



## IDENTIFICAÇÃO DOS PADRÕES ESPACIAIS DA CONVERSÃO DE ECOSISTEMAS A PARTIR DA DINÂMICA PRODUTIVA NA ZONA RURAL DE MOJU-PA, AMOZÔNIA ORIENTAL

Heriberto Wagner Amanajás Pena

### RESUMO

A expansão das atividades econômicas no município de Moju, analisadas entre 2000 e 2010, apresentou forte intensificação produtiva em diferentes zonas no meio rural, com distintas ocupações, e ao mesmo tempo grandes extensões de monocultura. Algumas culturas notadamente receberam mais investimentos, apoiadas pelos capitais internacionais e políticas públicas para atender o crescimento da demanda internacional. O comportamento expansivo das atividades para áreas de elevada fragilidades ambiental, o efeito substituição de culturas e principalmente o processo de conversão de ecossistemas foram analisados para compreender a dinâmica espacial do desflorestamento. As novas áreas incorporadas ao processo expansivo no período analisado; a identificação de espaços com predomínio de monocultura e as zonas de crescimento medidas em Km<sup>2</sup> das áreas produtivas dos principais determinantes do desflorestamento contribuíram para atingir o objetivo geral deste artigo. A análise supervisionada das imagens de satélite do tipo *SPOT* de resolução 2,5 mts e o cruzamento vetorial da evolução dos *shapes* de desflorestamento do INPE entre 2000 e 2010, empregando o *software SPRING 5.2* com auxílio de vários mapas temáticos permitiram a classificação e a identificação das classes, e o estabelecimento das principais zonas de conversões da meio rural, assim como explicarão, o avanço da cultura do dendê como a principal atividade no meio rural em áreas frágeis e a substituição de culturas com aceleradas alterações nos ecossistemas do município.

**Palavras-chave:** Classificação Supervisionada; *Pixel*; Imagens de Satélite; ArcMap10; Padrões Espaciais.

## ABSTRACT

The expansion of economic activities in the municipality of Moju analyzed between 2000 and 2010, showed strong enhancement in different productive zones in rural areas, with different occupations, while large areas of land. Some cultures were markedly more investment, supported by international capital and public policy to meet the growing international demand. The behavior of the expanding activities to areas of high environmental fragility, the substitution effect of cultures and especially the process of converting ecosystems were analyzed to understand the spatial dynamics of deforestation. The new areas incorporated into the expansive process in the period analyzed, identifying areas with a predominance of monoculture and areas of growth measured in km<sup>2</sup> of productive areas of the main determinants of deforestation contributed to achieving the overall goal of this article. Supervised analysis of satellite images of the type of resolution SPOT 2.5 m and the crossing of the evolution of vector shapes INPE deforestation between 2000 and 2010, using the software *SPRING 5.2* with the aid of various thematic maps allowed the classification and identification of classes, and the establishment of the main areas of conversions in the countryside, as explained, to advance the culture of palm oil as the main activity in rural areas and fragile crop substitution with accelerated changes in the ecosystems of the municipality. **Keywords:** Classification Supervisionada; Pixel; Satellite Images; ArcMap10; Spatial Patterns.

## INTRODUÇÃO

A análise sobre a dinâmica de desflorestamento no município de Moju envolve uma série de variáveis que podem ser agrupadas em componentes principais, isto permitiu maior entendimento dos processos de conversões dos ecossistemas, sem, no entanto desconsiderar a importância de uma definição espacial do processo. A compreensão da lógica de transformação da paisagem natural em paisagem antropizada esta diretamente relacionada à expansão das atividades econômicas, e o local onde elas estão ocorrendo, o que fornece uma leitura espaço-temporal complementar aos tratamentos convencionais.

No município de Moju os espaços produtivos no meio rural sofreram muitas alterações nos últimos dez anos com influências diferenciadas, tornando difícil precisar as explicações dos determinantes do desflorestamento quando a escala do objeto investigado diminui. Nesse sentido, a tentativa de entender como se processam tais modificações no uso da terra no município exige um tratamento multivariado que visualize tanto os aspectos quantitativos da alteração das áreas como qualitativo revelando a concorrência entre as culturas e demais atividades produtivas no município.

O componente espacial da análise tem uma importância funcional na dinâmica do desflorestamento do município, porque é a unidade física onde atuam simultaneamente as forças de atração e repulsão estabelecidas pelas diferentes realidades na zona rural. O poder de explicação do componente está além de suas características estruturais, o espaço físico permite integrar múltiplas dimensões da dinâmica do desflorestamento captando seus efeitos subjacentes e imperceptíveis na ausência de um tratamento no espaço e tempo.

O desflorestamento recente em Moju exigiu uma análise que fosse capaz de combinar a relação da evolução do ambiente representada por mudanças físicas com diversos vetores que estabelecem permanentemente interações com as transformações ocorridas no espaço caracterizando os vínculos associativos e a direção ou sentido dos efeitos sobre o desflorestamento no município.

A necessidade de compreender a destinação das áreas desflorestadas tem importância crucial para dimensionar o impacto das atividades produtivas associadas à dinâmica de conversões dos ecossistemas no município de Moju. Nesse sentido, as transformações de paisagem apresentam elevada correlação com os parâmetros econômicos explicando padrões de uso da terra e ao concomitantemente alimentam novos processos de conversões.

A complicação na análise dos padrões do desflorestamento consiste em definir um ambiente complexo, integrado e dinâmico de uso do solo funcionando sob um enfoque interativo de várias políticas públicas e ainda com forte influência da demanda externa e efeitos diretos do capital estrangeiro nas conversões de Moju. A combinação de vetores georreferenciados e análise supervisionada dos espaços territoriais se apresentam como ferramenta importante na espacialização do desflorestamento recente, assim como o entendimento das conversões na área de estudo considerada.

O tratamento espacial do desflorestamento implica ainda em relacionar causas e efeitos dessa dinâmica sobre as mudanças no uso do solo promovidas pelas atividades produtivas no município. A expansão dessas atividades intensivas no fator terra constitui-se em vetores potenciais da extensão da cobertura florestal e dos seus processos sucessionais, estabelecendo uma forma de medir a interferência produtiva nas mudanças de paisagem.

A compreensão da dinâmica do desflorestamento é um processo histórico de evolução do uso do solo e reserva inúmeras respostas para o avanço das conversões florestais no município de Moju. Em algumas áreas rurais é notável o processo de substituição de atividades, já em outras áreas, a expansão teve como consequência a homogeneização de culturas, que precisam ser avaliadas na magnitude de sua expansão, considerando o espaço e tempo de modificação da paisagem.

As conversões entendida a luz dos acontecimentos temporais, conferem um caráter dinâmico do desflorestamento no município de Moju, na medida em que permitem discutir como as atividades produtivas influenciam, se estabelecem e principalmente dinamizam os espaços físicos. Nesse sentido, quais são os padrões espaciais de desflorestamento em Moju decorrentes do avanço das atividades produtivas? Quais são as medidas do desflorestamento associadas às atividades produtivas no município? Quais as medidas desse desflorestamento ou polígonos vetoriais que podem ser atribuídos à expansão das atividades predominantes no município?

Em termos gerais, este artigo analisa a formação de padrões do desflorestamento recente e dimensiona o impacto espacial das atividades produtivas como determinantes das conversões de ecossistemas entre 2000 e 2010, na zona rural de Moju. Especificamente pretende-se, identificar as principais zonas das atividades produtivas; dimensionar o impacto na utilização de áreas incorporadas aos processos produtivos e comparar os temáticos da área de estudo para quantificar o avanço das novas conversões.

Além desta introdução este artigo está organizado em quatro seções. A revisão dos principais estudos sobre os processos de desflorestamento no aspecto espacial e sua interação com as atividades produtivas. Na segunda seção, a definição metodológica e a metodologia de análise vetorial e descrição do software empregado na técnica de classificação supervisionada. Na terceira seção, os resultados e as discussões sobre as

técnicas utilizadas. A última seção apresenta os comentários, discussões e sugestões de política pública para a compreensão da dinâmica espacial do desflorestamento.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O emprego operacional das imagens de satélites para analisar processos evolutivos de uso da terra está ganhando relevância nos estudos espaciais, porque permitem estimar áreas de plantio em diferentes espaços e comparar o crescimento entre culturas ou demais atividades produtivas. O potencial oferecido vai além da medição de polígonos ou estabelecimento de zonas produtivas, quando o objeto é o desflorestamento, a análise da sua dinâmica fornece elementos espectrais para identificar padrões do uso do solo.

Uma parte da literatura especializada discute o problema de forma técnica limitando-se ao desenvolvimento de modelos de validação das metodologias e empregos de *software* específicos, porém com avanços notórios na resolução e precisão de medidas espectrais. Nesse sentido, o Sistema de Informações Geográficas – SIG tem permitido aos usuários, o avanço necessário para representar fenômenos do mundo real a partir da modelagem de dados geográficos. A outra discussão tem favorecido a incorporação de elementos agregadores na análise dos fenômenos, buscando aproximar a leitura computacional da realidade sistêmica composta pela diversidade interativa social e as relações com o meio físico biótico e abiótico.

A literatura aponta uma grande carência de trabalhos como uso de imagens de satélite associado a mudanças espaciais, com esta finalidade os trabalhos de Agarwal et. al (2005), empregando critério de modelagem hierárquica *bayesianos* para estudar processos de desmatamento foram importantes na definição teórica. Este estilo de modelagem melhora as interpretações ecológicas e permite efetuar as comparações intertemporais desejáveis quando o objetivo é cominar as atividades produtivas associadas à transformação da paisagem.

Em análise sobre o processo de ocupação da Amazônia no espaço e tempo, e procurando explorar as diferenças intra-regionais no uso da terra como fatores determinantes do desflorestamento, as análises espaciais identificaram como causas, as atividades de pastagem, agricultura temporária e permanente em quatro zonas espaciais: em toda a Amazônia; Arco de maior densidade populacional; Amazônia Central, onde

as novas fronteiras estão localizadas e Amazônia Ocidental. As conclusões destes estudos atribuem as mudanças da paisagem a fatores relacionados à organização de sistemas produtivos com fortes diferenças em espaço e tempo no desflorestamento (AGUIAR; CÂMARA; ESCADA; 2007).

A combinação de informações sobre as taxas de desflorestamentos com as imagens de satélite e pesquisas de campo com classificação supervisionada apresentaram grandes vantagens na definição dos determinantes do desflorestamento e em apontar estimadores eficientes. O desflorestamento no sul do México tem revelado ao longo dos anos que as comunidades se incentivadas permitem auxiliar as instituições governamentais a manter a floresta em pé em troca dos valores financeiros recebidos pela atividade de silvicultura, estes resultados tem sido monitorados por pesquisas de campo nas áreas onde várias comunidades receberam o apoio institucional (GARCIA; JANVRY; SADOULET; 2004).

A importância da análise espacial com a decisão das comunidades em promover o desflorestamento são elementos importantes para considerar na geografia das conversões florestais. O desflorestamento nesse sentido é uma condição que depende da decisão das comunidades, do valor da terra, das suas condições e atributos físicos e do desflorestamento total da comunidade, estes elementos em conjunto determinam ações coletivas e em determinados espaços para as conversões (GARCIA, 2007).

Modelos que examinam tanto a distribuição espacial da perda da floresta e o montante total do desmatamento dentro de determinadas comunidades, revelam a importância conjunta ou associações que influenciam e determinam o desflorestamento. Estes fatores indicam que as conversões de florestas para atividades produtivas tem apresentado variadas características, que dependem da natureza jurídica da terra, da localização e processos de valorização e do próprio entendimento das comunidades com relação ao futuro da terra, ou seja, a escolha de conversão da floresta também é uma decisão de racionalidade econômica embutida e decidida socialmente (ANGELSEN, 1999; GARCIA, 2007).

Além das considerações sobre o potencial social das comunidades adjacentes ou que também promovem o desflorestamento, outras variáveis são cruciais para o entendimento da dinâmica de desflorestamento, são as conclusões de trabalhos sobre o desflorestamento tropical que empregaram diversos mapas temáticos e testes qui-

quadrados para validar a significância entre variáveis, além de permitir a exibição de camadas compostas em Sistemas de Informações Geográficas – SIG para identificar e acompanhar os atributos de resolução espacial (GARCIA, A. J; JANVRY, A; SADOULET, E; 2005).

O uso interdisciplinar dos mapas temáticos tem auxiliado na definição mais precisa do desflorestamento, e o tratamento de imagens de satélite e sua vetorização tem se tornado importantes ferramentas para, dimensionar o quantitativo das conversões, identificar os determinantes da dinâmica de desflorestamento e estabelecer associações funcionais que expliquem a ausência ou presença do fenômeno em determinada área (ECKERT et. al, 2011).

A combinação vetorial utilizando o Sistema de Processamento de Imagem com a correção geométrica e índice de vegetação a partir da classificação, filtragem e avaliação de precisão de imagens são as técnicas mais empregadas para estabelecer os atributos de base dos polígonos. A literatura emprega em escala estas técnicas do ambiente de SIG, para analisar as relações entre as variáveis expressa como camada de dados aplicando intensamente a modelos de conversões de ecossistemas (ENTWISLE et. al, 2008).

A literatura recente norteia para estudos sobre análises da sensibilidade do uso do solo, apontando padrões e discriminando as principais diferenças, estas técnicas do ambiente em SIG investigam como os padrões estruturais são identificados no tempo e espaço. A aplicação da técnica combinando simultaneamente análise intertemporal de imagens de satélite e dados socioeconômicos podem ajudar os decisores de políticas públicas em suas formulações para combater o desflorestamento (CELENTANO; SILLS; VERÍSSIMO; 2011).

Estes trabalhos tem procurado demonstrar que a espacialização permite identificar para o caso da Amazônia brasileira que existem exceções ao processo padrão de expansão das conversões na região. A combinação de análises intertemporais das mudanças no uso do solo e o efeito gerado depois do processo de conversão sobre o bem-estar da região têm refletido algumas melhorias para aqueles municípios de base mineral, localizados no sudoeste da região (CELENTANO; SILLS; VERÍSSIMO; 2011).

Outros trabalhos que objetivaram estimar a emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE pela perda de floresta, a partir de ratificação da Convenção Quadro das Nações Unidas

sobre Mudança do Clima – UNFCCC, acelerou a expansão na literatura do uso das técnicas de geoprocessamento como principal avaliador do estoque florestal. O emprego de novos sistemas operacionais com suporte de estações de recepção de imagens de sensoriamento remoto e com excelentes padrões de precisão cartográfica já tradicional nestas avaliações e com elevado significância estatística para prognóstico ambiental (ACHARD; BROWN; DeFRIES; HEROLD; MURDIYARSO; SCHLAMADINGER; SOUZA; 2007).

Esta abordagem metodológica com tratamento supervisionado ou não das imagens de satélite é o único enfoque prático para mensurar as mudanças na cobertura florestal e no uso do solo em nível nacional e internacional. A quantificação com certa precisão das áreas desflorestadas associadas à expansão de atividades econômicas, os métodos consequentes para estimativas do inventário de GEE e os estudos para identificar áreas com diferentes níveis de degradação ambiental, são os principais produtos oriundos da recente literatura com o uso das tecnologias de SIG (ENTWISLE; RINDFUSS; WALSH; PAGE; 2008).

Aplicando as técnicas do SIG por meio de geoprocessamento de imagens, os trabalhos de Entwisle et. al (2006) e Etter et. al (2006) analisaram as ocupações de fronteira e as mudanças no uso do solo no Sudeste Asiático e América do Sul, respectivamente. Os resultados apresentaram conclusões semelhantes em ambientes espaciais distintos, pois foi possível estimar as taxas de incremento do desflorestamento, identificar os principais vetores econômicos das conversões e indicar áreas com maior pressão para a continuidade da pressão.

Para medir o desflorestamento de pequenos agricultores, em comunidades específicas a combinação e modelagem espacial empregou a combinação de estudos integrados de sensoriamento remoto com dados de pesquisa primária a partir de levantamento em propriedades de produtores rurais, estimando a dinâmica quantitativa das conversões de ecossistemas entre 2000 e 2004 (WYMAN; STEIN; 2010).

Seguindo objetivos semelhantes que incluíam também a identificação das atividades responsáveis pela substituição da floresta, os trabalhos relatando estudos de caso sobre a Sumatra e Indonésia tem indicado forte uso das geotecnologias para explicar a dinâmica de conversões. O apoio das imagens de satélite tem permitido não apenas o monitoramento a longo prazo do desflorestamento, mais indicar, acompanhar e



verificar sistemas de mudanças de carbono florestal, assim como os serviços ambientais dele decorrentes (WHITTLE; QUEGAN; URYU; STUEWE; YULIANTO; 2012).

A diversidade de trabalhos em torno das especificações técnicas do geoprocessamento permite efetuar comparações para avaliar e aperfeiçoar metodologias de mudanças espaciais. Recentemente as técnicas vêm sendo empregadas com mais intensidade para estimar o potencial de carbono em todo o mundo, e principalmente induzir a políticas de compensação por meio de reflorestamento para áreas já alteradas e mesmo estimular a premiações, remunerações ou transferências de valores monetários para aquelas economias que tem adotado a preservação como política (WHITTLE, 2012; ETTER, 2006; LAAKE; 2004).

A literatura também tem utilizado o sensoriamento remoto e o SIG para identificar os locais que apresentam elevadas taxas de desflorestamento cedendo grande importância para as variáveis quantitativas. A importância dos resultados destes estudos consiste na consideração de abordagens de análise local, considerando apenas as alterações no mapa temático cobertura do solo, o que complementa outros estudos de modelagem sobre as mudanças de paisagem e indicam a confirmações supervisionadas nas áreas indicadas (PATRICK; LAAKE; AZOFEIA; 2004).

A literatura recente avançou claramente nas técnicas de identificação, alteração e medição de mudanças no uso do solo, e em sistemas de geoinformação em SIG, com reflexos estendidos aos modelos espaciais para explicar com maior precisão as interações nos ecossistemas. Como as áreas de estudos guardam suas especificidades, os modelos e estudos revisados apenas ampliam as possibilidades de aplicações, e reservam novidades para cada nova espacialização problematizada, a seção seguinte apresenta os aspectos metodológicos para determinação dos padrões do desflorestamento na zona rural de Moju.

## **METODOLOGIA: DOS FOCOS DO DESFLORESTAMENTO AOS PADRÕES ESPACIAIS DE CONVERSÕES DE ECOSSISTÊMAS NO MUNICÍPIO DE MOJÚ**

Esta seção objetiva descrever um tratamento analítico a partir da concepção de espaço absoluto<sup>1</sup>, como o descrito a seguir na macrolocalização deste artigo, que considera as coordenadas geográficas e os limites territoriais como elemento de localização. A

---

<sup>1</sup> Verificar maiores detalhes do conceito em SANTOS (1985). Espaço e Método.

combinação com elementos dinâmicos observáveis, caracterizando dinâmicas de fluxo e estabelecendo o que na literatura denominam-se como espaço relativo<sup>2</sup>, estes interligados ou com presença de vínculos caracterizados por redes. Portanto, esta metodologia empregou ferramentas de SIG para modelar a dinâmica de desflorestamento em espaços absolutos (SANTOS; 1985).

A modelagem no espaço<sup>3</sup> se constitui numa superfície continua sobre a qual os fenômenos estudados ocorrem, ou seja, são estruturas matriciais<sup>4</sup> para localizar pontos, linhas, polígonos, fluxos, objetos e a partir deles identificar relações funcionais e não funcionais capazes de apontar trajetórias sustentáveis ou não sustentáveis. As representações de tais fenômenos em espaço absoluto e relativo permitiu analisar o fenômeno do desflorestamento sob a ótica da sua geografia e dinâmica espacial, assim como a identificação dos padrões das conversões de ecossistemas (CAMARA, 2005).

## AREA DE ESTUDO

### Aspectos da localização

A análise da dinâmica de conversão de ecossistemas foi realizada na macrolocalização do município de Moju como referência de estudo, este criado pela lei Estadual nº 279, de 28 de agosto de 1856, possui uma fisiografia atual <sup>5</sup> de 9.093,85 Km<sup>2</sup> de área, após sofrer desmembramento territorial para a criação dos municípios de Breu Branco e Goianésia do Pará. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, o município de Moju se localiza na Mesorregião do Nordeste Paraense e Microrregião de Tomé-Açu, apresentando as seguintes coordenadas geográficas, na latitude sul 01°53'10" e 48°46'00" de longitude oeste (Figura 1).

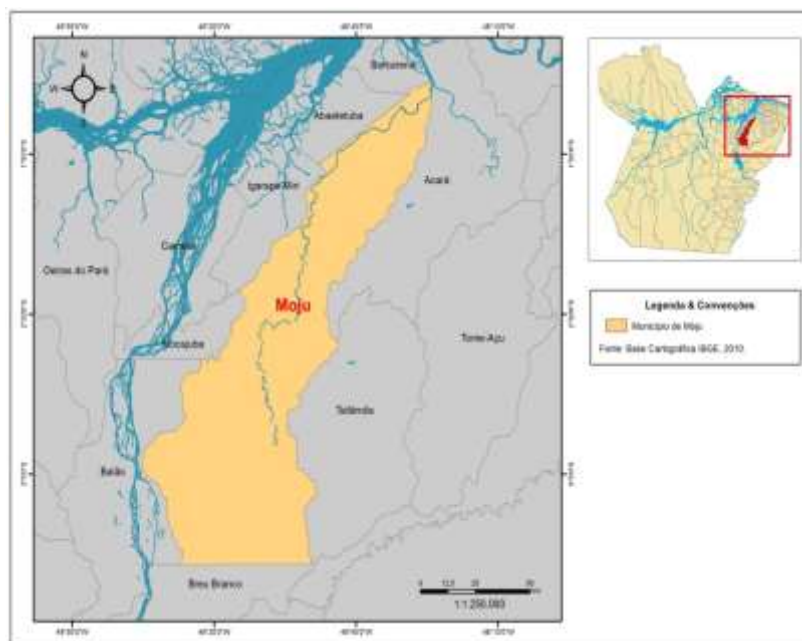
---

<sup>2</sup> “Idem “

<sup>3</sup> A modelagem espacial empregada neste artigo partir da ideia de representação computacional de dados geográficos, ou seja, é uma resposta ao problema de como traduzir os fenômenos do mundo real para ferramentas e Sistemas de Informação Geográfica.

<sup>4</sup> O espaço é representado por uma matriz  $A(i \times j)$ , que descreve  $i$ (colunas) e  $j$ (linhas), com característica e atributos individualizados, e com leitura específica de cada coordenada pelo SIG.

<sup>5</sup> Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.



**Figura 1.** Área de estudo e identificação dos municípios fronteiriços na zona rural de Moju.

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2012).

O município de Moju limita-se geograficamente: ao norte com Abaetetuba e Barcarena; ao sul com o município de Breu Branco; a leste os municípios são Acará e Tailândia e na sublocalização de oeste faz fronteira com os municípios de Baião, Igarapé-Miri e Mocajuba (Figura 1). Administrativamente, o município pertence à Região de Integração - RI <sup>6</sup> do Tocantins, remete ao processo de colonização antigo do estado do Pará e esta inserida na área de maior densidade populacional, com forte dinâmica de exploração de recursos naturais e atualmente enfrenta forte processo de imigração, grande investimento na homogeneização de espaços produtivos e elevado interesse do capital privado internacional.

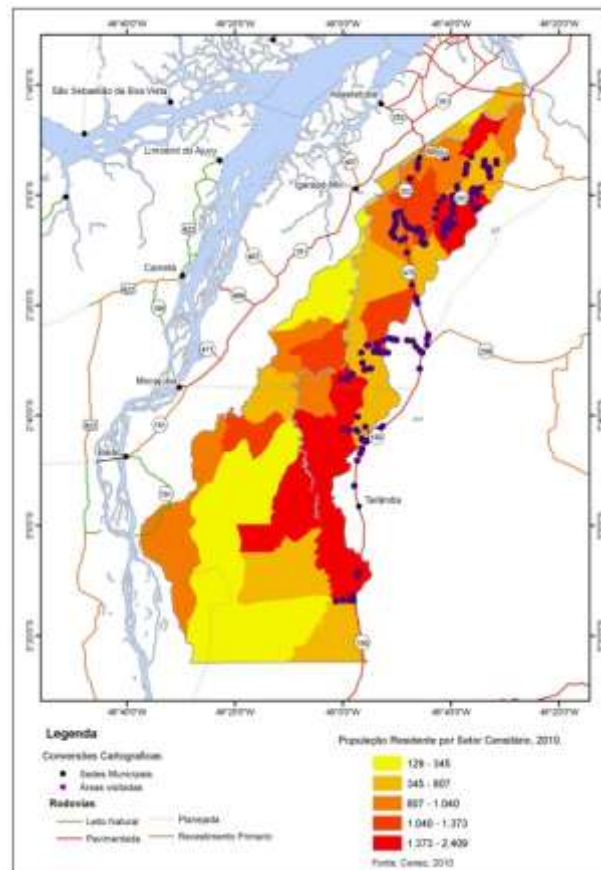
### Aspectos da Área da Pesquisa

A definição da espacialização para as visitas técnicas e os 380 pontos de coleta, assim como a adoção dos procedimentos da classificação supervisionada partiu dos resultados da pesquisa do Censo Demográfico <sup>7</sup>, que permitiu cobrir territorialmente o município em formato georreferenciado, adotando a base *shape file*, integrada ao mesmo formato de SIG da pesquisa. O planejamento de setores censitários foi ajustado perfeitamente

<sup>6</sup> Verificar o decreto de criação na Secretaria de Estado de Integração Regional – SEIDURB.

<sup>7</sup> Consultar para maiores detalhamentos, a metodologia da Base de Informações do Censo Demográfico 2010, em resultados da Sinopse por setor censitário, IBGE.

para garantir a densidade demográfica na menor unidade territorial formada por área contínua, definidas nas zonas urbanas e rurais do município de Moju (Figura 2).



**Figura 2.** Densidade demográfica, setor censitário e pontos de coleta na zona rural de Moju.

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2012).

Os dados foram desagregados por setor censitário para identificar a concentração de pessoas/total de residentes para orientar a pesquisa de campo nas zonas com maior densidade populacional. O município de Moju possui 71 setores, dos quais 30,98% são urbanos e 69,01% são classificados como rurais, com 25.162 mil pessoas residindo nas cidade e 44.856 mil pessoas na zona rural e uma taxa geométrica de incremento anual entre 2000 e 2010 de 2,84%, registrando uma população de 52.941 em 2000 e 70.018 em 2010 (Figura 2).

Ao norte e a leste do município encontra-se a maior densidade populacional, incluindo os setores da sede do município, o que pode estar relacionado com a maior disponibilidade de rodovias presentes e a influência dos limites municipais, principalmente com Ácara e Tailandia A a menor concentração populacional localiza-se ao sudoeste do município que se caracteriza por apresentar grande área de reserva

indígena, de unidades de conservação e assentamentos do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. A situação intermediária no senso de 2010, identifica uma concentração moderada de 807 a 1.040 pessoas por setor censitário presentes no oeste do município e mais ao norte, o que estaria associado a influência fronteira com os municípios de Baião, Mocajuba e Igarapé-Miri (Figura 2).

## O PROCESSO DE MODELAGEM DOS DADOS ESPACIAIS

### **Fonte e Ajuste dos Dados**

A seleção dos dados seguiu como critério, a importância para uma composição da estrutura matricial que teve utilidade na explicação dos fenômenos das conversões dos ecossistemas e que serão sistematizados em torno da aplicação de um SIG (*SPRING* 5.2). Nesse sentido, os dados vetorizados nos formatos *shape files* foi preferida para a modelagem dos dados espaciais, facilitando o tratamento da informação em unidades lógicas de dados, a percepção de mudança no espaço, o ajuste de dados complexos e diversificados assim como a identificação de relações espaciais (RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, 2007)

A dinâmica do desflorestamento foi correlacionada com os dados dos focos do desmatamento, fornecido em dados vetorizados na escala municipal pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, por meio do Sistema PRODES, no período de 2000 a 2010. As fontes secundárias também foram empregadas para o dimensionamento do Cadastro Ambiental Rural das principais empresas e atividades na zona rural de Mojú, todos georreferenciados e validados pelo Sistema de Licenciamento do Estado do Pará – SINLAM-PA, com vetores e topologia que permitem a mensuração de polígonos e adjacências em formato *shape file*.

O dimensionamento dos estabelecimentos agropecuários e o avanço das mudanças no uso do solo foram dimensionados e transformados para o mesmo formato da base de dados em GIS, empregando as pesquisas do Banco de Dados Agregados do IBGE – SIDRA, por meio das pesquisas do Censo Agropecuário (IBGE, 1996-2006), a Pesquisa Agrícola Municipal – PAM (PAM, 2000 e 2010), a Pesquisa de Pecuária Municipal - PPM (PPM, 2010), a Pesquisa de Extrativismo Vegetal e Silvicultura – PEVS (PEVS, 2010), estas últimas finalizam a primeira etapa dos dados de origem secundária.

Outras fontes complementaram a modelagem espacial e concomitantemente permitiram o ajuste dos dados, trata-se da utilização das imagens de satélite multiespectrais de

sistema TM-Landsat com técnicas de georreferenciamento ao sistema de projeção cartográfica Transversal Universal de Mercator – UTM. Os diversos *shapes files* gerados e coletados de diferentes fontes, aliado a um levantamento *in loco* para a compreensão das dinâmicas produtivas de interação e integração da análise.

Esta etapa da metodologia tem por finalidade inserir e integrar numa única base de dados (nos limites municipais), informações que assegurem a combinação, manipulação e análise do banco de dados reunidos, de forma a orientar as análises de resultados de acordo com a necessidade, entre as quais a composição de mapas temáticos que expliquem melhor o fenômeno e a dinâmica do desflorestamento, e ainda representem, de forma simplificada a realidade rural. Uma forma simples de expor como a metodologia irá trabalhar a representação esta descrita na (Figura 3).

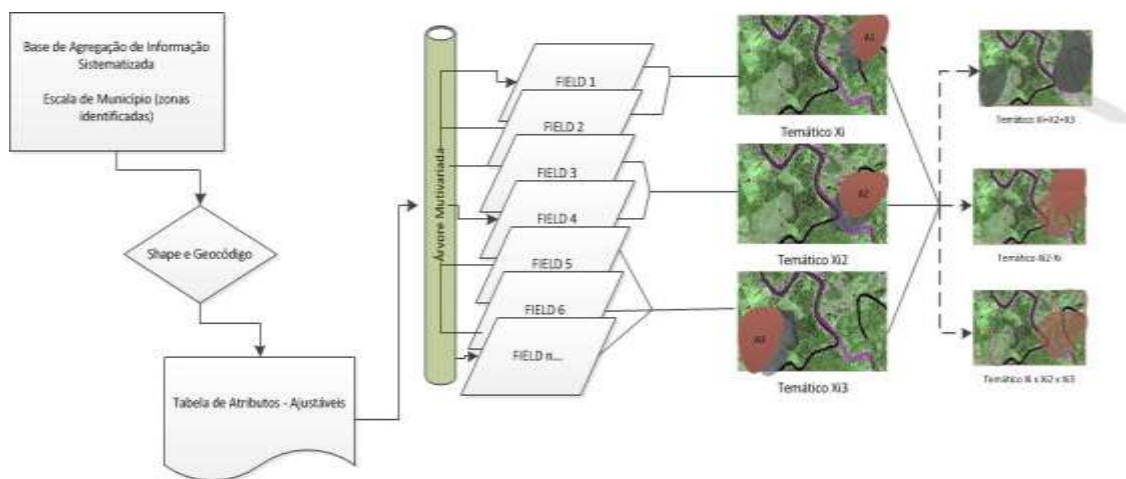


Figura 3: Modelo descritivo do banco de dados.  
Fonte: Autor (2012)

Um principal diferencial para gerar os resultados desejados e garantir um bom tratamento da base de dados, é cumprir o esquema lógico que estrutura o insumo de um SIG. A tabela de atributos é composta por diferentes campos, onde o pretendido é expandir a tabela de atributos que sejam capazes de estruturar os resultados. Para a composição de um SIG integrado é necessário estabelecer as classes que respondam ao problema central da pesquisa, e o conceito definido com relação a essas classes revelando a importância que eles têm para o objetivo da pesquisa (SEARLE,1998).

Nesse sentido, o município se constitui num plano de informação base (*layer*), que orientará o banco de dados a responder a diversas indagações do estudo, entre as quais. Como a informação acumulada poderá se transformar em resultados analíticos? Como

será possível estabelecer as interações entre os atributos da variável? Quais os instrumentos que poderão ser utilizados para modelar uma região geográfica associada?

Os *fields* da tabela de atributos estarão associados a medidas nominais (qualitativas), quando estiverem referenciando a classificações de paisagem ou índices aplicados para efeito comparativo, e medidas numéricas (quantitativas), quando as informações do banco de dados exigirem uma comparação espacial com este formato. Portanto, o modelo descritivo de banco de dados deverá ajustar e ao mesmo tempo ser ajustado pelo SIG.

## FERRAMENTA DE ANÁLISE

O processamento do banco de dados nesta seção se torna fundamental na medida em que as representações computacionais do espaço geográfico serão utilizadas como o principal instrumento de interação das informações de forma qualitativa e quantitativa. Os temáticas serão gerados no programa de *SPRING* v.5.2, que representa um componente central do sistemas de informação que permitiu dentro deste objetivo metodológico, integrar, editar e criar novas camadas de mapas, e estabelecer graduações de intensidade e portanto fazer a gerencia do banco de dados (Figura 4).



Figura 4: Software de Processamento de Imagens e Modelagem Ambiental  
Fonte: Spring 5.2 (2011)

Esta subseção compreende todo o processo de classificação das informações e o seu dimensionamento para a geração de mapas temáticos, que são os produtos finais do processo, mas o seu artifício de geração é mais importante do que o mapa em si. Nesse sentido, os métodos aqui adotados tiveram a preocupação de contemplar as informações já com algum grau de sistematização, obedecendo ao detalhamento do modelo descritivo do banco de dados (Figura 3).

## METODOLOGIA DE ANÁLISE: ETAPA DE CLASSIFICAÇÃO

As fontes de dados vetoriais disponíveis em sites especializados correspondem aos principais insumos para implementação desta etapa metodológica. A *interface* computacional com o software *SPRING* v.5.2 permite integrar estas informações vetoriais como dados de entrada, e transforma-los em formato *shapfiles*, com características e atributos individualizados no espaço geográfico (ADAMI; RUDORFF; FREITAS; AGUIAR; SUGAWARA; MELLO, 2012).

Estes procedimentos de uso das técnicas de geoprocessamento foram necessárias para integrar diferentes bases de informações e ao mesmo tempo alimentar a macro base de dados geográficos, ajustando automaticamente os valores qualitativos e quantitativos dos geo-objetos para cada unidade espacial do município (TANIKAWA, D. H; MANZIONE, R. L, 2011).

A modelagem ambiental para espacializar a dinâmica do desflorestamento na área de estudo procedeu por meio da aquisição de imagens de satélite no período problematizado, e as informações para este período também foram ajustadas na macro base de dados, para estabelecer a correspondência espacial e comparativa das dinâmicas do desflorestamento ano a ano. Os padrões espaciais e suas correlações nas atividades produtivas, foi determinada depois da composição de um mosaico das cenas do satélite CBERS com 20 mts de resolução, em suas três bandas espectrais e 8 cenas na mesma órbita, com o objetivo de cobrir os limites da área de estudo e entender a dinâmica das conversões ecossistêmicas.

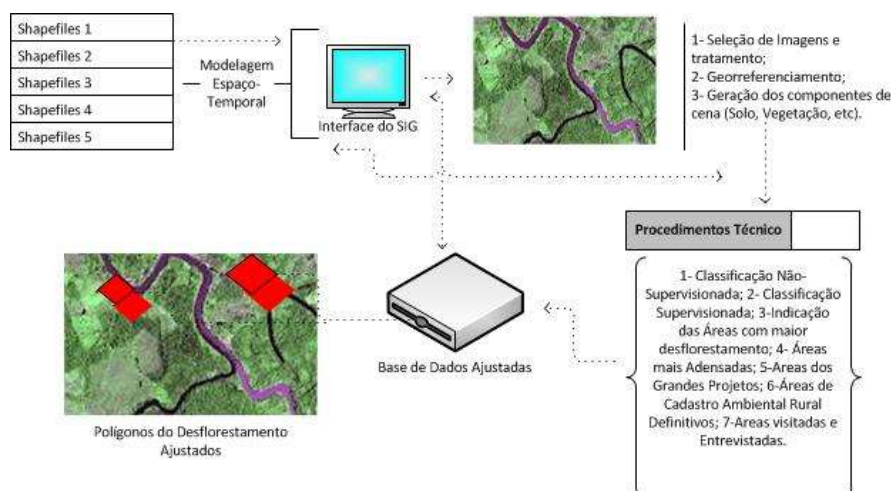


Figura 5: Fluxo operacional da modelagem ambiental  
Fonte: Autor (2012)



A Integração e ajuste da macro base de dados permitiu no segundo momento a execução de procedimentos técnicos para o cumprimento da classificação supervisionada por *pixel* gerando o pré-processamento das imagens de satélite para sintética com o ajustamento do histograma das cenas utilizando o sistema RGB de cores. As bandas espectrais empregadas foram banda 2, banda 3 e banda 4 com composição Azul, Vermelho e Verde, respectivamente, o que corresponde as etapas de realce e filtragem para melhoramento das respostas espectrais de contraste (Figura 5).

Este tratamento inicial apresenta melhor ajuste e resposta espectral e oferece o insumo estatístico necessário em busca de regiões homogêneas, por meio da indicação de algoritmo selecionados em amostras de pixel por pixel para definir padrões de respostas espectrais e permitir a comparação com outros padrões, empregando desta forma o método estatístico da Máxima Verossimilhança considerando a dispersão das classes criadas e suas respectivas distribuições de probabilidade (Figura 5).

As amostras de coletas estatísticas das bandas espectrais foram realizadas e testadas com tolerância de erro de valor  $-p < 0,05$ , adotado o classificador do tipo *Maxver* com limiar de aceitação de 95% para melhorar os resultados junto aos temáticos. Os classificadores “pixel a pixel” utilizam as informações espectrais como resposta para o processo de homogeneização de espaços e estabelecem padrões para o sistema estimar novas áreas dos temáticos e das classes criadas (FREITAS; SHIMABUKURO, 2008).

Para melhorar o ajuste do classificador as aquisições do treinamento foram realizadas com contorno poligonal para qualificar as amostras, e para cada tema foram selecionadas no mínimo 120 aquisições na imagem sintética com o objetivo de elevar a significância estatística e diminuir a matriz de confusão da amostra, oferecendo alto desempenho médio de aceitação, mínima confusão média da matriz e baixa abstenção nas análises.

Após avaliações nas amostras por meio de teste espectral e de suficiência de área, a classificação por pixel é gerada, utilizada como o primeiro temático-produto da modelagem ambiental, esse resultado é novamente avaliado, pois seus derivados, dependendo da qualidade de resolução das imagens e variante nuvens, podem apresentar temas isolados dificultando a interpretação de cenários para a modelagem ambiental. A correção sugerida pelo sistema é uma pós-classificação, onde a técnica objetiva eliminar ruídos da classificação inicialmente elaborada, permitindo maior homogeneização dos

espaços pela predominância do vizinho mais próximo no espaço de atributos, ou seja, equivalência de *pixel*.

Como produto do processamento digital da imagem, vários ajustes são apresentados como temáticos, sendo possível a *interface* com o banco de dados em SIG e um conjunto de características para discriminar os resultados e efetuar comparativos entre períodos, associando os atributos das *fields* e hierarquizando níveis de classificação, paisagem e dinâmica de desflorestamento.

## METODOLOGIA DE ANÁLISE: ETAPA PADRÕES ESPACIAIS

A identificação dos padrões espaciais do desflorestamento levou em consideração dois tipos de análise, uma direcionada para toda a série de dados, compreendendo o período de 2000 a 2010 com a devida correspondência espacial, e com detalhamentos quantitativos dos polígonos desflorestados no município. De outra, foi necessário estabelecer agrupamentos em subperíodos com o objetivos de identificar as mudanças na dinâmica do desflorestamento e plotar as semelhanças em magnitude espacial, com a qual se pudesse oferecer variações na geografia do desflorestamento e também de sua magnitude de área.

Nesta seção, para captar a variabilidade espacial de dados de área foi empregado a técnica de agrupamento em *Cluster* e Análise de *Outlier* com operações da estatística espacial e validação das dependências espaciais por meio do Índice Local de Moran. Este Índice analisa a partir de um conjunto de dados onde os valores altos ou baixos agrupam-se espacialmente levando em consideração as coordenadas de saída do ambiente em SIG.

A funcionalidade do Índice de Moran esta na identificação de padrões de entidades com valores de similar magnitude, o que indica presença de similaridade ou dissimilaridade nos valores estimados de cada unidade/entidade e seus vizinhos. Nesse sentido, as medidas de significância estatística que permitem aceitar ou rejeitar as hipóteses do modelo de correlação espacial que testa a distribuição aleatória, são o *Z-score* e o *P-value*. A expressão da autocorrelação espacial do Índice é dado pela seguinte expressão:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X}) \quad (1)$$

Onde,  $x_i$ , é um recurso do atributo  $i$ ;  $X$  é a média correspondente do atributo;  $w_{i,j}$  é o peso espacial entre as entidades  $i$  e  $j$ , assim como:

$$S_i^2 = \left( \sum_{j=1, j \neq i}^n (x_i - X)^2 / (n - 1) \right) - X^2 \quad (2)$$

Com  $n$  equivalente ao número total de entidades.

O  $z_{i_i} - score$  para a estatística são computados como:

$$z_{i_i} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (3)$$

Onde:

$$E[I_i] = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j}}{n-1} \quad (4)$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2 \quad (5)$$

Prosseguindo na dedução temos;

$$E[I_i^2] = A - B \quad (6)$$

$$A = \frac{(n - b_{2_i}) \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j}^2}{n-1} \quad (7)$$

$$B = \frac{(2b_{2_i} - n) \sum_{k=1, k \neq i}^n \sum_{h=1, h \neq i}^n w_{i,k} w_{i,h}}{(n-1)(n-2)} \quad (8)$$

$$b_{2_i} = \frac{\sum_{i=1, i \neq j}^n (x_i - X)^4}{(\sum_{i=1, i \neq j}^n (x_i - X)^2)^2} \quad (9)$$

As deduções para o índice de Moran ajudaram a esclarecer as principais questões associadas ao desflorestamento municipal, entre as quais: existe agregação definida no padrão das conversões de ecossistemas? Quais são as causas quantitativas e de outras variáveis descritivas associadas ao fenômeno estudado? Qual a reposta multidimensional associada ao fenômeno? Estas resposta são suficientes para explicar as conversões? É possível identificar padrões diferenciados numa mesma área de

estudo? O esclarecimento destas questões está previsto na análise de interação dos seus índices.

Para captar os eventos ou fenômenos observados na área de estudo, devemos considerar a existência de um processo estocástico  $Z_i, i = 1, \dots, n$ , onde  $Z_i$  se efetiva como a dinâmica espacial na área de estudo  $i$  e  $n$  corresponde a totalidade de áreas observadas  $A_i$ , cuja finalidade é uma aproximação para estimar sua distribuição, a partir de variáveis aleatórias  $Z = [Z_1, \dots, Z_n]$ .

As bases do desflorestamento apresentam uma grande quantidade de polígonos e com feições e áreas muito distintas na escala de município, o que exigiu que a análise exploratória de autocorrelação espacial deveria fazer uso de um índice que descrevesse melhor estes dados e apresentasse uma estrutura de correlação mais apropriada e ajustada com o elevado nível de detalhe da base de dados. As evidências dos regimes espaciais foram identificadas a partir da classificação em SIG pelo mapa de espalhamento de Moran.

As condições de ajuste para as estimativas do índice Moran adotaram como condicionantes as ponderações para o agrupamento espacial com cálculos matemáticos baseados no sistema de coordenadas de saída em ambiente SIG, a precisão dos afastamentos via sistema foi calculado com base na distância Euclidiana considerando a linha reta entre dois pontos para medir as correlações espaciais.

Como a base de dados trata da dinâmica do desflorestamento, as características vizinhas dos polígonos no município tem grande influência na conversão e geração de padrões espaciais, o método de inverso da distância dentro da conceituação das relações espaciais foi empregado para diminuir a influência conforme a evolução da distância foi observada, a estimativa elegeu pela não atribuição de pesos espaciais e indefinição de distâncias de banda, assim como a ausência de predefinição de matriz de pesos, com o objetivo de capturar as relações fornecidas pelo índice sem a presença de perturbações fixadas.

Uma vez calculado o índice espacial de Moran, um cruzamento quadrático matricial de relação 2x2 bidimensional, com o objetivo de visualizar a dependência espacial do desflorestamento no município foi empregado utilizando o conhecido diagrama de espalhamento de Moran (*Moran Scatterplot Map*). A construção vetorial do mapa

temático das relações espaciais positivas ou negativas dos polígonos do desflorestamento na zona rural do município de Moju, esta associado a configuração de quatro quadrantes denominado de *Box Map* (Figura 6).

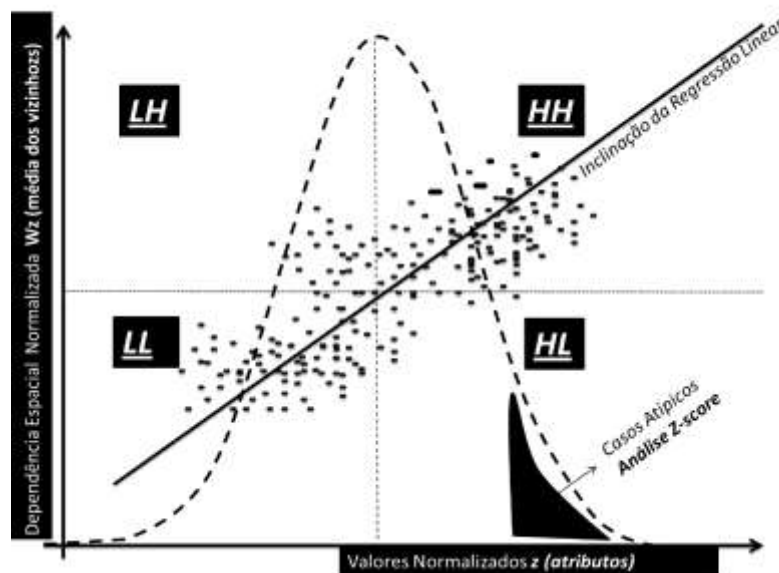


Figura 6: Fluxo operacional da modelagem ambiental  
Fonte: Desenvolvido a partir de ANSELIN (1995)

A dispersão do índice de Moran é definido pelas relações espaciais e adota valores normalizados para captar a variabilidade dos fenômenos espaciais. A sensibilidade do índice tem equivalência ao coeficiente de regressão linear e sua inclinação aponta para o enquadramento dos quadrantes. No eixo das ordenadas “Y” são dispostos os valores normalizados das médias ponderadas dos vizinhos e no eixo das abscissas “X” os valores também normalizados correspondendo aos eventos ou atributos em relação a media para capturar a variabilidades espacial, interpretados também como vetor dos desvios dos valores observados nos polígonos do desflorestamentos (Figura 6).

Os valores fora da reta de regressão linear acomodam atributos extremos ou atípicos ou que de outra forma oferecem uma nova dependência espacial, e mesmo asseguram áreas de transição do desflorestamento na zona rural do município de Moju. No entanto, a reta de regressão também limita as regiões que apresentam correlação espacial positiva e consequente processo de formação similar denominado de *Cluster*, como os quadrantes *High-High* – HH e *Low-Low* – LL, que apresentam altos valores para o atributo

analisado cercados por valores semelhantes e também valores de atributos abaixo da media cercados por valores baixos, respectivamente (Figura 6).

A característica marcante dos quadrantes Q1 e Q2, que correspondem a “HH” e “HL” nesta ordem, são as semelhantes quantitativas dos polígonos desflorestados para o recorte temporal analisado e a influencia dos características vizinhas na dinâmica das conversões dos ecossistemas e a consequente formação de padrões espaciais (clusters). Os quadrantes Q3 e Q4 estão associados a *High-Low* “HL” e *Low-High* “LH” respectivamente e possuem associação negativa, ou seja, a detecção de valores diferentes na vizinhança, o que reflete uma interação espacial de agentes com dinâmicas diferenciadas e com recursos de *outlier* (Figura 6).

Contudo, esta seção metodológica teve a pretensão de observar os padrões espaciais na zona rural do município de Moju e identificar se são resultantes de processos do acaso, ou se sustentam como incomuns, a ponto de rejeitar a hipótese nula de aleatoriedade dos dados e inexistência de correlação espacial na estrutura de eventos observada. A rejeição da hipótese nula depende de elevado valor absoluto de *z-score* e reduzido valor-p de probabilidade, o que origina uma localização na cauda da distribuição normal assegurando a significância estatística do evento e a descoberta de padrões que explicam teoricamente o fenômeno observado.

Portanto, a análise de dependência espacial é um fator inerente para os estudos de territorialidade e de influencia de atributos locais como determinantes de forte atratividade em seu raio de vizinhança, e por isso apropriado ao estudo da análise e identificação de padrões espaciais de desflorestamento. As zonas fronteiriças, as adjacências de propriedade na zona rural e principalmente a proximidade de grandes projetos configuram-se como atributos de interação espacial, com grande capacidade de influenciar e se influenciado pelas suas características de proximidade, grau de conectividade e nível de dependencia no processo de conversão de ecossistemas.

## RESULTADOS

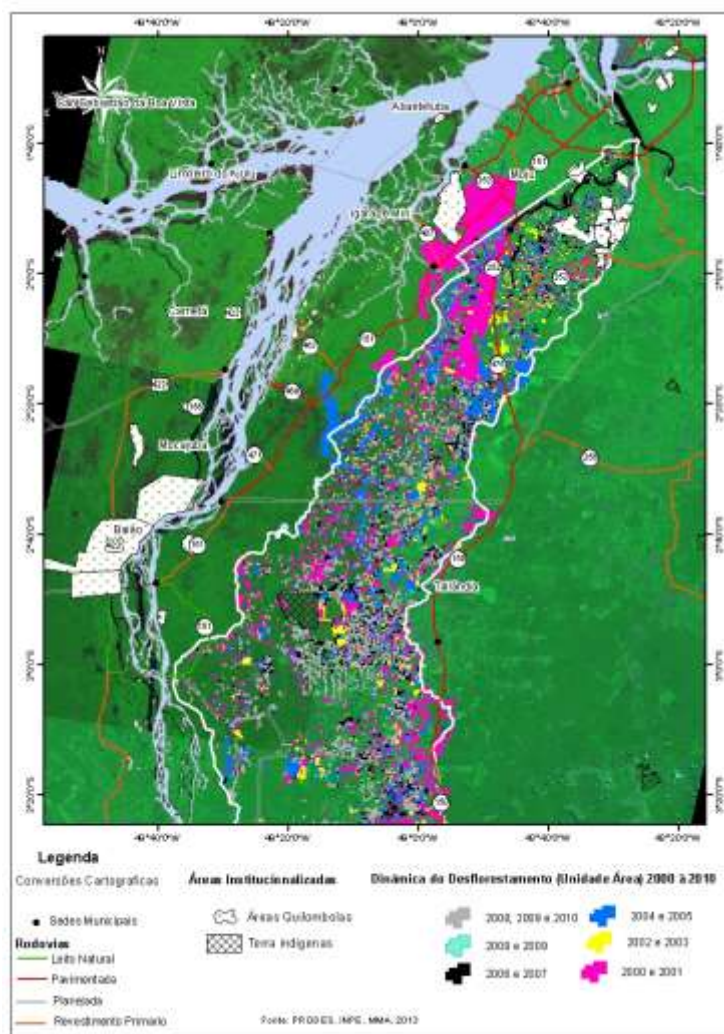
Esta seção está organizada em duas subseções. Na primeira são analisados os temáticos da evolução espacial do desflorestamento no município de Moju e a localização das principais atividades produtivas na zona rural, com posterior classificação supervisionada utilizando imagens de satélite *CBERS* revelando o direcionamento das

conversões recentes dos ecossistemas, assim como o uso atual do solo no município, finalizando as análises com as correlações espaciais e o devido tratamento quantitativo para o período de 2000 a 2010. Na segunda subseção, foram determinados os padrões espaciais do desflorestamento e suas análises estatísticas em três períodos distintos (2000-2003; 2004-2006 e 2007-2010), com objetivo de identificar as associações espaciais para o conjunto dos dados e captar a dinâmica do desflorestamento entre os períodos.

## A EVOLUÇÃO ESPACIAL DO DESFLORESTAMENTO

A análise multidisciplinar da variável quantitativa do desflorestamento recente em Moju, aliado a uma tendência metodológica de manifestação espacial dos eventos, permitiu descrever dois aspectos fundamentais para o entendimento da dinâmica espacial das conversões de novas áreas. O primeiro, que o processo de evolução deste desflorestamento não se reserva aos limites do município, o que significa que existe forte influência determinista na lógica das conversões de ecossistemas explicada pelo recorte do estabelecimentos agropecuários na zona rural e da própria intensidade no uso dos recursos nos municípios adjacentes. O segundo, que a evolução do desflorestamento também implica em variação espacial dos eventos, o que pode ser explica pelos deslocamentos dos focos de queimadas e a variabilidade dos polígonos das conversões (Figura 7).

A análise espacial das conversões em Moju em todo o período de 2000 a 2010 reflete significativos avanços sobre as áreas de florestas, terras indígenas e áreas especiais de assentamentos quilombolas, o que estaria associado a expansão das atividades produtivas para a fronteira recente do município, localizado mais ao oeste de Moju, nas fronteiras com Baião e Mocajuba, assim como deslocamentos da agricultura familiar para a região do Alto Moju como consequência da expansão do monocultivo do Dênde na região do Baixo e Médio Moju, o que correspondente a parte norte e leste do município cuja ocupação é mais antiga e encontra-se na zona de consolidação de atividades produtivas, de acordo com o Zoneamento Ecológico-Econômico da banda leste do estado do Pará (Figura 7).



**Figura 7.** Evolução e dinâmica do desflorestamento no município de Moju, no período de 2000-2010.

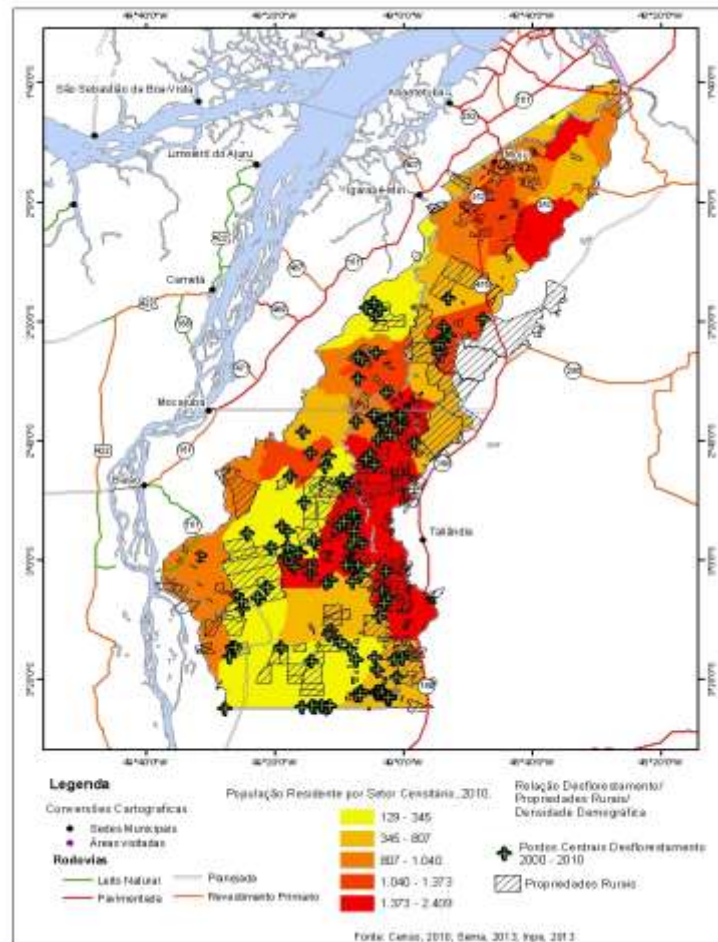
**Fonte:** Elaborado pelo autor (2012).

Outras observações discutidas refere-se a intensidade das conversões na zona rural, foi possível identificar pelas manchas que os períodos que se destacam são alusivos a 2000-2001 e 2004-2005, com dados acumulados de 869 Km<sup>2</sup> e 454 Km<sup>2</sup>, valores acima da média anual interperíodo que foi de 412,34 Km<sup>2</sup>, mesmo período em que as lavouras temporárias no município obtiveram melhor resultado com 4.505 e 4.725 ha (PAM, 2012), de áreas cultivadas respectivamente, a comparação é válida para o período de 2000 a 2010. Quando consideramos o desflorestamento ano a ano, temos também a maior área convertida em 2001 com 569 Km<sup>2</sup>, seguida dos anos de 2004 e 2000 que assumiram valores de 374 e 300 Km<sup>2</sup> nesta ordem.

Contudo, sobre os aspectos acima destacados é possível acrescentar que a intensidade das conversões (variável tamanho de área), e a variabilidade espacial está associada a



escolha do ano que se está analisando e a configuração espacial de pressão demográfica. Neste sentido, os espaços com maior adensamentos populacionais, maior disponibilidade de acesso a áreas remotas pelo disponibilidade e abertura de novas estradas aliado a maior infraestrutura de serviços na comunidade intensificam as conversões, e diversificam o uso da terra na zona rural de Moju (figura 8).



**Figura 8.** Análise espacial da densidade demográfica, concentração dos pontos centrais do desflorestamento e estabelecimentos rurais produtivos.

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2013).

A evolução do desflorestamento tem entre suas razões, uma forte correlação positiva da ordem de ( $r = 0,89$ ) entre o aumento da população do município pela variante migração de fronteira e ingerência administrativa no controle dos recursos naturais. A taxa geométrica de incremento anual do município de Moju foi 2,84% entre 2000-2010, em termos absolutos eram 52.941 pessoas no censo de 2000, e passaram a ser 70.018 em 2010 (IBGE, 2013). A zona rural concentra atualmente 64,06% da população, e os pontos com maior concentração de pessoas por setor censitário, são também os mesmos





maior parcela da área plantada, como também na mudança de atividade produtiva das propriedades rurais, que vem se estabelecendo pela venda, por contratos de parceria, alugueis da área e também mobilização de capital na plantação de dendê, com identificação de áreas de plantio situado no extremo norte a sudeste do município, com destaque na fronteira com os municípios de Acará, Tailândia e Igarapé-Miri (figura 10).

As propriedades rurais no município estão limitadas por questões de reserva legal e estão avançando para áreas de floresta, onde é possível identificar uma significativa redução de cobertura, em 2010 a área de floresta ocupava um pouco mais de 5mil Km<sup>2</sup> (Inpe, 2013), ou o equivalente a 55% da toda área do município. Os ecossistemas sucessionais também estão sendo convertidos, na medida em que os produtores familiares que administram estas áreas se sentem pressionados e originam a venda (figura 10).

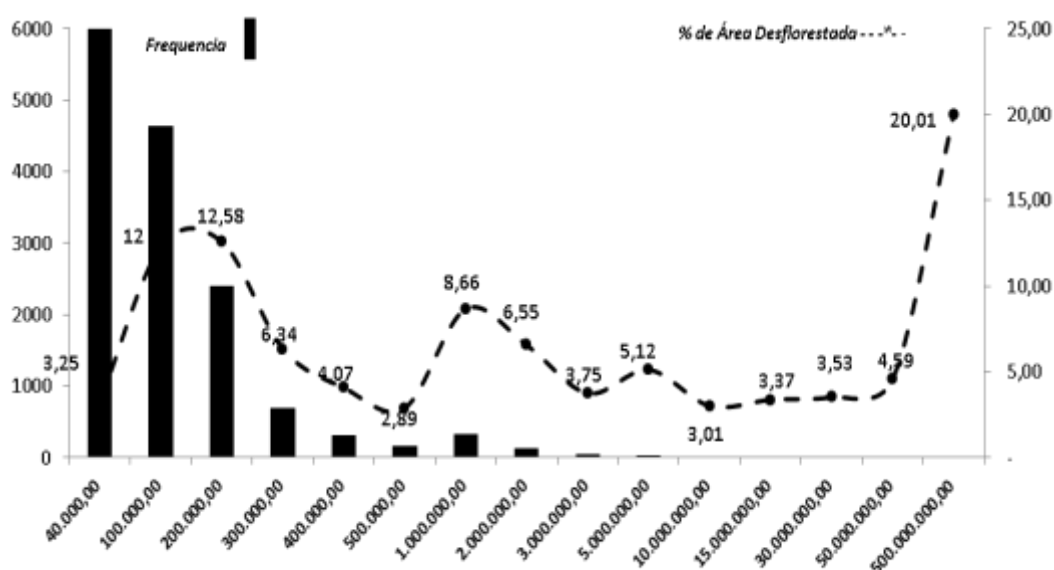
Apesar do crescimento das atividades de plantio de dendê para áreas degradadas de acordo com a classificação em pixel do uso atual do solo, o destaque da expansão estão se dirigindo espacialmente para áreas adjacentes a ecossistemas florestais, o que ocorre mesmo dentro das propriedades produtoras, ou seja, nas suas áreas de reserva legal, estes resultados foram confirmados pela análise em maior detalhe das imagens de satélite tipo *SPOT* de resolução 2,5 mts, ao longo do período analisado com diferentes respostas espectrais e níveis de resolução (figura 10).

A produção em larga escala tem se expandido para todo o município e principalmente para as áreas fronteiriças onde outros projetos de biodiesel liderados pela Petrobrás por meio do Projeto Nacional de Produção e Uso Sustentável de Biodiesel (PNPB) estão ampliando parcerias para plantio, enquanto que as demais culturas comparativamente não apresentam representação espacial definida para esta escala (figura 10). Neste sentido, a próxima seção objetiva descrever os padrões espaciais das conversões de ecossistemas identificando os *cluster* e analisar os *outlier* a partir da significância estatística das correlações matriciais associadas a diferentes localizações geográficas relacionada a cada atributo do banco de dados.

Em termos agregados foi analisada a base de dados vetoriais do desflorestamento recente no município de Moju, que após utilização das técnicas de processamento digital permitiu melhor ajuste dos dados e execução de cálculos dos polígonos com

precisão geométrica. As análises da estatística básica, auxiliou a comparação 14.884 polígonos do desflorestamento em todo o período com a identificação de valores mínimos de 10,075 m<sup>2</sup> e áreas desflorestadas com até 173.654.794,56m<sup>2</sup>, ou equivalentes a 173,65Km<sup>2</sup>.

A relação entre a frequência absoluta (eixo das ordenadas a esquerda) e o percentual de área desflorestada (eixo secundário), foi comparada com os intervalos de áreas estabelecidas (eixo das abscissas). Em termos absolutos o desflorestamento apresenta maior concentração para conversões em até 40.000 m<sup>2</sup>, e vai diminuindo a frequência quando aumento o tamanho das áreas convertidas (figura 11).



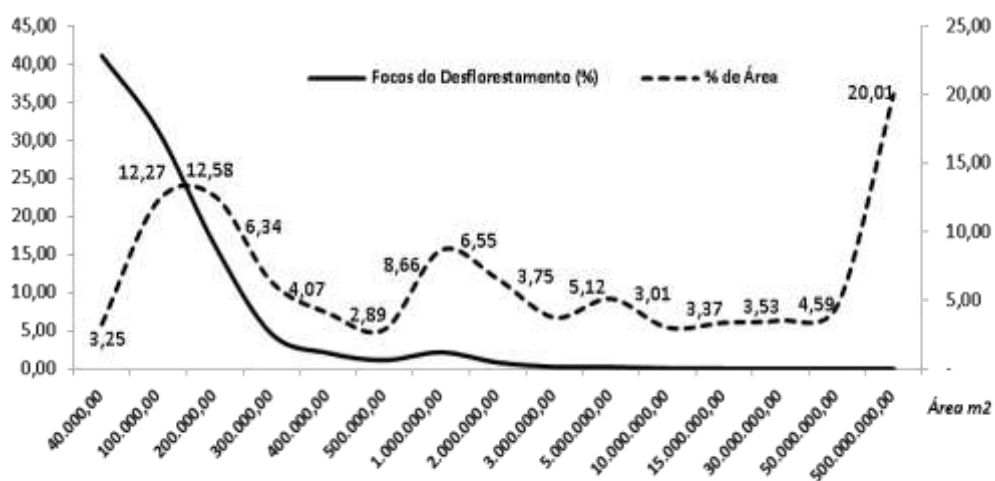
**Figura 11.** Comparativo entre a frequência das conversões e o percentual de área total desflorestadas, em escalas definidas, no período de 2000-2010.

**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2013.

Considerando a escala de até 40.000 m<sup>2</sup> apropriada as converções do pequeno agricultor, conclui-se, mesmo que predominante no município, o percentual de área utilizada é muito pequeno relativamente, 3,25% do total das conversões, isto significa que a expressiva frequência dos polígonos apresenta reduzido impacto de área. No entanto, quando comparamos os desflorestamentos acima de 5 ha até 30 ha, o percentual de área utilizada sobe para mais de 30%, ou seja, 9,5 vezes o tamanho e nestas escalas foram identificadas ao mesmo tempo grandes ocorrências e com significativos impactos de área (figura 11).

O outro extremo das conversões também é observado com desflorestamento de extensão entre de 500 ha e 5000 ha, onde reduzidos polígonos cobrem uma área equivalente a 20% do total desflorestado entre 2000 e 2010, somente os grandes projetos tem condições estruturais para desflorestar áreas com esta magnitude, pois envolve diferentes tecnologias, elevado emprego de capital empregado e existência de um agente transformador específico, em geral pertencente a grande grupo econômico com motivação para exportação (figura 11).

As comparações percentuais dos focos do desflorestamento em escalas definidas e o percentual de áreas convertidas ajudam a esclarecer a distribuição das conversões e seus impactos de área. Entre 2000 e 2010, foram poligonizados 14.884 focos pelo INPE e suas respectivas posições de área, este reflexo no período abordado concentra mais 40% para desflorestamentos de escala até 4ha e uma inversão comparativa na curva do percentual de área desflorestada nesta escala de conversão (figura 12).



**Figura 12.** Comparativo entre os polígonos do desflorestamento e o percentual de área total desflorestadas, em escalas definidas, no período de 2000-2010.

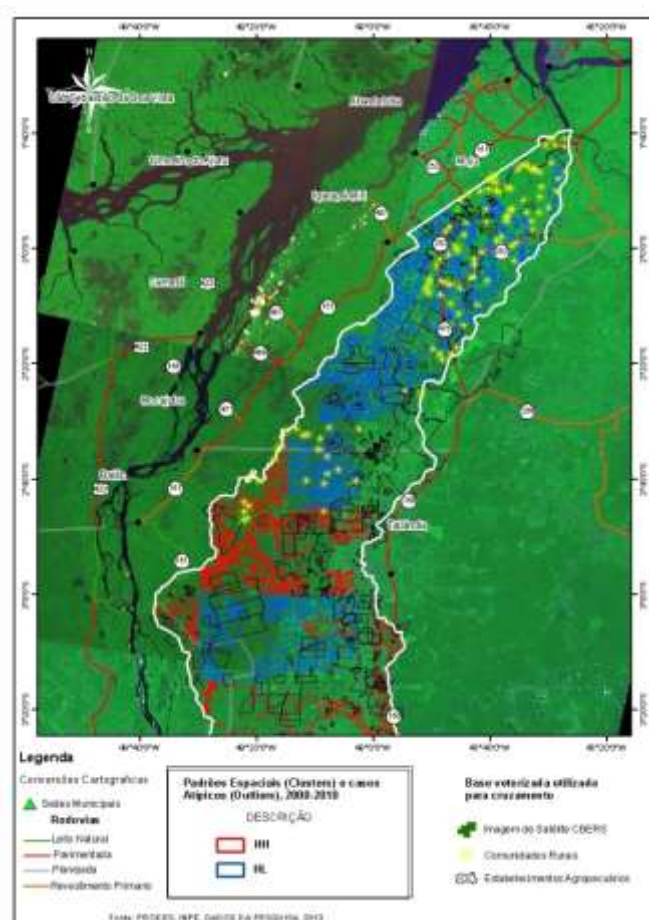
**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2013.

A comparação é nítida em identificar que a existe um claro destaque desta escala de desflorestamento para o município, e com reduzido impacto de área no período observado, no entanto, nada se pode ainda afirmar quanto a distribuição espacial desta escala. Para todo o período, hipoteticamente é possível que tenha ocorrido forte distribuição espacial, como resultado de variáveis demográficas, econômicas e também políticas (figura 12). Para ampliar o detalhe destas análises foram testados o nível de



associações espaciais destas áreas em três períodos diferentes para captar a dinâmica de deslocamento das escalas, assim como identificar *clusters* e casos atípicos.

O mesmo procedimento estatístico foi empregado para todo o período e a partir da análise exploratória dos dados do desflorestamento, as distribuições espaciais foram visualizadas e testadas a nível de *p-valor* < ou igual a 0,05% de probabilidade associado a um nível de confiança de 95%. Foram identificados correlações positivas e negativas no período e a formação de agrupamentos de objetos com valores de seus atributos análogos e a presença de casos atípicos (figura 13).



**Figura 13.** Configuração de padrões espaciais (*clusters*) e identificações de casos atípicos (*outliers*) do desflorestamento na zona rural de Moju, entre 2000-2010.

**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2013.

A menor visualização no mapa corresponde a mancha vermelha, índice Moran *cotype* HH, e apresentam correlações espaciais positivas indicando desflorestamentos com a presença de vizinhos com valores semelhantes, ou seja, geograficamente tem-se grandes polígonos de conversões circum-adjacente de grandes desflorestamentos, típico de aglomerações em *clusters* provenientes de grandes propriedades rurais estabelecidas

nestas áreas do município correspondente ao crescimento de amplas áreas privadas. A forte concentração da mancha direcionada para o sul e sudoeste do município indica um predomínio de elevados desflorestamentos neste sentido, o que estaria associado a existência de amplos ativos florestais, e também avanço para as áreas institucionalizadas (figura13).

A maior parcela da mancha no mapa, de cor azul, corresponde ao índice *cotype* HL onde as entidades de valores elevados (altas áreas convertidas) apresentam proximidade geográfica ou estão situados ao redor de pequenas áreas desflorestadas, nesse sentido, novas configurações são oriundas destas associações espaciais negativas estabelecendo casos atípicos e por isso de natureza mais complexa devendo ser investigado numa menor escala (figura13).

Estas manchas espaciais refletem não apenas novas áreas convertidas, como também a dinâmica associada a ocupação e uso do solo pelos agentes transformadores, podem ser definidas como complexos espaciais que refletem os sistemas concomitantemente funcionais e dinâmicos capazes de estabelecer padrões e de gerar novas tendências, apresentando outras configurações com complexidade ainda maior. Portanto, a associação espacial dos atributos geográficos do desflorestamento correspondem a interações entre as entidades e carecem de análise da realidade quando aplicada como complemento real da técnica.

O caso atípico HL no Moju, resultado da configuração espacial de todo o período analisado permitiu identificar que os índices foram predominantes e apresentaram correlação negativa, evoluindo provavelmente neste sentido. Os dados vetoriais, ainda que trabalhados inicialmente de forma estática, permitem inferir que de 2000 a 2010, ocorreu uma transferência da lógica do desflorestamento de objetos anômalos situados inicialmente ao norte da zona rural de Moju corresponde ao processo de colonização antiga do município e foram se reproduzindo para oeste e também ao sul da zona rural, refletindo de certa forma uma lógica de expansão das atividades produtivas (figura13).

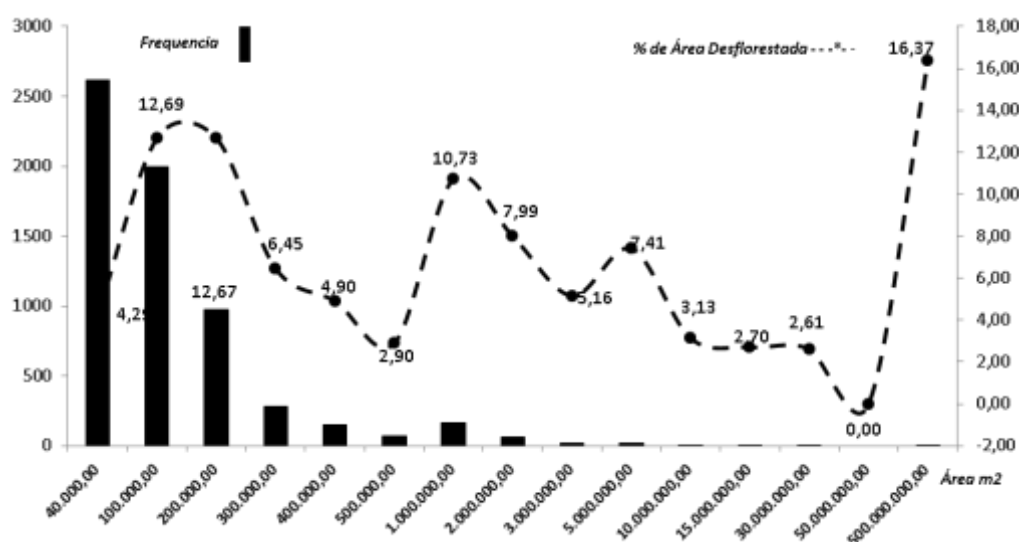
Como as atividades produtivas geram um efeito de atração, em determinadas áreas o estabelecimento de grandes projetos agropecuários permitiu o aumento da população em busca de emprego e renda, e em outras áreas, as comunidades tiveram que assistir o crescimento e a consolidação de atividades ao redor de seus pequenos roçados agrícolas,



o que explica o predomínio dos casos atípicos HL (alto-baixo) das conversões e sua relação de dependência com os adensamentos populacionais (figura13).

### Análise Desagregada: o desflorestamento de 2000 à 2003

O primeiro período analisado estabelece muita semelhança com os valores observados na análise agregada, analogias extendidas também para o posicionamento das curvas nas escalas definidas, isto se explica pela elevada representação desta série, com participação de 42,09% na composição do desflorestamento acumulado no município entre 2000 a 2010. Tal dinâmica de conversões também impôs seu ritmo para todo o período, com predomínio do desflorestamento até 4ha com mais de 2600 polígonos acumulados nesta escala (figura13).



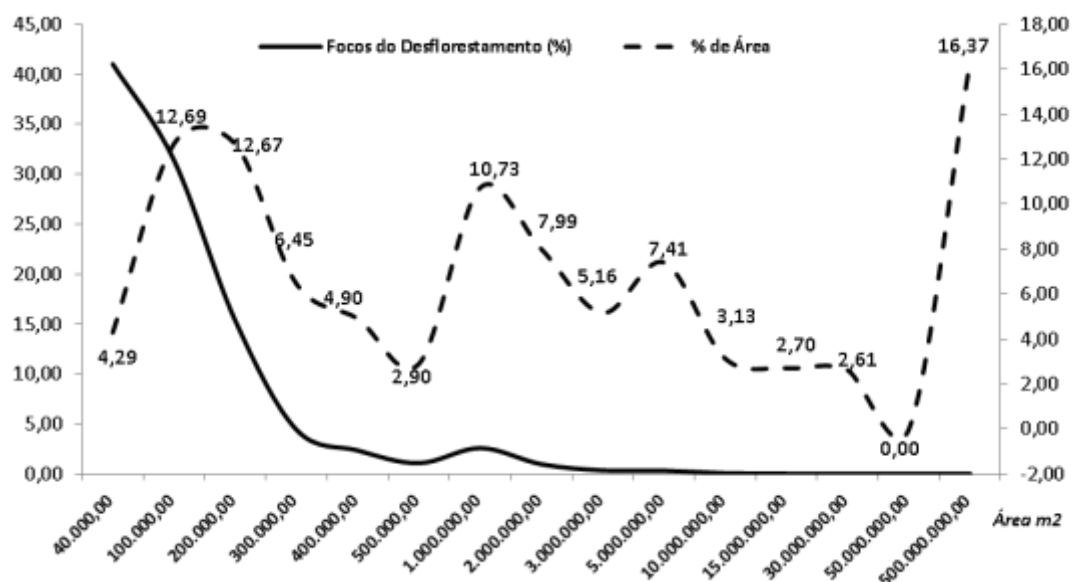
**Figura 14.** Comparativo entre a frequência das conversões e o percentual de área total desflorestadas, em escalas definidas, no período de 2000-2003.

**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2013.

Os desflorestamentos situados entre 5ha á 30ha respoderam no período por 31,81% das áreas convertidas, e escalas acima de 30ha até 100ha a correspondência de área chega a 18,53%, bem inferior na comparação com o primeiro intervalo de até 4ha, isto se deve ao agente promotor da conversão, uma vez que o desflorestamento acima de 5ha exige maquinários e grau médio de tecnologias, que e em geral não fazem parte dos fatores de produção do pequeno agricultor (figura13).

Outros 30% de área convertida no período reflete o intervalo de desflorestamentos acima de 100ha até 1000ha e 21,68% são decorrentes de escalas de desflorestamentos

acima de 1500ha, este valor menor também está associada a uma reduzida presença de estabelecimentos agropecuários com áreas acima de 1000ha, que no município somam 22 estabelecimentos (CENSO AGROPECUÁRIO, 2006). Quanto aos focos do desflorestamento foram analisados neste período 6372 polígonos com diferentes características de tamanho da área e distribuição espacial. Os desflorestamentos até 4ha representaram mais de 40% das ocorrências entre 2000 e 2003 com utilização de 4,29% da área total desflorestada, o que pode estar associado à lógica da agricultura familiar no processo de conversão, onde pequenos roçados são abertos para expandir a produção de lavouras temporárias, segundo o último censo agropecuário, são 1623 estabelecimentos agropecuários classificados nesta atividade com dimensão de área abaixo de 4 módulos fiscais (figura 15).



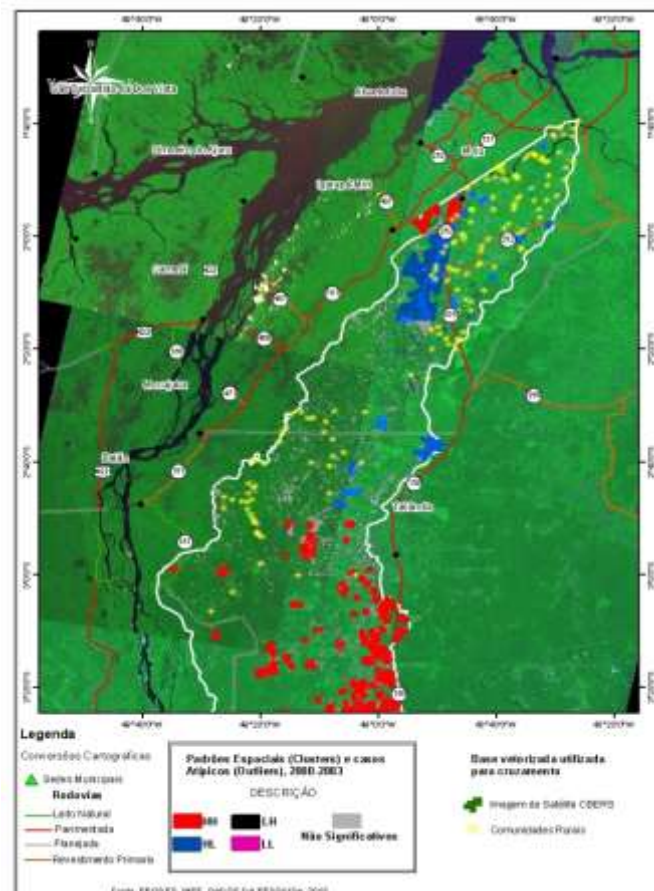
**Figura 15.** Comparativo entre os polígonos do desflorestamento e o percentual de área total desflorestada, em escalas definidas, no período de 2000-2003.

**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2013.

Por outro lado, o percentual sobe para 57,19% dos focos analisados quando a escala do intervalo situa-se entre 5ha e 100ha com respectiva resposta na utilização de área com magnitude equivalente de 50,34%, apresentando tendência de queda percentual para áreas com desflorestamento que ultrapassem 100ha. No entanto, para valores acima de 100ha o número de focos do desflorestamento no período foi de apenas 115 polígonos com participação relativa abaixo de 2% do total, a resposta de área para este número analisado revelou muita oscilação, com valor mínimo de 2,61% e máximo de 16,37% da área total e acumulado em mais de 45% de área (figura 15).

As oscilações do percentual de área em diferentes escalas revelam no mínimo alguma dificuldade na identificação de padrões do desflorestamento, pois o período analisado apresenta muita diversidade quando aumenta a escala das conversões com pequenas respostas de área, o que deve refletir num reduzido número de atributos estatisticamente significativos ou com valores observados diferentes dos padrões da aleatoriedade espacial. As correlações espaciais devem esclarecer melhor as associações de escala e suas proximidades geográficas para aceitar ou rejeitar a hipótese nula de aleatoriedade espacial (figura15).

As medidas das correlações espaciais indicam no período de 2000 a 2003 uma forte presença de *clusters* e casos atípicos, foram 456 índices estimados com significância estatística  $p\text{-valor} < \text{ou igual a } 0,05\%$  de probabilidade. A tipologia de *cotype* HH representou mais de 70% das associações espaciais, indicando entidades ou atributos de valores semelhantes combinada com proximidade geográfica dos atributos, ou seja, a variabilidade das estimativas acusaram elevados dados de área desflorestada cercados de altas conversões florestais (figura16).



**Figura 16.** Configuração de padrões espaciais (*clusters*) e identificações de casos atípicos (*outliers*) do desflorestamento na zona rural de Moju, entre 2000-2003.

**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2013.

As estimativas do índice de Moran levaram em consideração um limiar de distância onde todas as entidades (atributos) são considerados vizinhas de todas as demais entidades ou polígonos do desflorestamento, e a localização geográfica das interações do *cotype* HH estão situadas nas áreas com maior concentração de estabelecimentos agropecuários com características de grandes áreas, onde algumas somam mais de 7000ha, em parte grandes áreas privadas explicam elevadas áreas desflorestadas (figura16).

A localização dos padrões de elevado desflorestamento (clusters), coincide com a nova fronteira de expansão das atividades produtivas em Moju e uma grande influência das áreas fronteiriças com os municípios de Tailândia e Igarapé-Miri que estão localizado em zonas de consolidação das atividades produtivas e buscam explorar novos recursos florestais já esgotadas em seus limites e impulsionados por abertura de vicinais que facilitam o acesso aos recursos, o transporte de recursos e a fixação de comunidades rurais nestas áreas (figura16).

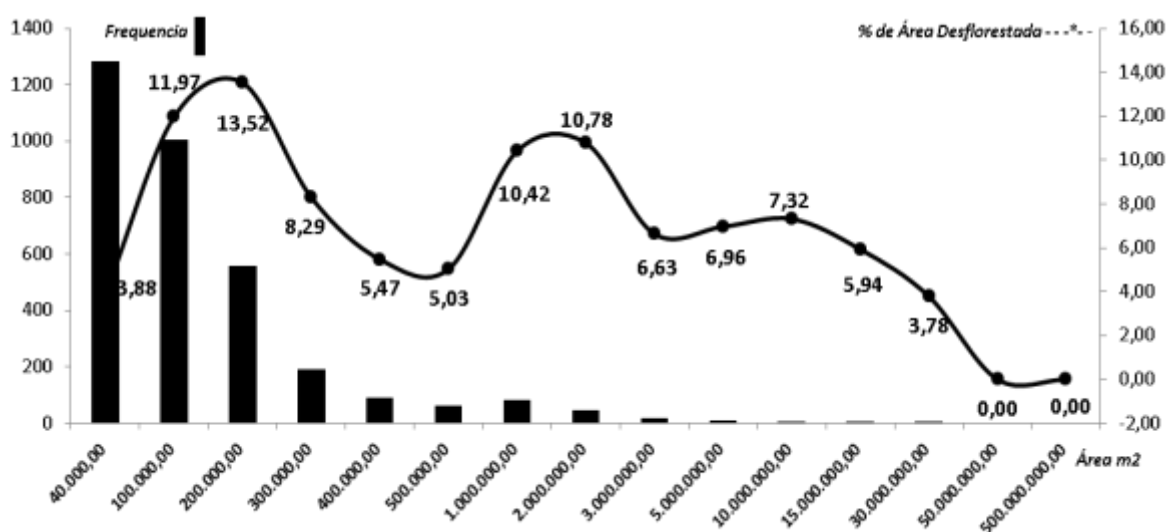
Os arranjos espaciais que resultaram na tipologia de *cotype* HL representaram 29,5% das interações nas áreas estimadas e situam-se com maior frequência geográfica ao norte do município de Moju e correspondem a um novo regime espacial com presença de elevados desflorestamentos cercados de pequenas conversões, o que pode ser explicado pela grande concentração de comunidades rurais presentes e fixadas nestas áreas a bastante tempo, como o caso das comunidades de Piateua, Ateua Grande, Ateuazinho, Bandeirantes, Olho d'água do Jupuuba, Jupuuba e Vila da paz para citar os aglomerados de pequenos produtores rurais (figura16).

O índice Local de Moran identificou não apenas valores pertencentes a atributos discrepantes, mas a formação de arranjos em áreas de transição provenientes de situações atípicas resultantes das dinâmicas de desflorestamento que as áreas estão enfrentando, sob uma lógica com proposições diferenciadas pelos agentes envolvidos no processo de conversões. Estes arranjos revelam em parte o avanço dos grandes projetos de plantio de dendê nestas áreas e uma ligeira transformação em favor da monocultura a serviço do agronegócio.

Portanto, neste período fica evidente dois arranjos do desflorestamento, o primeiro revela padrões espaciais claramente pertencentes a lógica de grandes áreas desflorestadas situadas em sua maioria em estabelecimentos agropecuários privados e com grandes perímetro de extensão cercados por atributos de conversão de parecida magnitude. O segundo, sustenta arranjos espaciais mais complexos que combinam a concentração de grandes áreas desflorestadas com a persistência de pequenos desflorestamentos ao redor, que em parte ainda resistem pela cultura do cultivo de algumas comunidades e de resistência em vender suas áreas, e assim não permitir o aumento das conversões florestais.

### Análise Desagregada: o desflorestamento de 2004 à 2006

A forte participação do período anterior tendência parâmetros para este período que revela muitas semelhanças com a dinâmica precedente principalmente em relação aos valores absolutos, no entanto, é possível também identificar pontos de divergência bem situados, mais ainda como consequência do ritmo imposto entre 2000 a 2003. As semelhanças respondem pela proporcionalidade dos eventos das conversões até 4ha, que apresentaram a maior participação dos casos do desflorestamento e menor impacto na comparação com todas as escalas definidas, uma participação situada em 3,88% do total desflorestado no período (figura17).

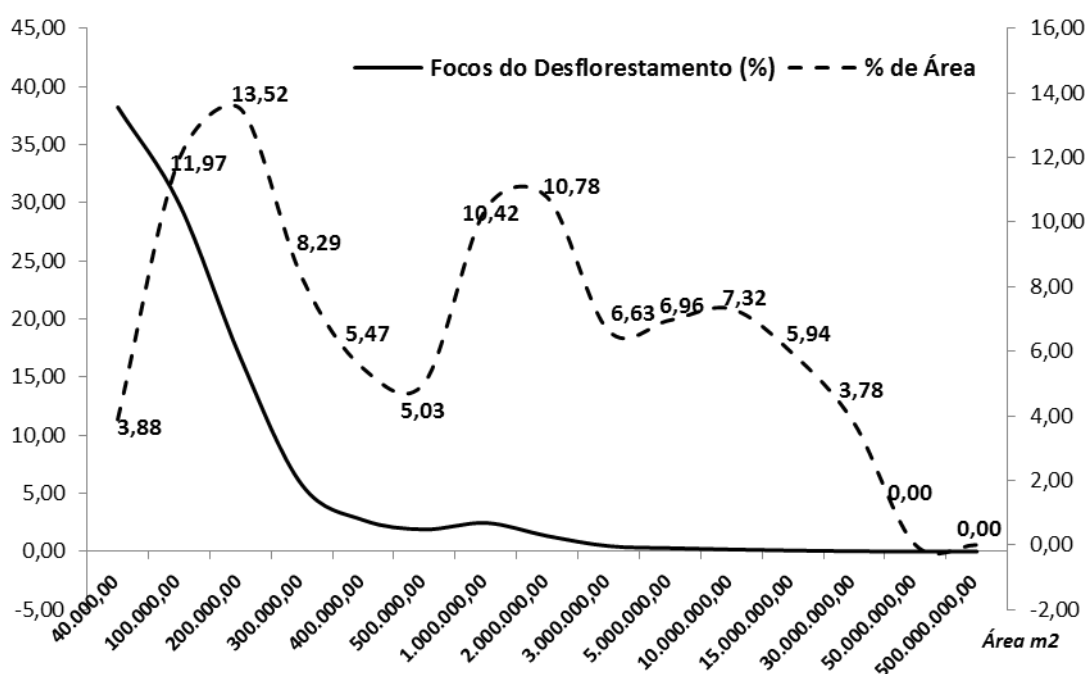


**Figura 17.** Comparativo entre a frequência das conversões e o percentual de área total desflorestadas, em escalas definidas, no período de 2004-2006.

**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2013.

Os intervalos situadas entre 5ha a 30ha o percentual de área desflorestada também se aproxima do primeiro período e corresponde no período atual a 33,78% das áreas desflorestadas e para valores acima de 30ha até 100ha a área correspondente foi de 20,92% do total desflorestado, bem próxima da série anterior refletindo dinâmicas equivalentes de conversão para esta escala de desflorestamento, mantendo certa continuidade com a outra série para valores acima de 100ha. A principal diferença são de grandes desflorestamentos, áreas maiores que 3.000ha que no atual período não foram identificadas nos 3.363 polígonos analisados (figura17).

Quanto aos focos do desflorestamento no período foram analisados mais de 3.000 focos (polígonos) na zona rural de Moju, com elevada concentração das ocorrências com áreas desflorestadas até 4ha, ou seja, foram 1285 pontos de coordenadas o que equivale a 38,21% de todos os focos observados. Quando a área desflorestada sobe em escala, num intervalo situado até 30ha, o percentual das ocorrências de foco ultrapassa 90% dos casos, o que reflete uma tendência de todo o período analisado de forma agregada (figura18).



**Figura 18.** Comparativo entre os polígonos do desflorestamento e o percentual de área total desflorestadas, em escalas definidas, no período de 2004-2006.

**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2013.

A tendência da linha dos focos do desflorestamento tem muita proximidade com o período anterior quando é observado um ponto elevado onde ocorre a concentração entrando em continua queda com o aumento da escala das conversões e novamente um ponto de inflexão situado na escala entre 30ha e 40ha, quando segue suavizada de forma continua nas ocorrências (figura18).

Outras equivalências entre o atual período e o anterior (2000 a 2003) reflete um comportamento semelhante no percentual de área, ambos abaixo de 5% do total de áreas utilizadas nesta escala, ou seja, o forte predomínio dos focos com até 4ha não corresponde a igual magnitude na conversão de áreas, isto reflete um comportamento dos agentes de pequeno porte, típicos da agricultura familiar que não precisam de grandes áreas para assentar suas lavouras e refletem reduzido impacto de área nessa dinâmica de intervenção (figura18).

As semelhanças se mantem equivalente até 100ha, quando apartir desta escala a participação no total de área vem diminuindo continuamente, com a presença de pequena alteração entre intervalos, no entanto sem reversão de tendência, o que estaria associado a escassez de áreas privadas muito grandes para efetuar desflorestamento de grande porte, e mesmo uma limitação das propriedades imposta pela legislação ambiental da reserva legal de 80%, reforçando á análise anterior de menor ocorrência de elevadas conversões (figura18).

Quanto as configurações espaciais para este periodo (2004-2006), as correlações identificaram novas tipologias dentro da análise do coeficiente local de Moran, categoriais estas mais complexas que descrevem maior dinamismo das conversões combinado com relativa distribuição espacial dos arranjos. Em termos gerais, considerando as interações espaciais verificou-se que em várias proximidades geográficas coexistem diversos arranjos, o que reflete com maior austeridade a dinâmica do desflorestamento na realidade rural do município de Moju (figura19).

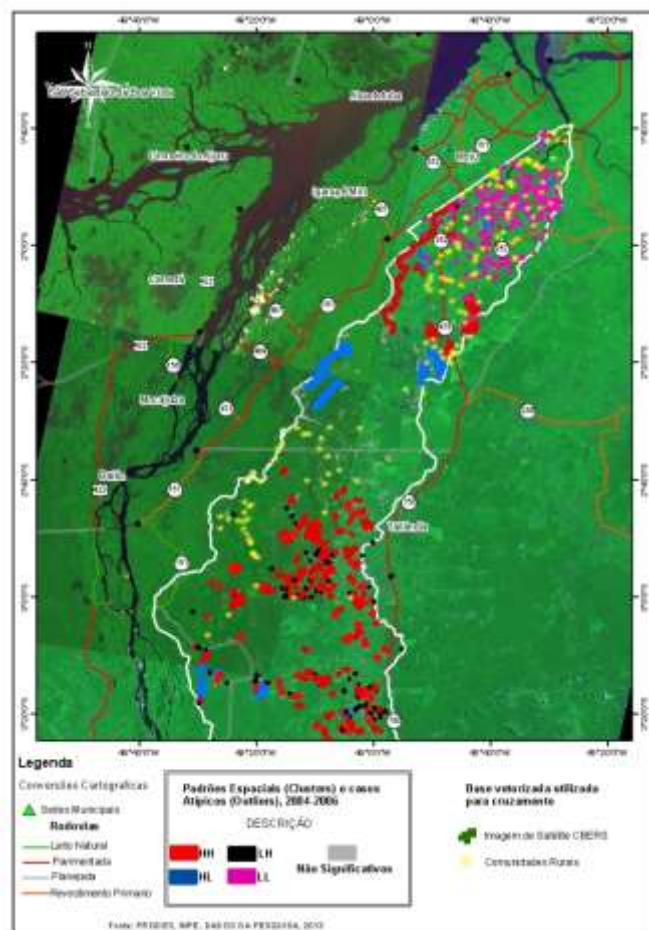
A maior distribuição dos arranjos espaciais reflete significativas mudanças das conversões e concomitantemente descrevem processos de interação diferenciados entre os agentes, a combinação da análise pelo espaço geográfico é mais sensível na identificação de padrões e casos atípicos e descreve cronologicamente quais são novos arranjos assumidos naquele espaço, que atividades estariam associados a ele e os agentes reponsáveis pelo processo de conversão (figura19).

O mapa atual das configurações espaciais apresenta um crescimento das pequenas conversões cercadas por escalas abaixo da média, do *cotype* LL, em que predominam associações espaciais de Moran de baixo valores refletindo concentrações em *clusters* de pequenos agricultores liderando o processo de conversões, o que se confirma pelo cruzamento vetorial com as localizações das comunidades rurais (figura19).

Para esta mancha do índice local de Moran *cotype* LL, a concentração das associações coincide com a proximidades das comunidades de castanhandeua, Ramal da Cunha, Curuçá, Papua, Curuperé, Serrana, União, São Jorge, Nov Vida, Maratipau, Luso e Campina, onde existem grande densidade populacional e predominam a pequena produção, são comunidades consolidadas pertencentes ao processo de colonização antiga do Moju, com presença de populações tradicionais (quilombos e ribeirinhos) e que mantém seus pequenos roçados para subsistência, baseados tipicamente no cultivo da mandioca, a área apresenta a maior produção da cultura no município, com elogios de produzir a melhor farinha da zona rural do município (conhecida como farinha do Puaçê).

Os grandes desflorestamentos neste período (2004-2006), intensificaram a tendência anunciada no período ex-ante (2000-2003), quando fortes deslocamentos de grande escala das conversões das regiões do Baixo Moju para o Alto Moju, direção norte-sul no município foi identificado, com 51,32% do desflorestamento acima 100ha ocorridos em áreas com intenso estabelecimentos agropecuários na fronteira de Tailândia, Baião e Mocajuba (figura19).





**Figura 19.** Configuração de padrões espaciais (*clusters*) e identificações de casos atípicos (*outliers*) do desflorestamento na zona rural de Moju, entre 2004-2006.

**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2013.

As configurações atípicas do *cotype* HL foram identificadas em todo o município, sem maiores expressões de concentração espacial, mais especificamente na região de jambuaçu no extremo norte de Moju, onde grandes desflorestamentos liderados pelos projetos agropecuários, principalmente de plantio de dendê estão ampliando parcerias com pequenos produtores e expandindo as áreas de plantio de forma mais direta, e indiretamente, os pequenos produtores na expectativa de valorização de suas terras tem promovido desflorestamento em suas áreas, para oportunizar a venda (figura19).

As manchas em azul apresentaram valores dos atributos elevados com a presença de vizinhos com valores abaixo da média, ou seja, elevados conversões ao lado de pequenos desflorestamentos, o que reflete áreas em transição e que a própria dinâmica do desflorestamento deve tendenciar ao predomínio de grandes áreas desflorestadas. As maiores manchas no temático remetem as áreas de influencia do município de Acará e

projetos de expansão da empresa Agropalma e parcerias com vários assentamentos, entre os quais olho d'água II (figura19).

O arranjo identificado mais ao oeste de Moju, fronteira com o município de Cametá correspondente também ao *cotype* HL, e no período analisado (2004-2006) vários plantios de dendê foram iniciados estabelecendo parceria com pequenos produtores na região do médio moju conhecida como também distrito Cairari, desflorestamento de no mínimo 2ha combinado com áreas desflorestadas de até 120ha, associados ao início das parcerias com o Programa de Produção e Uso Sustentável de Biodiesel – PNPB do Governo Federal (figura19).

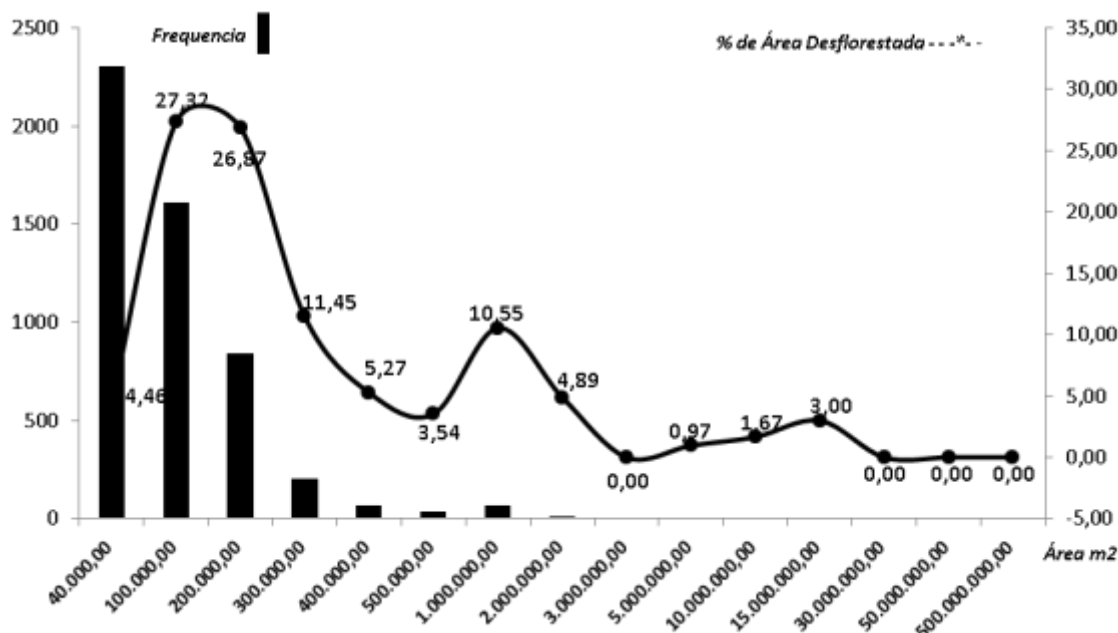
Ao sul do município, na região do alto Moju também foram identificados polígonos de elevados desflorestamento rodeados de pequenas conversões no período recente, com pequenos espalhamentos na região indicando que estas áreas encontram-se em processo de transição. Outros arranjos complementam estas análises, é o caso das correlações espaciais indicados pelos de *cotype* HH e LH, pois de um lado a concentração espacial destes índices são na mesma região do município (figura19).

Uma comparação entre os resultados da autocorrelação Local de Moran indicam um predomínio na região do Alto Moju, com forte concentração próximo as comunidades de Nossa Sr<sup>a</sup> de Fátima, São Benedito e São Sebastião de arranjos aglomerativos do *cotype* HH com forte tendência de ampliar as áreas desflorestadas com características semelhantes no entorno, tendo em vista as negociações de pequenas propriedades de até 100ha que devem ser convertidas em grandes conversões, principalmente assumidas pelo dendê. Os arranjos do *cotype* LH associam pequenas conversões cercados de grandes desflorestamentos próximo as comunidades do distrito Cairai, Vila Pires e Casa Grande, reforçando a dinâmica dos grandes desflorestamentos se dirigirem para esta região em decorrência de grandes projetos já consolidados na área, entre os quais a fazenda Codenorte, Mamorana, Projeto Sipasa Seringa e Mariza, onde encontram-se altos investimentos na agropecuária (figura19).

### **Análise Desagregada: o desflorestamento de 2007 à 2010**

A análise do último período apresentou o menor área desflorestada entre os demais analisados, representando 20,58% do total desflorestado contra 27,74% do período logo anterior (2004-2006), e 51,40% do período inicial (2000-2003), revelando tendência de queda quando comparados no tempo, o que se explica pelo próprio aumento das áreas

de consolidação das atividades produtivas e o aumento das áreas institucionalizadas, entre as quais temos: terra indígena, assentamentos rurais, reservas extrativistas e áreas de quilombos (figura20).

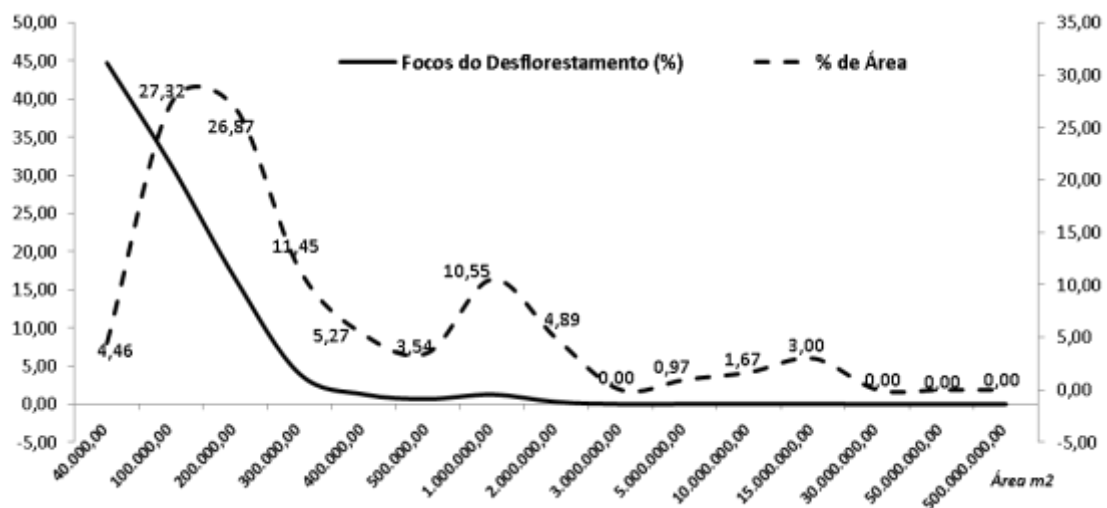


**Figura 20.** Comparativo entre a frequência das conversões e o percentual de área total desflorestadas, em escalas definidas, no período de 2007-2010.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2013.

A dinâmica das conversões com escala até 4ha se mantém dentro da média do período anterior consolidando também os resultados da análise agregada para toda a série analisada (2000 à 2010), com forte concentração em termos absolutos para até esta escala 4ha de área desflorestada. As grandes diferenças no impacto do percentual de áreas são determinadas neste período por intervalos de desflorestamento maiores que 5ha até 30ha, onde os impactos de área chegam a representar mais de 27% das áreas de conversões, isto estaria associado a maiores frequências de desflorestamentos para este tamanho de área devida a mudanças geográficas das recentes conversões (figura20).

Quando foi analisado os intervalos maiores que 5ha até 100ha a representatividade de área para esta escala ultrapassa os 85% da área total convertida, bem acima dos 50% identificados nos dois períodos já analisados, o que sinaliza para um arranjo espacial em transição, as grandes áreas para conversões não estão mais disponíveis, devido a histórico processos de intervenção antrópica e aquele grande desflorestamento está dando lugar ao médio desflorestamento no município, ou seja, ocorreu considerável queda na representação de área de conversões acima de 100ha (figura20).

Comparativamente ao período anterior (2004-2006), a atual análise dos focos do desflorestamento apresentou menor área total desflorestada combinada com maior quantidade de focos entre períodos e 70,32% de focos a mais que o período anterior na escala até 4ha de área, o que revela não só uma maior concentração de atributos geográficos neste intervalo como também sujere mais estímulos de conversões de pequeno porte (figura21).



**Figura 21.** Comparativo entre os polígonos do desflorestamento e o percentual de área total desflorestadas, em escalas definidas, no período de 2007-2010.

**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2013.

As comparações percentuais entre os focos e área desflorestada neste ultimo periodo apresentam uma forte concentração dos polígonos até a escala de 30ha, ou seja, uma representatividade de mais de 96% dos 5149 focos analisados sinalizando uma mudança dos agentes na transformação da paisagem, ou novos arranjos que estão se estabelecendo em decorrência das interações sociais e econômicas e da lógica de conversões que vem apresentando mudanças impostas pelas condições de acesso a terra e reserva de recursos atuais, de algum modo a permanência dos padrões de conversões observados em períodos anteriores começa a enfrentar mudanças (figura21).

A comparação entre períodos revela que a dinâmica das conversões vem alterando significativamente a escala do desflorestamento, concentrando fortemente os focos em escalas consideradas médias, neste ultimo periodo até 30ha, intervalo bem abaixo do perfil observado nas análises anteriores, o que pode estar anunciando um desflorestamento compartilhado, assumido por pequenos produtores na tentativa de atingir maior valorização de suas áreas, imposta por culturas de tendência monocultora

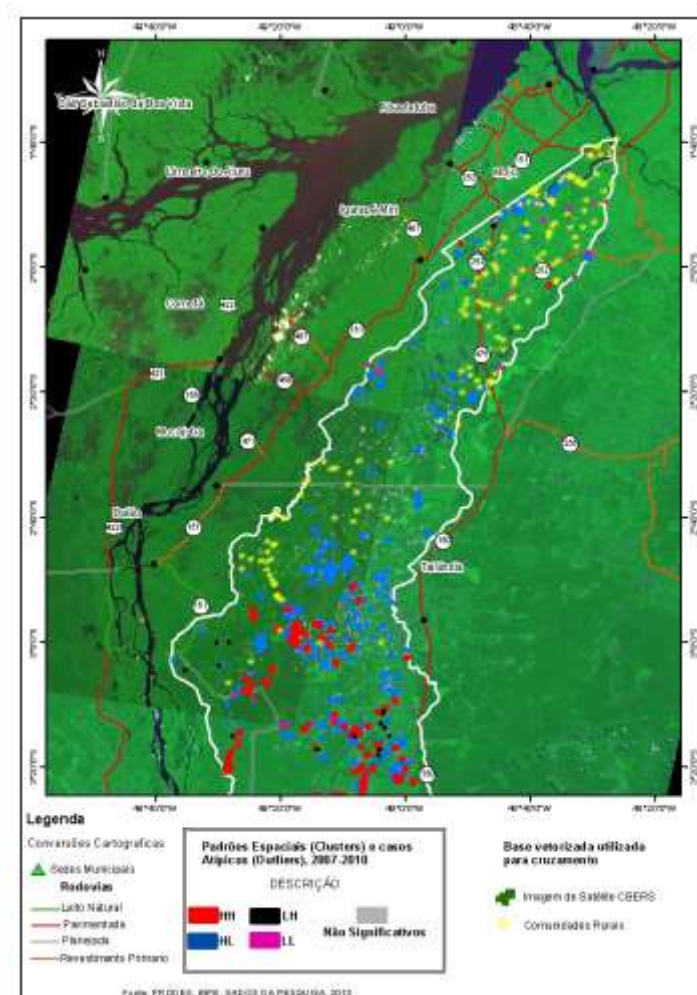
e que necessitam de grandes áreas para expandir a produção, ou o estabelecimentos de arranjos espaciais mais complexos podem sustentar estas hipóteses (figura21).

A identificação das alterações não revelam apenas um novo ritmo do desflorestamento em Moju, mas parecem sinalizar transformações mais profundas sobre a estrutura de desenvolvimento das forças produtivas na zona rural, que rapidamente respondem pelo estabelecimento de novas configurações espaciais como consequência das expectativas criadas pela interação de forças econômicas, sociais e políticas no meio rural.

O aumento das conversões até 30ha nos estabelecimentos agropecuários pode estar promovendo a sustentação do aumento de áreas destinadas ao plantio de culturais como o dendê, nesse último período a concentração dos focos nesta escala pode estar associada a uma mudança na lógica da pequena produção no Moju tendo em vista que a oportunidade de emprego assalariado nas grandes empresas que lidam com a cultura tem influenciado a decisão de venda das propriedades particulares, que em geral correspondem até a quatro módulos fiscais de 25ha cada.

Esta influência sobre os produtores em parte constituiu-se da pressão por novas áreas e o estabelecimento de novos arranjos espaciais, estes anunciados pela relação dos focos do desflorestamento e o percentual de área, que vinculam contratos com as comunidades para assumir parte da produção em suas áreas após desflorestadas e assim estabelecer novas estratégias de espacializar a produção, nesse sentido a interação espacial dos atributos e as escalas predefinidas esclarecem melhor estas configurações das conversões.

A dinâmica do desflorestamento para este último período de análise (2007-2010), consolida as tendências dos períodos anteriores principalmente quando identifica novas configurações espaciais decorrentes da dinâmica territorial (figura22). Os padrões em *clusters* do *cotype* HH seguiram fortemente a disposição das conversões do período anterior, tornando-se a nova área de expansão das atividades produtivas do município, que em parte responde por uma grande quantidade de áreas verdes e uma elevada expansão dos estabelecimentos agropecuários para esta região, de acordo com o temático classificação supervisionada do período recente na (figura10).



**Figura 22.** Configuração de padrões espaciais (*clusters*) e identificações de casos atípicos (*outliers*) do desflorestamento na zona rural de Moju, entre 2007-2010.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2013.

Os padrões das elevadas conversões identificam mais do unidades continuas na região do Alto Moju, estabelecem e também descrevem características complexas de relações sociais que exercem alguma centralidade atraindo fluxos populacionais e novas atividades, que no caso dos padrões HH estariam ligado tanto ao aproveitamento destas novas áreas de expansão econômica e a proximidade do município de Tailândia que possui habilitação para licenciamento de atividades produtivas de pequeno impacto, exercendo plenamente a gestão ambiental. O notável direcionamento dos grandes desflorestamentos para o sul de Moju identificados nos períodos anteriores se confirma atual e concomitantemente começa a dividir espaço com as pequenas conversões que mesmo de maneira incipiente já apresenta alguma correlação espacial do *cotype* LL timidamente notada (figura22).

Nas configurações espaciais para este período é possível identificar a formação de um mosaico de interações baseados no índice local de Moran, quando observa-se aglomerações e casos atípicos na região do alto Moju, onde as funcionalidades ponderadas pelas conversões acusam mais de 96% dos polígonos para desflorestamentos até 30ha e mais de 70% da área desflorestada convertida nesta escala. Na comparação com os demais períodos a área total desflorestada no período recente apresenta a menor contribuição da série com apenas 20,86 das áreas desflorestadas, isto reforça a direção das conversões no município, sentido norte-sul, ou seja, região do alto Moju que concentrou 69% das polígonos convertidos (figura22).

As configurações espaciais atestam grande mobilidade de recursos para esta região, dinâmicas intensas, complexas e ao mesmo tempo complementares na alocação de fatores, os índices do *cotype* LH refletem a presença de pequenas conversões rodeadas de grandes desflorestamentos e pequenos desflorestamentos cercados de conversões de escala de mesma magnitude em pequenos pontos na região correspondem ao *cotype* LL, o que estaria associado a pequenos roçados de agricultores de subsistência. Por último, neste período ocorreu predomínio de grandes áreas desflorestadas em toda a zona rural rodeados de pequenas áreas desflorestadas, o que reflete com maior fidelidade a realidade rural, identificando as complexas interações no município (figura22).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A evolução do desflorestamento nos últimos dez anos apresenta tendência de queda em Moju, no entanto a participação dos grandes polígonos desflorestados predomina na área total convertida, ou seja, apesar de grandes oscilações identificadas até 2005, depois deste ano as conversões ficaram mais estáveis, com direcionamento para a região do Alto Moju e as áreas acima de 10ha desflorestadas responderam por mais de 90% do total convertido.

A presença dos grandes projetos no município assim como a elevada concentração de estabelecimentos agropecuários de grande porte aliados a maior densidade populacional nas áreas rurais são os principais vetores que influenciaram diretamente a elevação dos pontos centrais do desflorestamento. A distribuição espacial das atividades produtivas lideradas pela expansão agropecuária e aumento das áreas plantadas de culturas industriais, ligadas fortemente a presença de capital estrangeiro contribuíram como os principais vetores dos desflorestamentos e das conversões de ecossistemas.

A espacialização das atividades produtivas tem avançado dinamizando a homogeneização de espaços produtivos, via expansão do plantio de dendê de forma mais direta e indiretamente, a valorização de áreas descampadas têm influenciado novos desflorestamentos pelos agricultores familiares. A especulação fundiária na zona rural tem motivado diretamente as conversões para aumento da área plantada dendê, tendo em vista a limitação da reserva legal e áreas institucionalizadas imposta aos grandes projetos que atuam na região.

O uso das classificações supervisionadas das imagens de satélite do tipo *CIBERS* permitiu identificar avanços significativos no processo de conversões florestais com direcionamento do desflorestamento no sentido norte-sul. Os temáticos que mais se destacaram no período foram as classes de solo exposto, ecossistemas sucessionais e os plantios de dendê, o que se explica pela expansão das atividades ligadas ao Projeto Nacional de Produção e Uso Sustentável de Biodiesel, novas áreas adquiridas pelas empresas Marbores, Agropalma, novos investimentos ligados à empresa Biovale, Biopalma e prestadoras de serviços, aumentando as parcerias de plantio com os agricultores familiares.

A expansão produtiva no município de Moju concentra-se nas atividades das culturas industriais de dendê, coco-da-bahia e pimenta-do-reino, exploração florestal, pecuária, culturais temporárias como mandioca, arroz, feijão e as atividades correlatas e de apoio às culturas citadas. Quanto à concentração, o dendê, o plantio de coco-da-bahia, a pecuária e a exploração florestal são os principais vetores do desflorestamento na zona rural de Moju, sendo que as conversões não obedecem aos limites municipais dificultando a gestão sobre os recursos naturais e a própria municipalização da gestão, quando os municípios deveriam assumir as competências das habilitações, o monitoramento e a fiscalização no seu território.

As análises sobre a dinâmica do desflorestamento também obrigam a tratar o tema sob o enfoque da geografia econômica, pois as atividades que apresentam aptidão e estão recomendadas como expansão produtiva segundo critérios do zoneamento ecológico-econômico em áreas adjacentes, exercem grande influência no processo de conversões florestais, como o caso dos municípios de Tailândia, Acará, Mocajuba e Baião, originando maior dificuldade na administração das fronteiras, já dificultado pela fisiografia atual do município que conta com mais de 9.000Km<sup>2</sup> de área territorial.



Quanto aos padrões espaciais a análise agregada apresentou tendências para as conversões na série consolidada. De um lado, foi observado o predomínio dos grandes desflorestamentos cercados de grandes áreas convertidas, com direcionamento em cluster para o sul do município de Moju. De outro, a presença de muitos casos atípicos com índices locais que identificaram grandes desflorestamentos cercados por pequenas conversões em maior distribuição geográfica na zona rural.

Em termos desagregados, os padrões do desflorestamento justificam a tendência de toda a série e apresentam um fenômeno complexo, no entanto, mais realista e apropriado para a análise do fenômeno na zona rural do município. As dinâmicas territoriais das conversões são precedidas de correlações espaciais que compartilham propriedades de dimensões tranfronteiriças e que exigem um cruzamento de dados maior para a compressão de arranjos complexos e do funcionamento de atividades produtivas.

As conectividades produtivas ampliam o processo de desflorestamento porque demandam maior quantidade de fatores produtivos, o que explica em parte o aumento da população e a maior concentração de pessoas em determinadas áreas rurais. As configurações espaciais apresentam-se de forma contínua quando a série é analisada de forma agregada e descontínua quando os períodos são intercalados, preconizando uma maneira de compreender a dinâmica das conversões no Moju.

Os padrões associados aos períodos permitiu visualizar processos de aglomerações de áreas desflorestadas e também a formação de manchas que indicaram áreas de transições destes desflorestamentos, o que intrinsicamente estariam associados a mudanças de atividades econômicas, movimentos populacionais, maior acessibilidade pelas estradas vicinais, entre outros. As categorias emergentes refletem em parte mudanças mais abruptas e de natureza efêmera influenciadas por condições de mercado e de políticas públicas.

As mudanças processadas nos padrões estão associadas aos deslocamentos dos casos atípicos, que refletem melhor a dinâmica das conversões, isto significa que de um lado o primeiro período (2000-2003), existe uma divisão mais clara nos padrões espacializados pelas correlações. De outro, fica evidenciado que a escala das conversões estão associados a categoria do agente promotor do desflorestamento e a sua dinâmica espacial na zona rural de Moju.

As análises específicas das correlações espaciais entre períodos revelou que a abrangência do desflorestamento ultrapassou os limites municipais e uma configuração territorial começa a se desenhar como vetor dos padrões espaciais. As configurações do espaço apontadas pela ferramenta da estatística espacial são também configuradas pela influência de fronteira, pois as propriedades rurais também não obedecem a tais limites, emergindo unidades territoriais específicas e com interações diferenciadas.

As associações espaciais identificadas pelo coeficientes de Moran revelaram os agrupamentos dos grandes e pequenos desflorestamentos, associados pela semelhança de seus atributos, e o aparecimento de *outliers* relacionados a combinação em determinada proximidade territorial de altos e baixos desflorestamentos e vice-versa. A presença simultânea de classes diferenciadas estabelecidas pelos índices, indica parte da diversidade da dinâmica das conversões no meio rural, que pode estar correlacionado com a heterogeneidade do espaço, a disponibilidade de recursos, a dinâmica produtiva e o grau de acessibilidade.

As políticas públicas de monitoramento e combate ao desflorestamento deve considerar que os padrões são diferenciados geograficamente e sujeitos a mudanças entre os períodos, qualquer intervenção do Estado deve considerar as interações relevantes e compreender quais são as dinâmicas engendradas pelo processo de conversões florestais. A presença de comunidades ou a concentração populacional exerce influência direta na identificação dos padrões interferindo diretamente na dinâmica do desflorestamento, porque as conversões florestais desses agentes tem reduzido peso na área total desflorestada e quando consolidadas ajudam a conter os elevados desflorestamentos.

A elevada concentração dos padrões de elevados desflorestamentos para o sul de Moju estão relacionadas a maior quantidade de área privada e principalmente pelo tamanho dos estabelecimentos agropecuários, que apresentam média de 350ha. O direcionamento desta escala das conversões também estaria associado com a maior disponibilidade de recursos naturais e a proximidade de municípios como Tailandia e Acará que possui maior acessibilidade, infraestrutura e já avançaram no processo de gestão ambiental, no caso do primeiro o município já exerce a gestão ambiental plena e licencia atividades produtivas de baixo impacto.

A análise das autocorrelações via estatística espacial permitiu caracterizar os espaços geográficos oferecendo maior clareza sobre as mudanças das conversões florestais e suas tendências no espaço, o que ajuda a entender qual a direção do desflorestamento e a dinâmica produtiva a ele associado estabelecendo uma análise na compreensão individual das classes estimadas. Por conseguinte, os resultados do Índice Local de Moran identificou as áreas que precisam de maior atenção pela forte conversões geograficamente localizadas, o esclarecimento da direção do desflorestamento e a escala de distribuição na zona rural do município e a interseção com outros limites municipais, estendendo uma compreensão de território para o processo de desflorestamento.

Portanto, os padrões espaciais do desflorestamento podem oferecer a gestão ambiental do Governo Estadual e Municipal, um avanço no processo de fiscalização das conversões no meio rural, sob um enfoque de desconcentração e descentralização das ações de monitoramento e fiscalização, permitindo priorizar investimentos assim como várias ações de políticas públicas por meio das compreensões de dinâmicas territoriais.

## REFERÊNCIAS

ACHARD, F; DeFRIES, R; HEROLD, M; MURDIYARSO, D; SCHLAMADINGER, B; SOUZA, C. Earth observatins for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. *Environmental science & policy*, vol. 202, pp 385-394, 2007.

93-105, 1995.

ANSELIN, L; BAO, S. Exploraty Spatial Data Analysis Linkig SpaceStat ArcVieW. In: Fisher, M.M & Getis, A. Recent development in spatial analysis. Springer, vol.32, pp 35-39, 1997.

ANGELSEN, A. Agricultural expansion and deforestation: modeling the impact of population, market forces and property rights. *Journal of Development Economics*, vol. 58, pp 185-218, 1999.

AGARWAL, D. K; SILANDER, J. A; GELFAND, A. E; DEWAR, R. E; MICKELSON, J.G. Tropical deforestation in Madagascar: analysis using hierarchical, spatially explicit, Bayesian regression models. *Ecological Modelling*, vol. 185, pp 105-131, 2005.

AGUIAR, A. P. D; CÂMARA, G; ESCADA, M. I. S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity. *Ecological Modelling*, vol. 209, pp 169-188, 2007.

CAMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: Banco de Dados Geográficos. MundoGEO, 2005.

CELENTANO, DANIELLE; SILLS, ERIN; SALES, MARCIO; VERÍSSIMO, ADALBERTO. Welfare Outcomes and the Advance of the Deforestation Frontier in the Brazilian Amazon. *World Development*, vol. 40, pp 8 54-864, 2012.

ECKERT, S; RATSIMBA, H. R; RAKOTONDRASOA, L. O; RAJOELISON, L.G; EHRENSPERGER, A. Deforestation and forest degradation monitoring and assessment of biomass and carbono stock of lowland rainforest in the Analanjirofo region, Madagascar. *Forest Ecology and Management*, vol. 252, pp 1997-2007, 2011.

ENTWISLE, B; RINDFUSS, R; WALSH, S. J; PAGE, P.H. Population growth and its spatial distribution as factors in the deforestation of Nang Rong, Thailand. *Geoforum*, vol. 39, pp 879-897, 2008.

ETTER, A; McALPINE, C; WILSON, K; PHINN, S; POSSINGHAM, H. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture Ecosystem & Enviroment*, vol. 114, pp 369-386, 2006.

GARCIA, A. J; JANVRY, A; SADOULET, E. A tale Two Communities: Explaining Deforestation in Mexico. *World Development*, vol. 33, pp 219-235, 2005.

GARCIA, A. J. A spatial analysis of common property deforestation. *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 53, pp 141-157, 2007.

LAAKE, P. E. V; AZOFEIFA, G. A. S. Focus on deforestation: zooming in on hot spots in highly fragmented ecosystems in Costa Rica. *Agriculture Ecosystems & Environment*, vol. 102, pp3-15, 2004.

SANTOS, M. Espaço e Método. São Paulo: Nobel, 1985.

SEARLE, J. R. Mind, Language e Society. New York: Basic Books, 1998.

WHITTLE, M; QUEGAN, S; URUY, Y; STUEWE, M; YALIANO, K. Detection of tropical deforestation using ALOS-PASSAR: A Sumatran case study. *Remote Sensing of Environment*, vol. 124, pp 83-98, 2012.

WYMAN, M. S; STEIN, T. V. Modeling social and land-use/land-cover change data to assess data drivers of smallholder deforestation in Belize. *Applied Geography*, vol. 30, pp 329-342, 2010.

[FREITAS, R. M.; SHIMABUKURO, Y. E. Combining wavelets and linear spectral mixture model for MODIS satellite sensor time-series analysis. \*Journal of Computational Interdisciplinary Sciences\* \(2008\) 1\(1\):51-56. DOI: 10.6062/jcis.2008.01.01.0005. <http://www.epacis.net/jcis>.](http://www.epacis.net/jcis)

RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil (The MODIS sensor and its environmental applications in Brazil). São José dos Campos, SP. Parêntese, 2007, v. 1, 425 p.

ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T.; FREITAS, R. M.; AGUIAR, D. A.; SUGAWARA, L. M.; MELLO, M. P. Remote Sensing Time Series to Evaluate Direct Land Use

Change of Recent Expanded Sugarcane Crop in Brazil. Sustainability. 4(4):574-585, 2012.

TANIKAWA, D. H., MANZIONE, R. L. Análise da correlação entre a resposta espectral da cultura de eucalipto e oscilação de níveis freáticos em área de recarga do Sistema Aquífero Guarani. XXIII Congresso de Iniciação Científica da Unesp, 2011.