

## Detecção de padrões espaciais ligados à exploração florestal madeireira na Amazônia Legal: o caso da COOMFLONA, na Floresta Nacional do Tapajós

Rodrigo Rafael Souza de Oliveira<sup>1</sup>  
Marília Gabriela Lopes da Silva<sup>1</sup>  
Igor da Silva Narvaes<sup>1</sup>  
Tássio Franco Cordeiro<sup>1</sup>  
Dalton Morisson Valeriano<sup>2</sup>  
Alessandra Rodrigues Gomes<sup>1</sup>  
Marcos Adami<sup>1</sup>  
Lucas José Mazzei de Freitas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro Regional da Amazônia – INPE/CRA  
Caixa Postal 2651 - 66077-830 - Belém - PA, Brasil  
{rodrigo.oliveira, marilia.lopes, igor.narvaes, tassio.cordeiro, alessandra.gomes,  
marcos.adami}@inpe.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Caixa Postal 1758 - 12227-010 – São José dos Campos - SP, Brasil  
dalton@dsr.inpe.br

<sup>3</sup> Embrapa Amazônia Oriental  
Caixa Postal 48 - 66095-100 – Belém - PA, Brasil  
lucas.mazzei@embrapa.br

**Abstract.** For the protection of Amazon forest remnants, it is fundamental to know how the processes of forest exploitation occur. In this sense, it is necessary to formulate methodologies that aim at the optimization and accuracy of the mappings related to the selective cutting of forest individuals for commercial purposes. Thus, this work presents the results obtained through the application of the mapping methodology developed in DETEX project, allied to geotechnology and geostatistical methods, aiming at the identification of forest exploitation patterns related to wood selective cutting in COOMFLONA of 2013, 2014 and 2015. According to the results, logging began in 2013 with the installation of storage and infrastructure yards in the north of the area, demonstrating that the applied technique was effective in mapping the area's exploration dynamics. Subsequently, the infrastructure was installed towards the south of the area, followed by exploration. Finally, in 2015 one can see that the exploration activities were concentrated in the south of the area. During the analyzed period, results related to the spatial autocorrelation values of the Moran Local Index, as well as the surface map of forest exploitation density by interpolation by the Kernel method, showed an intense dynamics related to the implantation of storage yards and road infrastructure of forest exploitation.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, autocorrelation space, selective logging, sensoriamento remoto, processamento de imagens, autocorrelação espacial, manejo florestal.

### 1. Introdução

O Corte Seletivo (CS) de madeira na Região Amazônica é recorrente ao longo de todo o seu processo histórico de ocupação, ganhando intensidade com a implantação dos eixos rodoviários e com as políticas de colonização do governo federal, desde meados da década de 60, destacando-se a abertura da Rodovia Transamazônica e Rodovia Cuiabá-Santarém, que proporcionaram grande importância no contexto regional, a medida que concentraram maior volume de fluxos de transportes, pessoas, serviços e produtos (Homma et al, 1998).

Na busca por formas alternativas para a mitigação dos impactos ocasionados pela exploração madeireira, diversos estudos têm sido realizados com objetivo de detectar, mensurar, qualificar e estimar a pressão desta atividade no ambiente (Asner et al., 2009; Peres et al., 2006). Entretanto, os métodos desenvolvidos para esta finalidade têm encontrado

entraves, especialmente pela complexidade na identificação dos padrões resultantes da exploração, onde a abertura de pequenas clareiras na estrutura do dossel florestal, sob influências de iluminação solar podem fazer com que as características apresentadas pelo ambiente não sejam percebidas quando não utilizado instrumentos adequados (Souza Junior et al., 2005; Asner et al., 2009).

Associados às Geotecnologias, os métodos estatísticos se constituem enquanto ferramentas eficazes na identificação de correlações existente entre variáveis (dados) constituintes de Banco de Dados Geográficos, auxiliando a análise espacial, a exemplo do método de Regressão Espacial Linear, que é uma ferramenta estatística utilizada para determinar como duas ou mais variáveis se relacionam, tal que uma variável possa ser explicada (variável dependente) pela outra ou outras (variáveis independentes). E assim, estimar a função que determina a relação entre elas, possibilitando a previsão de valores futuros para a variável dependente (Lesschen et al., 2005).

As metodologias que integram técnicas de estatística espacial foram desenvolvidas no intuito de identificar regiões onde a distribuição dos “eventos”, e seus respectivos valores, apresentam um padrão específico que associado a sua localização geográfica. A informação que se busca é quanto determinado evento é semelhante ao seu vizinho mais próximo e diferente do seu vizinho distante. Neste trabalho, foram utilizadas duas técnicas de estatística espacial que nos fornecem Indicadores Locais de Autocorrelação, mais especificamente o Índice Local de Moran, onde cada evento mapeado terá um determinado valor de dependência espacial. Ressalta-se que, o Indicador de Associação Espacial Local Moran (li) (Anselin, 1994) explora o grau de dependência espacial a partir de uma estimativa de segunda ordem, ou seja, a covariância espacial entre os agrupamentos.

Corroborando para esta metodologia de mapeamento, Luz et al. (2013) definiram parâmetros para distinguir as formas de exploração seletiva de madeira ocorrentes na Amazônia. Com isso, estabeleceram dois padrões distintos, sendo: o Corte Seletivo Regular - CSR, caracterizado por formas geométricas regulares, onde estas feições distinguíveis na imagem são formadas por aberturas no dossel para instalação de pátios temporários para armazenamento de toras de árvores exploradas, com simetria uniforme ao longo de estradas secundárias na floresta. E, Corte Seletivo Convencional - CSC, pois não apresenta uniformidade geométrica, possuindo pátios temporários distribuídos de forma aleatória, ocasionando abertura desuniforme do dossel da floresta, e conectadas às estradas não simétricas. Este último, é associado a aberturas importantes no dossel da floresta e consequentemente com ações mais impactantes.

Assim, com o objetivo de mapear e encontrar um padrão espacial ligado a organização da exploração florestal, foram aplicados métodos de análises estatísticas espaciais aliadas às geotecnologias, visando à otimização do mapeamento automatizado, através da identificação de padrões de exploração relacionados ao Corte Seletivo de madeira na COOMFLONA, tendo como recorte temporal o período de 2013 a 2015.

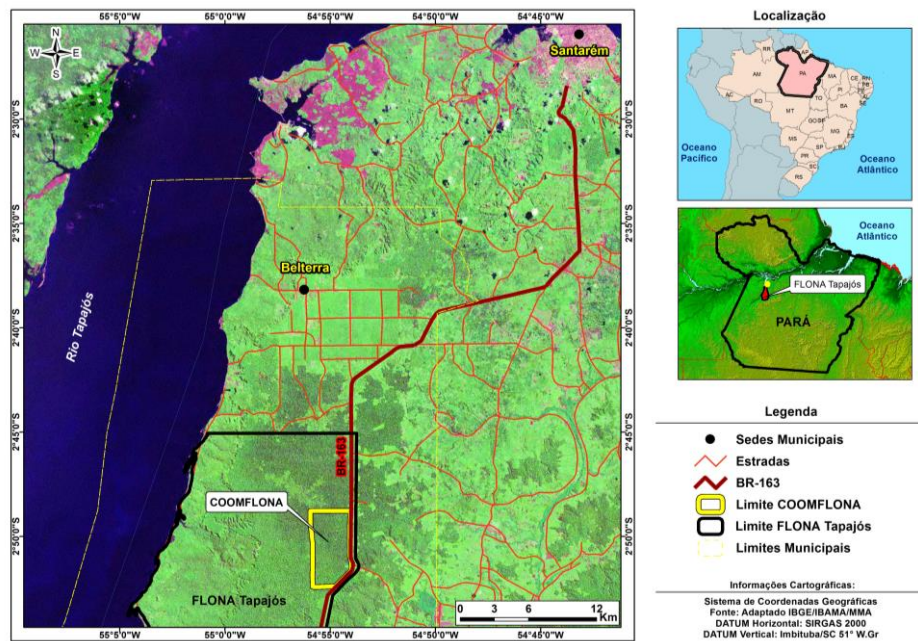
## **2. Metodologia de Trabalho**

### **2.1 Área de Estudo**

Como recorte de análise foi selecionada área da Unidade de Manejo Florestal da Cooperativa Mista da FLONA do Tapajós – COOMFLONA explorada entre os anos de 2013 a 2015, que está localizada na Floresta Nacional do Tapajós no Município de Belterra, Mesorregião do Baixo Amazonas no Estado do Pará, a uma latitude 02° 50' 14.351" sul e longitude 54° 55' 2.647" oeste, distante cerca de 65 km do município de Santarém (Figura 1).

No que tange aos recursos florestais têm forte destaque as espécies arbóreas nativas de maior ocorrência como: o jatobá, o ipê, o jacarandá, o cedro, a maçaranduba, o tauari, o

angelim, a itaúba, além das espécies de uso não madeireiro como o cumaru, piquiá, andiroba, copaíba, dentre outras.



**Figura 1:** Mapa de Localização da Unidade de Manejo Florestal da COOMFLONA explorada entre 2013 e 2015, no interior da FLONA Tapajós.

## 2.2 Materiais e Métodos

Foi elaborado um banco de dados geográfico na plataforma do *Software TerraAmazon 4.6.2* (FUNCATE, 2016), contendo tanto dados vetoriais das bases cartográficas, limites da COOMFLONA, etc, quanto as imagens de sensor *Operational Land Imager – OLI* do satélite *Landsat 8*, na composição colorida 4R, 5G e 6B, para os anos de 2013, 2014 e 2015, visto que este período compreende o início e fim da exploração florestal nesta parte da Unidade de Manejo Florestal. Estas imagens foram obtidas gratuitamente com correção atmosférica no web site do *United States Geological Survey - USGS* (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Ressalta-se que, estas imagens são disponibilizadas com processamento prévio, com ajustes nos dados de reflectância no topo atmosférica *Top Of Atmosphere – TOA*, para tal, é necessário converter os valores dos números digitais (NDs) em radiância no topo da atmosfera e, a partir desses dados, gerar um novo conjunto de dados de reflectância de superfície.

### 2.2.1 Fusão de Bandas Espectrais e Modelo Linear de Mistura Espectral

Foi realizada a técnica de fusão de imagens utilizando o método *Pansharpened*, sendo criadas imagens em falsa cor, vermelho-verde-azul (RGB), com resolução espacial de 15m no intuito de melhorar a discriminação das feições de exploração florestal detectadas na imagem.

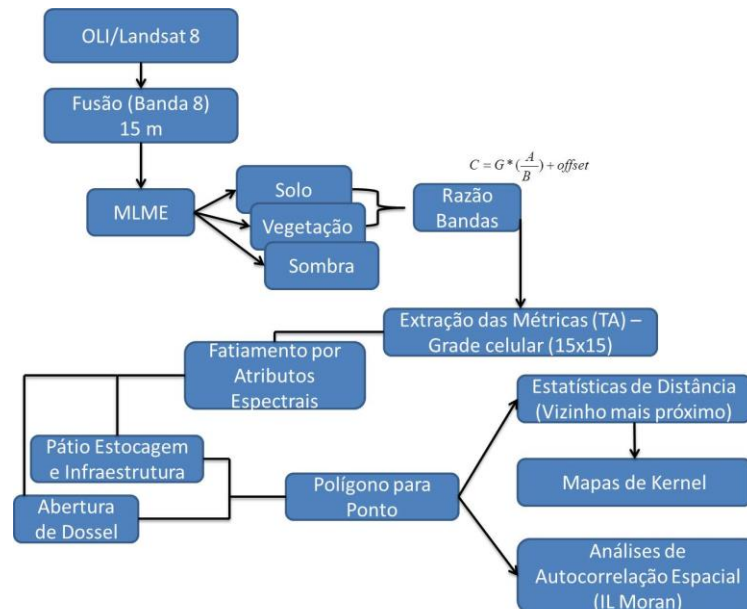
Posteriormente, foram gerados os Modelos Lineares de Mistura Espectral - MLME (Shimabukuro e Smith, 1991) das imagens 2013, 2014 e 2015. Neste processamento, são extraídos os pixels puros (*edmembers*), onde são gerados os padrões das curvas espectrais para os elementos homogêneos de vegetação, solo e sombra, a fim de melhor contrastar as respostas dos pátios de estocagem e infraestrutura de exploração, já que este método potencializa a visualização do brilho dos elementos de resolução (*pixels*) de solo exposto na vegetação alterada. Como resultado do MLME, foram obtidas as imagens-fração referentes ao solo, vegetação e sombra (PONZONI *et al.*, 2012).

Por fim, foram realizadas operações aritméticas de razão entre as imagens-fração solo e vegetação entre as imagens de cada ano analisado (Equação 1). Esta operação visa realçar as

feições de interesse, ou seja, as áreas de solo exposto, conforme proposto por Valeriano (2006), onde é aplicado valores de ganho: 90 e *offset*: 50 (Figura 2).

$$C = G * \left(\frac{A}{B}\right) + offset \quad (1)$$

Onde: C= Imagem resultante; G (Fator de ganho)= 90; *offset* = 50; A= Fração solo; B= Fração vegetação



**Figura 2:** Proposta metodológica para o mapeamento de padrões de exploração madeireira.

### 2.2.2 Extração das Métricas e Fatiamento por Atributos Espectrais

Visando a realização das análises estatísticas relacionadas às respostas espectrais dos alvos analisados, foram realizadas as extrações das seguintes métricas das bandas espectrais de cada ano, divididos em métricas espaciais (Tabela 1)

**a) Spatial:** Area, Perimeter, Compacity, Roundness, Elongation, Number of holes, Count of Pixels, Mode; **b) Spectral:** Minimum, Maximum, Sum, Range, Median, Variance, Mean e; **c) Texture:** STD, Correlation, Contrast, Entropy, Energy, Dissimilarity e Homogeneity.

As análises das métricas permitiram realizar a identificação da resposta espectral dos alvos analisados, para posteriormente individualiza-los através do fatiamento.

O método do fatiamento é aplicado em uma banda espectral e, consiste em dividir o histograma da imagem em faixas de níveis de cinza, sendo atribuídas de forma que elas apresentem o mesmo intervalo de níveis de cinza, ou que contenham o mesmo número de pixels, ou ainda, podem apresentar intervalos variáveis. Os pixels que apresentam valores dos níveis de cinza dentro de uma mesma faixa têm atribuída uma mesma classe específica.

Portanto, nesta etapa foram individualizadas através do fatiamento as classes que representam os pátios de estocagem de madeira e as infraestruturas instaladas na área da COOMFLONA. A partir desses dados, pode-se gerar uma matriz de proximidade entre esses dois “eventos”, para posteriormente realizar as análises estatísticas.

### 2.2.3 Estatística de distância e análise de autocorrelação espacial

Para realizar as estatísticas de distância foi necessário converter os polígonos, que foram gerados no fatiamento, para pontos (centróides), e conseqüentemente tendo sido gerado uma matriz de proximidade espacial.

Desta forma, para estimar a variabilidade espacial de dados, uma ferramenta básica utilizada é a matriz de proximidade espacial, também chamada matriz de vizinhança. Dado um conjunto de  $n$  elementos  $\{A_1, \dots, A_n\}$ , construímos a matriz  $W(1)$  ( $n \times n$ ), onde cada um dos elementos  $w_{ij}$  representa uma medida de proximidade entre  $A_i$  e  $A_j$  (Getis e Ord, 1992).

A matriz de proximidade é utilizada em cálculos de indicadores na fase de análise exploratória dos dados espaciais ou outras análises disponíveis no *software TerraView 4.1.0* (INPE, 2010). Como seu cálculo é um procedimento custoso e pode ser feito de acordo com vários critérios, o *TerraView* permite o seu armazenamento no banco de dados, sendo que desta forma, a mesma matriz pode ser usada em diferentes análises, evitando seu cálculo diversas vezes e obtendo-se eficiência. Neste sentido, foram extraídas em tabelas as distâncias euclidianas entre os pátios de estocagem e infraestrutura, para os anos de 2013, 2014 e 2015.

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & w_{44} \end{bmatrix}$$

Onde:  $w_{ij}$  = Distância euclidiana do objeto  $i$  ao objeto  $j$ .

No que tange às análises de autocorrelação espacial, foram realizados testes no intuito de verificar a dependência espacial entre os elementos mapeados, ou seja, tanto os pátios de estocagem quanto as infraestruturas de exploração (estradas principais, estradas secundárias e ramais). Dentre os modelos testados, o que apresentou melhores resultados foi o Índice Local de Moran ( $I_i$ ), pois tal índice modela as variações espaciais em escala local com maior eficiência. Este índice é um dos modelos estatísticos mais difundidos para a verificação do grau de associação espacial entre um conjunto de dados, pois mede a autocorrelação espacial a partir do produto do desvio padrão em relação à média (Getis e Ord, 1992). Este índice parte da hipótese nula, ou seja, a de independência espacial entre o conjunto de dados ou elementos, se assim o for seu valor seria zero. No entanto, valores positivos (entre 0 e 1) indicam para correlação direta, e valores negativos (entre 0 e -1) correspondem a uma correlação inversa.

Para estimar a significância do Índice de Moran ( $I$ ) é necessário associar a este uma distribuição estatística, para tanto, duas abordagens são possíveis: a) Teste de pseudo-significância (experimento aleatório) e; b) Distribuição aproximada (hipótese da normalidade). O método mais comum é realizar o teste de pseudo-significância, onde são realizadas diferentes permutações dos valores de atributos associados aos dados mapeados, assim, cada permutação gera um novo arranjo espacial, e os valores destes são redistribuídos entre os elementos (Anselin, 1995). Portanto, como somente um dos arranjos corresponde à situação observada, pode-se construir uma distribuição empírica deste índice. Se o índice  $I$  efetivamente medido corresponder a um “extremo” da distribuição simulada, então trata-se de evento com significância estatística.

É importante ressaltar que, foi escolhido o Índice Local de Moran ( $I_i$ ), pois este se constitui enquanto uma estatística espacial, desenvolvida para quantificar o grau de associação espacial a que cada localização do conjunto amostral está submetida, em função de um modelo de vizinhança preestabelecido (Anselin, 1995). O  $I_i$  é um Índice Local de Associação Espacial (LISA), que indica porções territoriais de não estacionaridade, ou seja, não possuem média e variância constante no tempo, e identifica aglomerados (Clusters) com valores de significância semelhantes em torno de determinadas localizações. Assim, clusters com valores altos podem indicar altas probabilidades de haver alta correlação espacial, tanto em regiões com altos valores associados como com baixos valores associados.

Por fim, foram gerados os mapas de estimativa *Kernel* no *software TerraView 4.1.0*, sendo utilizada a distância entre os pátios de estocagem e infraestruturas. Estes mapas são

úteis para verificação do comportamento de padrões de pontos por meio de interpolação. O estimador de densidade *Kernel* desenha uma vizinhança circular ao redor da cada ponto da amostra, correspondendo ao raio de influência, e então é aplicada uma função matemática de 1, na posição do ponto, a 0, na fronteira da vizinhança. O valor para a célula é a soma dos valores *Kernel* sobrepostos, e divididos pela área de cada raio de pesquisa (Silverman,1986).

### 3. Resultados e Discussão

Os mapeamentos dos pátios de estocagem e infraestrutura associados aos métodos de análise estatística, por meio do Índice Local de Moran permitiram a obtenção de identificação da dinâmica de exploração, baseado no padrão de ocupação da área com exploração madeireira, na área de manejo florestal da COOMFLONA para os anos de 2013, 2014 e 2015.

De acordo com os resultados se inferiu que há uma dinâmica de exploração nos anos analisados, demonstrando que a exploração madeireira iniciou, no ano de 2013 com a instalação dos pátios de estocagem e infraestrutura no norte da área (Figura 2a). Os maiores valores de correlação do Índice Local de Moran – ILM (LMiIndex: 0,098472) indicam agrupamento alto e correlação direta com a instalação dos pátios e infraestrutura de exploração florestal.

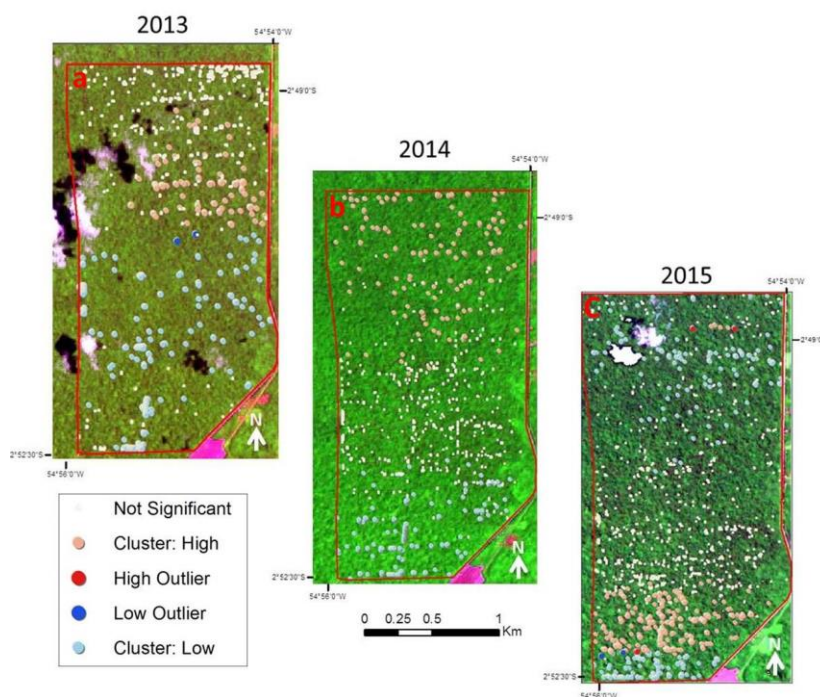


Figura 2: Mapas de agrupamentos (*Clusters*) com a espacialização do ILM ( $I_i$ ), para os pátios de estocagem e infraestrutura da COOMFLONA, anos de 2013, 2014 e 2015.

Posteriormente, em 2014, pode-se perceber uma dispersão dos pátios de estocagem e infraestrutura em direção ao centro-sul da área, levando a inferir que neste ano houve a abertura de infraestruturas de exploração florestal para a região central da área em evidência. Tal fato pode ser percebido, também, analisando o ILM, onde os seus valores indicaram alta correlação nos pontos dispersos na parte norte, e no centro da área (LMiIndex: 0,069946). No entanto, também houve uma correlação, mesmo baixa, na região sul (LMiIndex: 0,049752), indicando a implantação inicial de pátios de estocagem e de infraestrutura (Figura 2b).

No ano seguinte, em 2015, os resultados demonstram um maior adensamento dos pátios de estocagem e infraestrutura no extremo sul da área, apresentando alta correlação espacial com a atividade de exploração florestal. Confirmando assim, a abertura de pátios de estocagem e o adensamento da infraestrutura viária anteriormente verificada em 2014 nesta porção sul, e comprovada pelos valores do índice local de Moran: 0,083332 (Figura 2c).

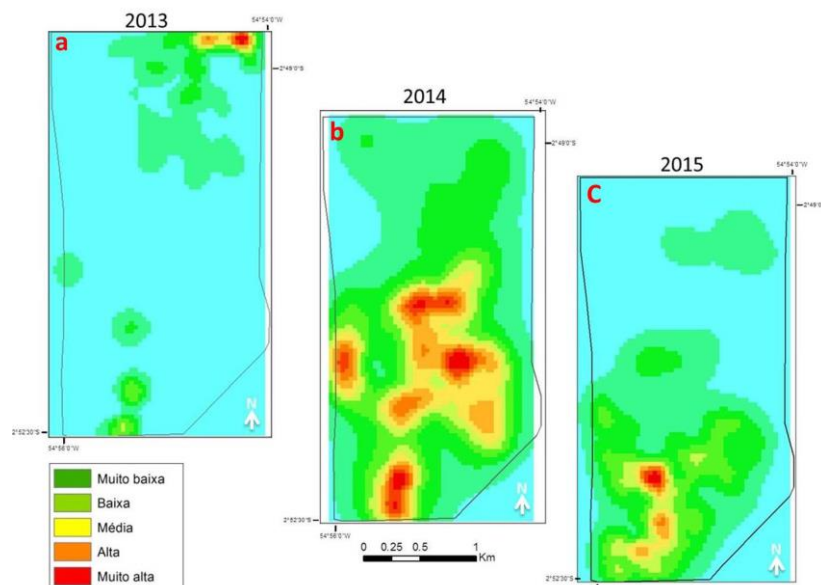


Figura 3: Mapas de Kernel mostrando o grau de densidade da distribuição espacial dos pátios de estocagem e infraestrutura, indicando a dinâmica da exploração florestal.

Os resultados dos adensamentos dos pontos, referentes ao mapeamento dos pátios de estocagem e infraestrutura permitiram, também, realizar o mapa de superfície de densidade de exploração florestal por interpolação pelo método de Kernel, dos dados referentes aos anos de 2013, 2014 e 2015 (Figura 3). Este mapa representa o produto de um método estatístico de estimação de curvas de densidade, onde neste método cada “evento” foi ponderado pela distância em relação a um valor central, o núcleo, sendo avaliados os valores da distância dos pontos detectados de infraestrutura e evidências de extração madeireiras.

Ressalta-se que, os mapas de Kernel apresentaram resultados similares aos produtos obtidos a partir do ILM, demonstrando uma dinâmica da exploração florestal na COOMFLONA, do norte para o sul, corroborando assim para as inferências descritas.

Diferentes metodologias para a detecção de áreas de exploração vem sendo propostas, utilizando tanto imagens de alta resolução, mais fáceis de detectar tais feições, como em Pinagé e Matricardi (2015), como em estudos utilizando imagens de média resolução (Asner et. al, 2009), porém estes não utilizam técnicas geoestatísticas associadas às geotecnologias para a identificação dos padrões de exploração florestal, nem de sua dinâmica ao longo do tempo.

#### 4. Conclusões

Durante este breve período analisado, os resultados alcançados mostraram que há eficácia na metodologia, visto que tanto os valores de autocorrelação espacial do ILM quanto os resultados obtidos a partir do mapa de superfície de densidade de exploração florestal por interpolação pelo método de Kernel demonstraram uma intensa dinâmica relacionada à implantação de pátios de estocagem e infraestrutura na área estudada.

Os *Clusters* de maior adensamento que representam os pátios de estocagem e infraestrutura de escoamento da produção florestal correspondem aos que obtiveram os maiores valores de ILM. Também foram encontrados *Outliers* para os agrupamentos de pontos, estes foram desconsiderados pois possuem uma amplitude muito grande com relação aos valores com significância estatística, estando relacionados a efeitos aleatórios.

A eficácia do método proposto foi considerada uma ferramenta útil na formulação de políticas públicas para a Amazônia Legal, pois é fundamental identificar as intervenções na floresta e seus padrões, principalmente os ocasionados pelo corte seletivo de madeira, visto

que esta atividade possui grande relevância no contexto amazônico e, caso este tipo de exploração não seja regida por um plano de manejo, podem ser propulsores de atividades que causem degradação florestal, podendo culminar no desmatamento por corte raso.

## 5. Referências

ACHARD, F.; EVA, H. D.; STIBIG, H.-J.; MAYAUX, P.; Gallego, J.; Richards, T.; Malingreau, J.-P. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. **Science**, v. 297, p. 999-1002, 2002.

ANSELIN, L. Local Indicators Of Spatial Association – LISA. **Geographical Analysis**. 1995; 27:93–115.

ASNER, G.P.; KNAPP, D.E.; BALAJI, A.; PÁEZ-ACOSTA, G. Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: Claslite. **Journal of Applied Remote Sensing**. v. 3, p. 1-24, 2009.

GETIS, A.; ORD, J.K. The analysis of spatial association by use of distance statistics. **Geographical Analysis**, 24: 206. 1992.

HOMMA, A. K. O. et al. Redução dos desmatamentos na Amazônia: política agrícola ou ambiental. In: HOMMA, A. K. O. **Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI; Belém: Embrapa-CPATU. p. 119-141. 1998.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Relatório PRODES 2008**. Disponível em: <[http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio\\_Prodes2008.pdf](http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf)>. Acesso em: Abril 2013.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TerraView 4.1.0**. São José dos Campos, SP: INPE, 2010. Disponível em: [www.dpi.inpe.br/terraview](http://www.dpi.inpe.br/terraview). Acesso em: dia/mês/ano.

LESSCHEN, J. P.; VERBURG, P. H.; STAAL, S. J. **Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems**. LUCC Report Series No. 7, Nairobi/Wageningen, The International Livestock Research Institute/LUCC Focus 3 Office, 2005, 80p.

LUZ N. C., BATISTA D.A.A., MAIA J. S., ADAMI M., GOMES A. R. Parámetros de exploración maderera para la detección de corte selectivo en imágenes de media resolución espacial En: **Latín American Remote Sensing Week (LARS) – Regional ISPRS Conference**, Santiago - Chile, 23-25 de octubre 2013.

PERES, C. A.; BARLOW, J.; LAURANCE, W. F. Detection anthropogenic disturbance in tropical forests. **TRENDS in Ecology and Evolution**, vol.21 n5 May 2006.

PINAGÉ, E. R.; MATRICARDI, E. A. T. Detecção da Infraestrutura para Exploração Florestal em Rondônia Utilizando Dados de Sensoriamento Remoto. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 377-390, 2015.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T.M. Sensoriamento Remoto da Vegetação. São José dos Campos, SP: **Oficina de Textos**. 2012, 176 p.

SOUZA JUNIOR, 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 Environment**. v. 98, p. 329-343, 2005.

FUNCATE - Fundação de Ciência e Tecnologia Espaciais. **TerraAmazon 4.4.1**, 2013. São José dos Campos. <http://www3.funcate.org.br/geo//available/wiki-v01-TerraAmazon/pmwiki.php/Downloads/Downloads> (06 Jun. 2016).

SILVERMAN, B. W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. Nova York: Chapman and Hall, 1986.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, p. 16-20, 1991.