pode ser considerada como um conjunto de técnicas analíticas utilizado para resumir um conjunto dos dados recolhidos numa dada investigação, que são organizados, geralmente, por meio de números, tabelas e gráficos. Para tal, deve-se evidenciar: valor mínimo, valor máximo, soma dos valores, contagens, média, moda, mediana, variância e desvio padrão (MORAES, 2005).

A inferência estatística consiste em fazer generalizações sobre uma população com base nos dados amostrais. Nesse contexto, todo o processo de inferência resume-se na estimação por intervalo e testes de hipóteses de parâmetros populacionais (CIRILLO; FERREIRA, 2003). Presume-se na maioria das vezes, em ambos procedimentos, que os dados sejam provenientes de uma população normal, porém as áreas avaliadas nesse estudo não provêm de distribuição normal, fato que permite a aplicação de estatísticas não-paramétricas. Sendo assim, a utilização de testes estatísticos como meio de inferir sobre a população é necessária, dentre os quais está o teste de Kruskal-Wallis, teste não-paramétrico, aplicado quando  $N_{\text{tratamentos}}$  for maior que 2.

A escolha do teste que o pesquisador julga apropriado é feita sob vários aspectos, tais como: poder do teste, controle da taxa do erro e principalmente sobre as suposições que individualmente cada teste apresenta (CIRILLO; FERREIRA, 2003).

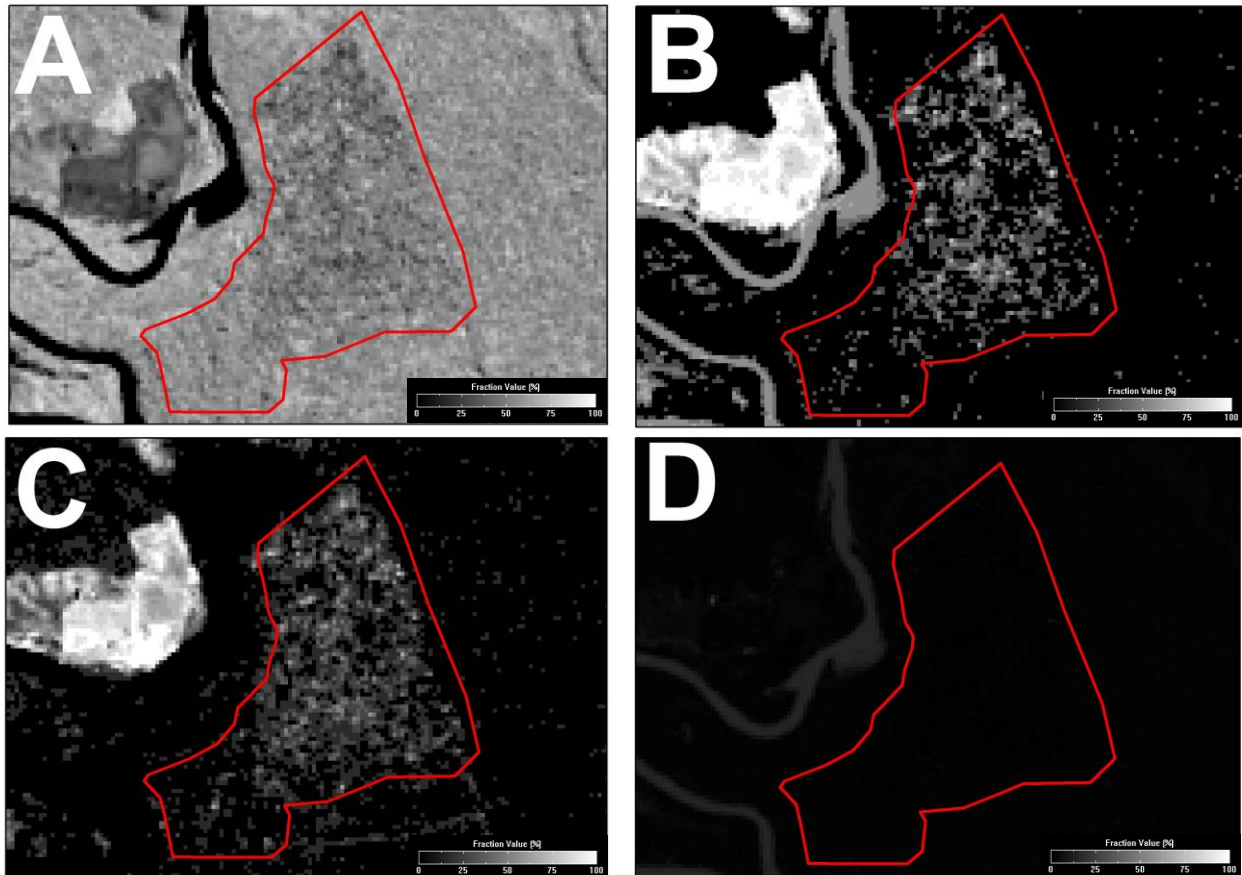
## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Identificação da exploração florestal, por meio do SMA, com análise da intensidade das alterações no dossel florestal.**

A aplicação do SMA não somente permitiu a identificação do cenário exploratório, como também demonstrou capacidade de estimar frações de abundância em cada área submetida à análise, respectivamente área 01, área 02 e área 03. O produto gerado tem gradiente em escala de cinza, onde a presença do componente está associada

aos pixels claros e a ausência aos pixels escuros. Na Figura 3 estão as imagens-frações obtidas após a estimativa do SMA.

**Figura 3:** Imagens-fração para a **área 01**, geradas por meio do SMA, onde a imagem (A) corresponde a abundância de Vegetação verde, (B) abundância de Vegetação não-fotossinteticamente ativa, (C) abundância de solo e (D) abundância de sombra.



Na área 01 (Figura 3) é possível detectar a presença de pixels claros indicando a presença dos principais componentes estudados. Nessa situação, a considerável presença de vegetação não fotossinteticamente ativa (vegetação seca) é indicativo de danos à área explorada. De modo geral, é visto a ausência de padrões espaciais na distribuição de trilhas de arraste e pátios de estocagem.

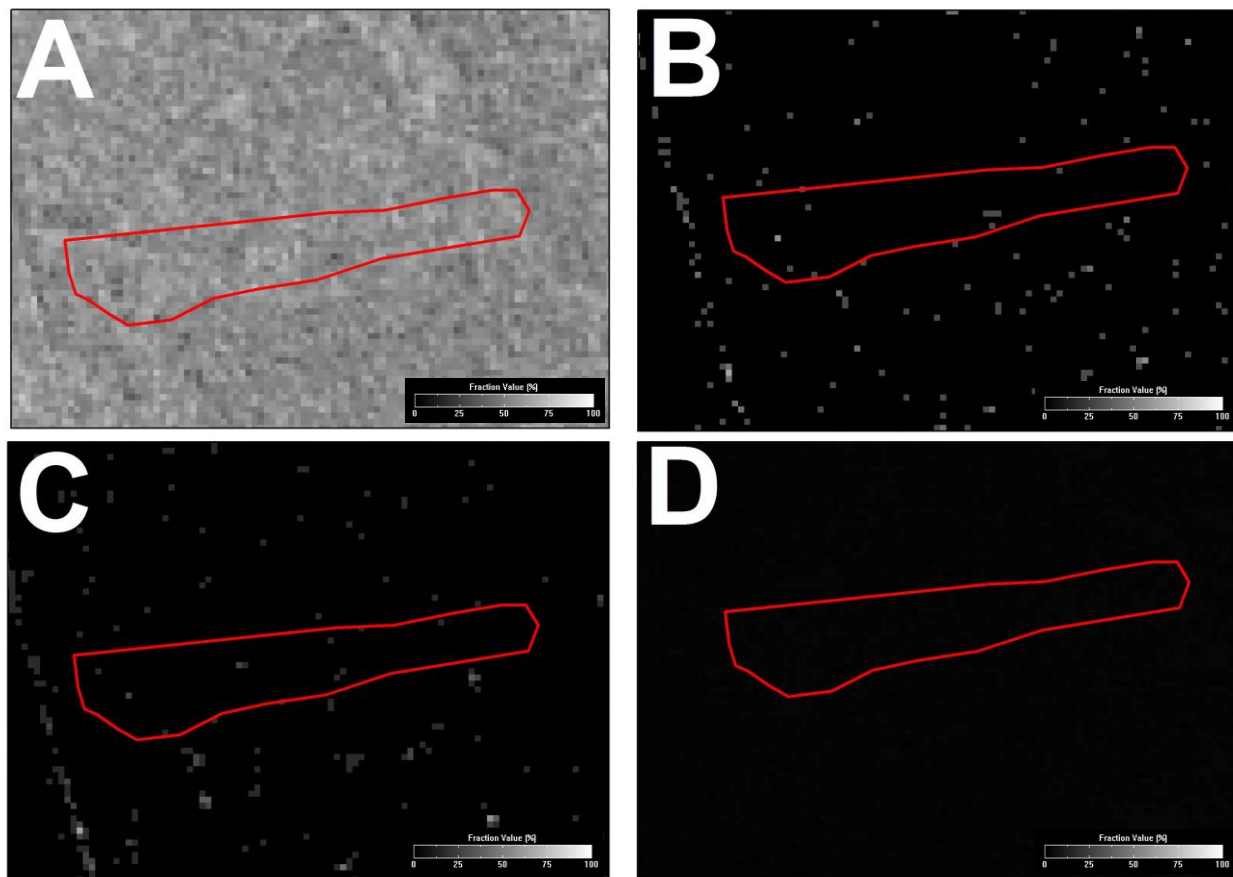
Uma característica notável é observada nas Figuras 3.B e 3.C, onde há expressiva concentração de pixels das frações de abundância da vegetação seca e solo, respectivamente. Essas frações são indícios característicos de práticas exploratórias de madeira. De modo geral, o cenário observado a partir da estatística descritiva (Tabela 1), mostra as principais características obtidas das áreas 01,02 e 03.

**Tabela 1:** Estatística descritiva dos valores digitais obtidos por meio do NDFI para as áreas 01, 02 e 03.

Estatísticas	Área 1	Área 2	Área 3
Mínimo	161	183	76
Média	191,89	197,56	195,53
Mediana	192	198	196
Máximo	199	199	199
Desvio Padrão da Média	0,0746	0,0644	0,0907
Desvio Padrão	4,7894	1,8255	4,6919
Variância	22,94	3,33	22,01
Coefficiente de Variação	0,025	0,009	0,024

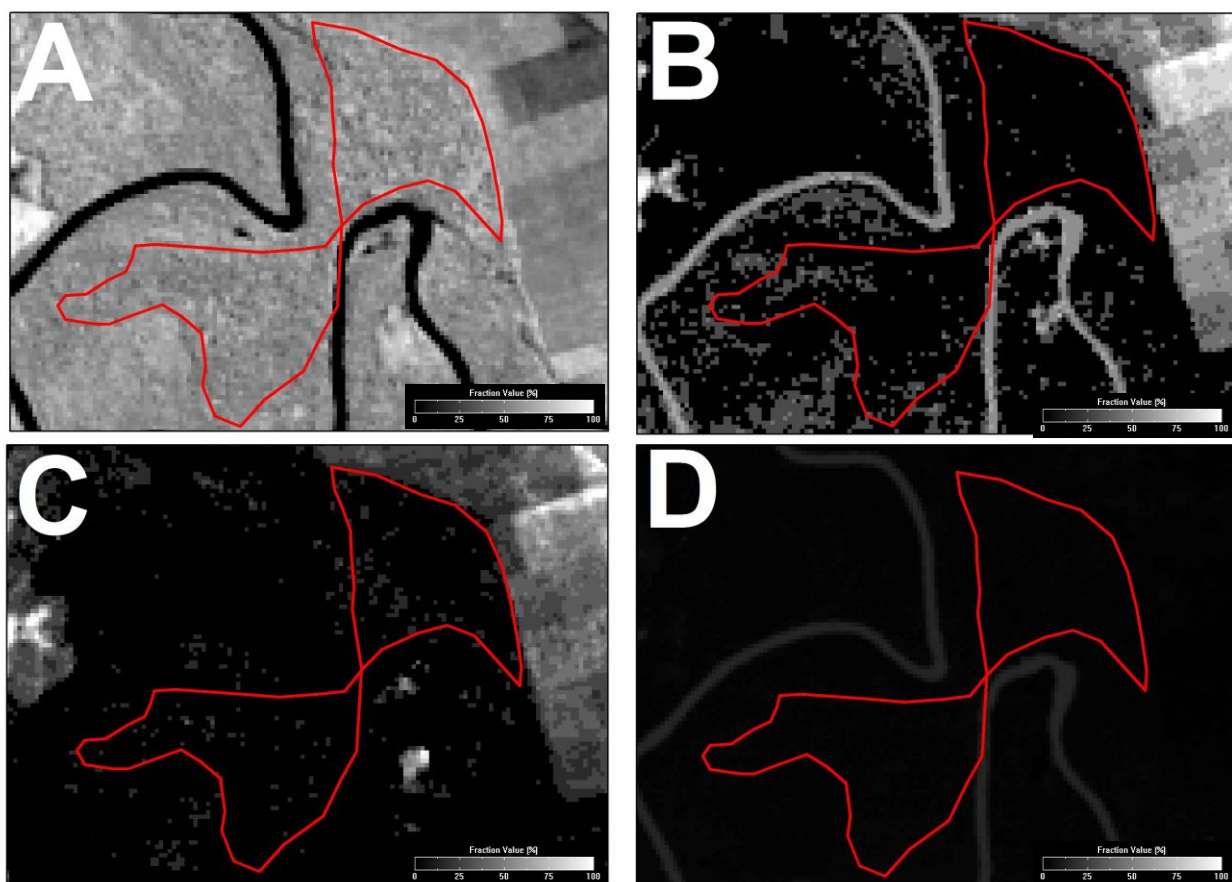
Na tabela 1, ressalta-se a variância de 22,94 para área 01, 3,33 para a área 02 e 22,01 para a área 03. Esse comportamento pode estar relacionado com a variação de pixels distintos no interior das áreas 01 e 03, indicando, a priori, heterogeneidade no comportamento do fenômeno exploratório.

Além disso, para compreender o comportamento da exploração florestal, por imagens de satélite, é necessário discriminar os principais componentes intrínsecos a esses ambientes, tais como, as imagens-fração de cada abundância (Figura 4).

**Figura 4:** Imagens-fração para a **área 02**, geradas por meio do SMA, onde a imagem (A) corresponde a abundância de Vegetação verde, (B) abundância de Vegetação não-fotossinteticamente ativa, (C) abundância de solo e (D) abundância de sombra.

Para esse cenário, é visto que nas cenas observadas na Figura 4.B e Figura 4.C não houve consideráveis variações nos tons de pixels claros, no interior da área. Esse comportamento sugere que pode ter ocorrido uma exploração madeireira sem grandes impactos destrutivos sobre o dossel florestal ou a intensidade planejada para ser explorada (volume m<sup>3</sup>) pode não ter sido, efetivamente, explorada em campo. Em qualquer das situações, o que se descreve é que, pela caracterização feita pelo SMA, não foi possível detectar variações intensas de pixels de abundâncias de vegetação seca e solo exposto, principais indicadores de alterações no ambiente florestal. Na área 01, comparando as imagens da Figura 3.B **com** Figura 3.C, há indicativos de mínima intensidade de exploração madeireira nesse local. Uma situação distinta é observada na Figura 5.

**Figura 5:** Imagens-fração para a **área 03**, geradas por meio do SMA, onde, a imagem (A) corresponde à abundância de Vegetação verde, (B) abundância de Vegetação não-fotossinteticamente ativa, (C) abundância de solo e (D) abundância de sombra.



A identificação dos impactos sobre o dossel florestal foi perceptível à medida em que cada imagem gerada consta de frações presentes em um ambiente exploratório,

formado, principalmente, por clareiras abertas por consequência da queda das árvores, trilhas de arraste, estradas principais e secundárias e por pátios de estocagem. Esse conjunto de impactos foi descrito por Uhl et al. (1991) e Veríssimo et al. (1992), que comentam que “em regiões de exploração intensiva, como em Paragominas no nordeste do Pará, trinta árvores com DAP  $\geq 10$  cm foram danificadas para cada árvore extraída, provocando uma perda de 40% a 47% do dossel e uma abertura de 663 m<sup>2</sup> por árvore explorada”, o conjunto de árvores danificadas é parte fundamental deste estudo, uma vez que, a componente vegetação seca está na avaliação do NDFI.

Uma das descrições feitas para esses ambientes revelaram valores de coeficiente de variação-cv de 0,025 (área 01), 0,009 (área 02) e 0,024 (área 03). Andriotti (2003) comenta que o “cv. permite identificação de regularidade ou homogeneidade local”, não transparecendo alta variabilidade numérica. Nesse caso, as imagens-fração foram capazes de caracterizar os ambientes de exploração florestal. Essa observação é validada, pois a presença de pixels claros presume o cenário exploratório.

#### 4.2 Análise do grau de alteração no dossel florestal nas áreas 01,02 e 03

É notável a variação no gradiente de NDFI (Figuras 6, 7 e 8) que inicia impactos da exploração madeireira. O teste de Kruskal-Wallis mostrou diferenças significativas nas imagens-fração e no NDFI para cada área quando comparadas entre si. Dessa forma, na Tabela 2, o NDFI calculado para as três áreas indica baixo nível de alteração no ambiente exploratório.

**Tabela 2:** Valores de NDFI para as três áreas avaliadas, conforme o intervalo indicado pela SEMAS-PA.

Áreas	NDFI	Nível de Alteração Florestal
Área 01 - Quadrante I	0,91	Baixo
Área 01 - Quadrante II	0,90	
Área 01 - Quadrante III	0,92	
Área 01 - Quadrante IV	0,92	
Área 02	0,91	
Área 03 - Quadrante I	0,95	
Área 03 - Quadrante II	0,96	

Gerando resultados de 0,90 a 0,96 no NDFI, nota-se que valores de NDFI são baixos, remetendo a práticas exploratórias de baixa intensidade. Ao considerar os intervalos propostos pela SEMAS-PA, todas as áreas, incluindo cada quadrante, tem qualidade da exploração madeireira alta, refletindo diretamente na interpretação geral da

exploração florestal, haja visto que por meio dessas observações, o quadrante II (área 01) mesmo estando no mesmo intervalo de qualidade, está no limite para mudança de classe. Em perspectiva, há tendências do quadrante II (área 01) em reduzir de classe e consequentemente diminuir sua qualidade de exploração, porque o limite da classe de baixo impacto é de 0,90.

A comparação pelo teste de Kruskal-Wallis (Tabela 3) expõem as diferenças significativas que existem nas áreas em relação às variáveis estudadas.

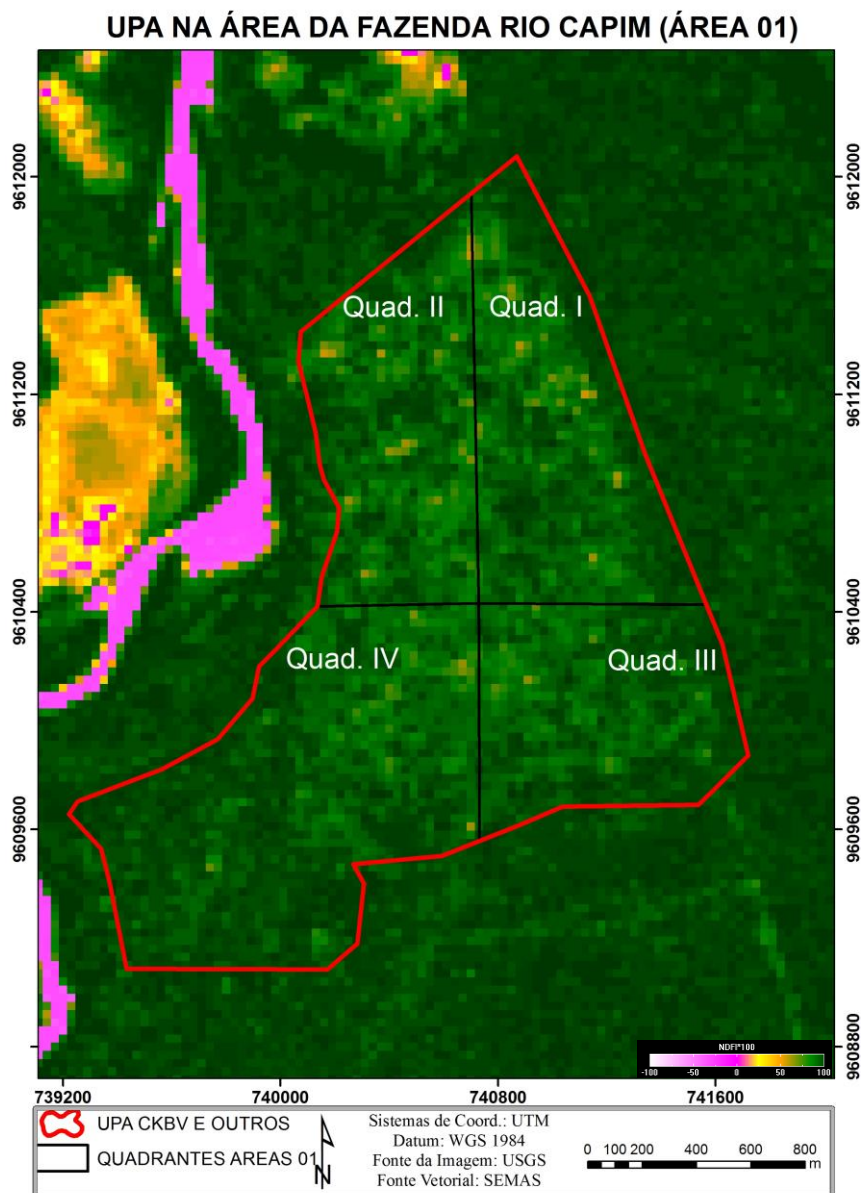
**Tabela 3:** Comparação de Rank pelo teste de Kruskal-Wallis.

Áreas	VG	NPV	SOIL	SOMBRA	NDFI
Área 1	4659,23 <b>a</b>	4515,42 <b>a</b>	4982,57 <b>a</b>	4843,55 <b>a</b>	6132,74 <b>a</b>
Área 2	4471,67 <b>b</b>	3176,20 <b>b</b>	2668,12 <b>b</b>	4632,20 <b>b</b>	4718,37 <b>b</b>
Área 3	3193,02 <b>c</b>	2197,85 <b>c</b>	1496,19 <b>c</b>	3052,72 <b>c</b>	2745,45 <b>c</b>

**Nota:** As médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal-Wallis a 95% de probabilidade.

Nessa situação, frações fundamentais como *Soil* e *NPV* têm comportamentos distintos, favorecendo a fotointerpretação do fenômeno exploratório, uma vez que há distinção entre esses componentes ao nível de significância de 95% pelo teste de Kruskal-Wallis. Nesse contexto rejeita-se  $H_0$ , dadas as condições em que o NDFI permite a discriminação entre as áreas avaliadas. Porém, nesse quesito, apesar de diferirem estatisticamente nas imagens-fração, não há diferenças quanto ao grau de alteração no dossel, como visto na Tabela 2. Entretanto, Sabogal et al. (2006) descrevem que a maioria das operações florestais ainda ocasiona degradação, principalmente, em florestas amazônicas. As imagens em NDFI (Figuras 6, 7 e 8), ressaltam os resultados obtidos.

**Figura 6:** Imagem em NDFI, mostrando a variação no gradiente de cores (verde e alaranjado).



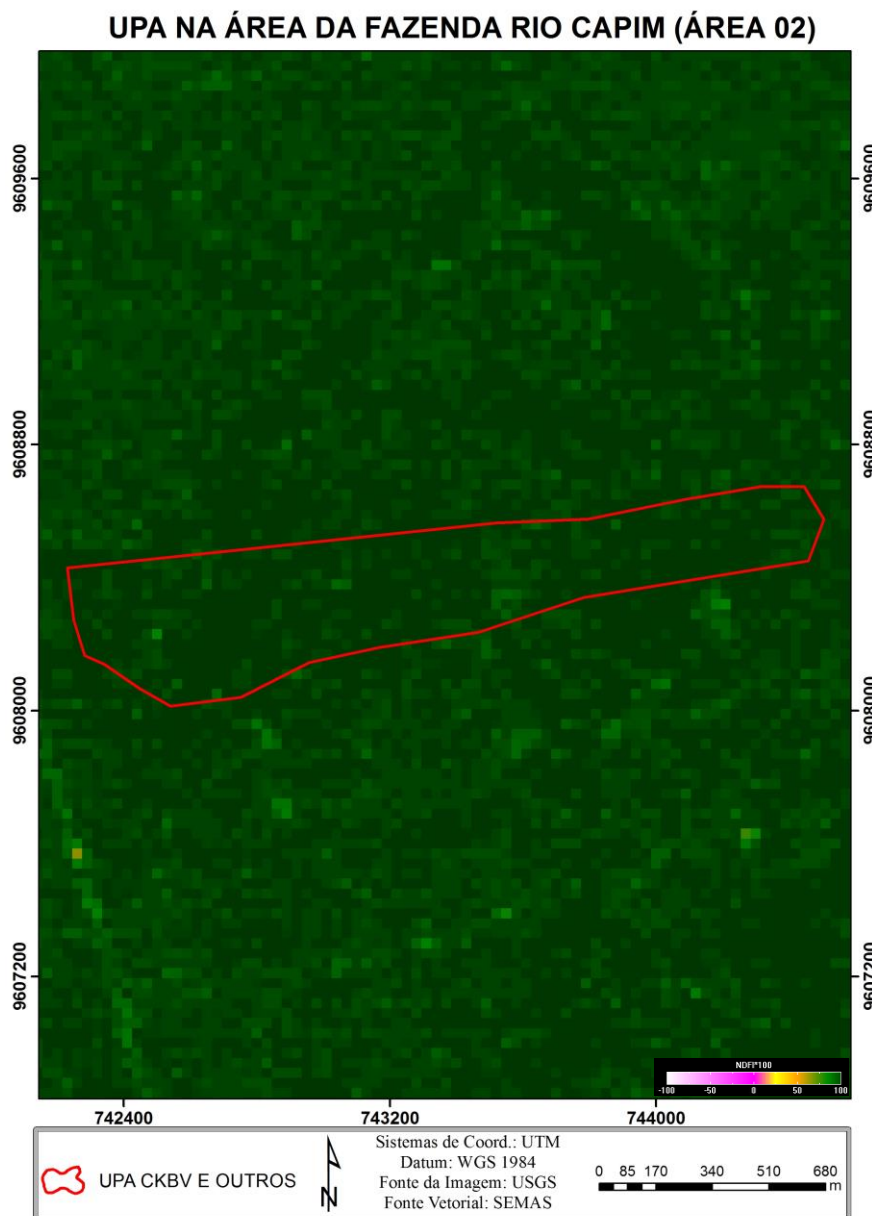
Para o quadrante-quad. I e II na área 01 (Figura 6) há perdas na componente vegetação verde no dossel florestal, caracterizada pela tonalidade dos pixels alaranjados. Essa intensidade ocorre, principalmente, por danos às árvores exploradas e as que estão ao seu entorno, denotando maior interferência no ambiente natural e indicando maior nível de alterações. Gomes et al. (2004) apontam que “para a região de Paragominas, foi constatado que o manejo está sendo usado apenas para satisfazer as exigências legais, não ocorrendo de fato, pois a execução é falha e não atende à legislação vigente nem ao programado nos projetos, no geral, a atividade madeireira na região é puramente

extrativista”. Esse contexto, faz referência a práticas exploratórias que perpetuam desde o início ao setor madeireiro local.

Após a exploração as árvores danificadas perdem pigmentos essenciais à resposta espectral da vegetação verde, por isso, é um forte indicativo do quanto houve de impactos além das árvores exploradas. Os quad. III e IV (Figura 6) tiveram qualidades semelhantes às demais áreas. No decorrer da aplicação do SMA foi visto elevada concentração de pixels de solo exposto e vegetação seca, indicando uma possível redução na qualidade da exploração de madeira, no entanto, quando o NDFI é baixo, a intensidade das alterações nesses ambientes também é mínima. Nesses cenários, presume-se que houve, pelo menos, o mínimo de planejamento efetivo para execução da exploração madeireira, reduzindo os impactos da abertura de estradas secundárias e primárias, pátios de estocagem e impactos nas quedas das árvores, conforme se observa na Figura 7.



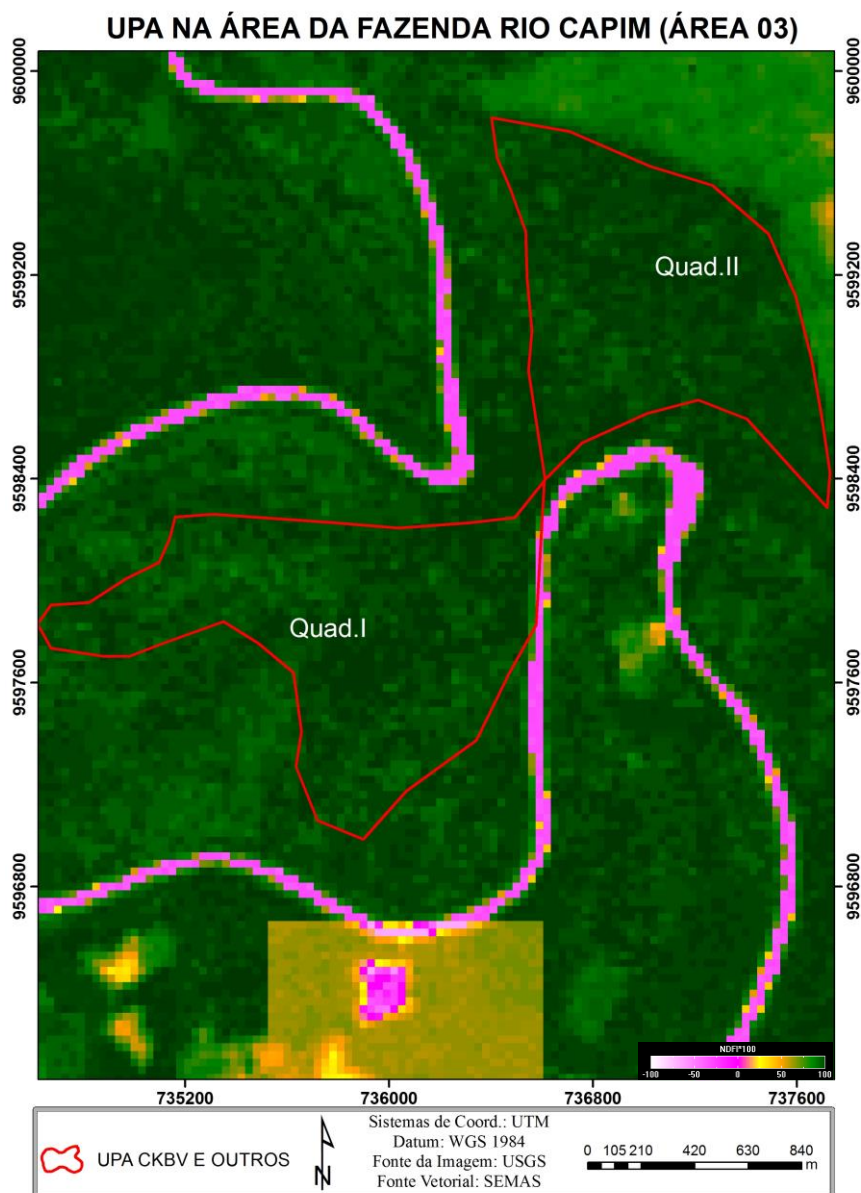
**Figura 7:** Imagem em NDFI para a área 02, com variações de cores somente nos tons de verde.



Para o cenário observado na área 02 (Figura 7), as alterações no dossel florestal foram tão intensas quanto ao quad. I da área 01, apesar de apresentar valores de NDFI baixos, cerca de 0,91. A área em questão não tem fortes alterações no seu interior, com presença de pixels alaranjados, mas mesmo assim não obteve o maior valor de NDFI dentre as três. Ferreira et al. (2015) comentam que em ambientes com essas características há consistência espacial para presumir que houve “boa qualidade na prática da exploração florestal com estradas, trilhas e pátios de estocagem que não podem ser facilmente distinguíveis por imagens de satélite na resolução espacial de 30m x 30m, tampouco os ramais de arraste, indicando planejamento prévio da exploração

valendo-se das técnicas de Exploração de Impacto Reduzido-EIR”. Situação semelhante pode ser observada na área 03 (Figura 8).

**Figura 8:** Imagem em NDFI para a área 03, caracterizando variações de cores no interior da área.



Na área 03 quad. I e II (Figura 8) observam-se indicativos de exploração madeireira com variações, apenas, nos tons de verde, porém, sem expressividade. Isso pode explicar o maior valor de NDFI dentre as três áreas avaliadas, conseqüentemente menor nível de alteração no dossel florestal. Na maioria das explorações florestais, ainda, é complexo descrever o tempo hábil para informar “quanto tempo após a exploração madeireira ocorre a detecção da vegetação seca”. Souza Jr et al. (2005)

comentam que “a detecção e mapeamento de danos ao dossel florestal, quando a exploração madeireira é praticada por métodos não mecanizados, gera baixos danos sobre o dossel florestal”; fato distinto à avaliação das áreas neste estudo, porém o comportamento das alterações florestais foi análogo aos impactos por explorações não mecanizadas. E essa recorrência incide na baixa atividade de exploração na área 03.

Devido à previsão de corte de 28 m<sup>3</sup>/ha, percebe-se que no interior das áreas 02 e 03 não há fortes indicativos de alteração no dossel florestal. Inicialmente (ano de 2014) o NDFI era utilizado para fins de monitoramento de áreas exploradas sem autorização da SEMAS e que são passíveis de Autorização Prévia a serem exploradas novamente. Já no ano de 2015, o NDFI passou a complementar como item de descrição da área para Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFS, tornando-se um forte elemento complementar na avaliação dos impactos recorrentes na exploração madeireira. Na área 01, apesar de não ter NDFI alto, não são vistos padrões de espacialização dos pátios de estocagem e trilhas de arraste, como visto por Ferreira et al. (2015) ao avaliar áreas exploradas no município de Paragominas. Da mesma forma as áreas 02 e 03 não apresentam padrões espaciais da exploração florestal, no entanto não são claros padrões, comuns, vistos durante e/ou após exploração.

Mesmo não ocorrendo esses padrões, presume-se, por NDFI, que nas áreas, objetos desse estudo, podem estar sendo realizadas práticas de manejo florestal sustentável, ressaltando contraposições (estatisticamente observadas), ao apresentarem diferenças entre si, mas que com o uso do NDFI, os resultados indicaram baixo nível de alteração no dossel florestal para as três áreas.

## **5. CONCLUSÃO**

O NDFI, durante a exploração madeireira, pode indicar variações no dossel florestal, porém nas condições locais não mostrou sensibilidade para qualificar o grau de alteração no dossel florestal (GADF). Isso pode ser explicado pela necessidade de detecção da vegetação seca, que no caso, ainda está em processo de consolidação quando observadas as condições climáticas em florestas tropicais.

## 6. REFERÊNCIAS

- ANDREOLI C. V.; ANDREOLI, F.N.; PICCININI, C.; SANCHES, A. L. Biodiversidade: a importância da preservação ambiental para manutenção da riqueza e equilíbrio dos ecossistemas. **Coleção Agrino**, p. 450. 2009.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística remoto**. São Leopoldo-RS: Editora Unisinos, 2012. 165 p.
- AVIZ, R.; ALBAGLI, S. Desenvolvimento sustentável, informação e comunicação: o caso Paragominas. **Enancib**, p. 1695, 2013.
- BARROS, A. C.; VERÍSSIMO, A. **A expansão madeireira na Amazônia: impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará**. 2 ed. Belém-Pa, 2002. 156 p.
- BRIZUELA, A.; AGUIRRE, C.; VELASCO, I. Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. **Ciudad Autónoma de Buenos Aires**. Argentina, 2007.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on geoscience and remote sensing**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.
- CIRILLO, M. A.; FERREIRA, D. F. Extensão do teste para normalidade univariado baseado no coeficiente de correlação quantil-quantil para o caso multivariado. **Rev. Mat. Estat**, v. 21, n. 3, p. 67-84, 2003.
- ELMORE, A. J.; MUSTARD, J. F.; MANNING, S. J.; LOBELL, D. B. Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index. **Rev. Remote sensing of environment**, v. 73, n. 1, p. 87-102, 2000.
- FERREIRA, B. M.; RIBEIRO, E. G. P.; PEREIRA, B. W. F.; PINHEIRO, P. F. V.; MACIEL, M. N. M. Imagens orbitais na análise da degradação florestal e qualidade do manejo em áreas de exploração no município de Paragominas-pa. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11 n. 21; p. 3151-3165, 2015.
- FONSECA, Antônio, et al. Boletim do desmatamento da Amazônia Legal (janeiro de 2015) SAD. **Boletim Técnico do Imazon**, Belém-PA, p. 09, 2015.
- GOMES, A. P. C.; SOUZA, NETO, A. L.; J. A. A. M. Alteração Estrutural de uma área florestal explorada convencionalmente na bacia do Paraíba do Sul, Minas Gerais, nos domínios de floresta atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.3, p. 407-417, 2004.
- HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C.; SILVA, M. R. P.; ROCHA, R. M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Revista Floresta**, v. 34, n. 3, 2004.

HIRAI, E. H.; CARVALHO, J. O. P.; PINHEIRO, K. A. O. Comportamento populacional de cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.) em floresta de terra firme na fazenda rio Capim, Paragominas (PA). **Revista Ciências Agrárias**, n. 47, p. 89-101, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010. **Mapeamento topográfico das unidades territoriais**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

**Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística - IBGE: Base Cartográfica**; Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>>. Acesso em: 15 de dez. 2015.

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE**: Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 22 abr. 2016.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução português 2 Ed. Parentese Editora. São José dos Campos SP, 2009. 598p.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; LUCHIARI, A. O Processamento das Imagens HRG-SPOT 5 na determinação de classes de uso da terra e manchas de cobertura vegetal na Região de Teodoro Sampaio-Pontal do Paranapanema. **Rev. GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, n. 15, p. 127-136, 2006.

MEIRELLES FILHO, J. Amazônia; o que fazer por ela? São Paulo, Editora Nacional, 1986, 86 p. (Coleção Portas abertas, vol. 7). In: \_\_\_\_\_. **O livro de ouro da Amazônia; mitos e verdades sobre a região mais cobiçada do Planeta**. Rio de Janeiro, Ediouro, 2004, 397 p.

MENDONÇA, J. C. Mapeamento das áreas de cana-de-açúcar na região norte fluminense, por uso de técnicas de sensoriamento remoto. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 3, p. 561-571, 2011.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; ROSA, A. N. C. S.; SANO, E. E.; SOUZA, E. B.; BAPTISTA, G. M. M.; BRITES, R. S. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. e-book, Brasília: UNB/CNPq, 2012. 165 p.

MORAIS, Carlos. **Escalas de medida, estatística descritiva e inferência estatística**. Instituto Politécnico de Bragança-IPB, 2005. Disponível em: <<http://www.ipb.pt/~cmmm/conteudos/estdescr.pdf/>>. Acesso em: 22 set. 2016.

PACHECO, J. J.; PALHETA, M. V. O.; JÚNIOR, R. N. F. C.; COSTA, S.V.; TOSTES, W.S. Estatística Municipal de Paragominas. Governo do Estado do Pará, **Boletim Técnico**, 2011.

PIMENTEL, A. R. C.; PACHECO, J.J.; JÚNIOR, R. N. F. C.; TOSTES, W.S.; PALHETA, M. V. O.; RIBEIRO, S.O. Estatística Municipal de Paragominas. Governo do Estado do Pará, **Boletim Técnico**, 2012.

QUEIROZ, W. T. Amostragem em Inventário Florestal. Manual Técnico. Universidade Federal Rural da Amazônia, **Edufra**, 441p. 2012.

SABOGAL, C.; LENTINI, M.; POKORNY, B.; SILVA, J.M.N; ZWEEDE, J.; VERÍSSIMO, A.; BOSCOLO, M. Manejo empresarial na Amazônia brasileira. Belém: **CIFOR**, p 174, 2006.

SANTOS, E. M.; SANTOS, F. A. A.; GOMES, M. V. C. N.; SANTOS, V. C.; NEVES, R. R. Análise espacial das ações do programa “municípios verdes”: Estudo de caso no município de Paragominas- PA. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 11, n.1, p.21-35, jan-dez, 2017.

SEMAS. Instrução Normativa IN 05, de 10 de setembro de 2015. **Diário Oficial do Estado do Pará**, Poder Executivo, Belém, PA, 11 set. 2015. p. 37-57.

SEMAS. Portaria Nº 063/2014-GAB/SEMA, de 15 de Janeiro de 2014. **Diário Oficial do Estado do Pará**, Poder Executivo, Belém, PA, 16 jan. 2014. Caderno 6, p. 1.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE – SEMAS. Base Documental de AUTEFs; Disponível em: < <https://www.semas.pa.gov.br>>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2016.

SHIMABUKURO, Y. E.; NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 13, p. 1729-1737, 1998.

SHIMABUKURO, Y. E.; PONZONI, F. J. **Mistura Espectral: Modelo Linear e Aplicações**. Oficina de Textos, São Paulo: 2017. 15-25 p.

SOUZA, C. M.; ROBERTS, D. A.; COCHRANE, M. A. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Rev. Remote Sensing of Environment**, v. 98, n. 2, p. 329-343, 2005.

SOUZA JUNIOR, C. M.; SIQUEIRA, J. V. N. Img Tools: a software for optical remotely sensed data analysis. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, SBSR. **Anais...** 13 a 18 de abril de 2013. Foz do Iguaçu, PR, Brasil. p. 15771-1578.

STEEL, R. G.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and procedures of statistics a biometrical approach**. 2 ed. Australia: McGraw-Hill Companies, 1997. 672 p.

UHL. C; VERÍSSIMO, A.; MATIOS, M.M.; BRANDINO, Z.; VIEIRA. J.C.G. Social, economic, and ecological consequences of selective logging in an Amazon frontier: the case of Thailand. **Forest ecology and management**. v. 46. p.243-273, 1991.

USGS: **United States Geological Survey**. Disponível em:< <https://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 04 de abril de 2016.

USTIN, Susan L.; SMITH, Milton O.; ADAMS, John B. Remote sensing of ecological processes: A strategy for developing and testing ecological models using spectral mixture analysis. **Scaling physiological processes: Leaf to globe**, p. 339-357, 1993.

VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; MATIOS. M.; TARIFA. R.; UHL. C Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas. **Forest ecology and management**, v.55, p.169-199. 1992.

VILELA, M. F.; SOARES, V. P.; ADUAN, R. E.; FILHO, E. I. F.; PEREIRA, R. A.; RIBEIRO, C. A. A. S. Uso de imagens orbitais como base de dados para projetos de reforma agrária. **Revista Árvore**, v.29, n.4, p.627-638, 2005.

WATRIN, O. S.; ROCHA, A. M. A. Levantamento da vegetação natural e do uso da terra no município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/LANDSAT. Belém: Embrapa - CPATU, **Boletim de Pesquisa**, p. 40, 1992.

WU, C. Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+ imagery. **Rev. Remote Sensing of Environment**, v. 93, n. 4, p. 480-492, 2004.