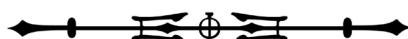


## Modelagem espacial de vetores sociais em imagens de satélite

Sebastião Aluizio Solyno Sobrinho<sup>1</sup>



### RESUMO

Nesse artigo, desenvolve-se uma metodologia de espacialização de dados sociais e econômicos em imagens de sensoriamento remoto, orientada pelo conceito de trajetórias tecnológicas aplicado em dinâmicas agrárias na Amazônia, tendo por objetivo contribuir com os estudos sobre desmatamento e mudanças no uso da terra. O trabalho se realiza a partir do mapeamento fundiário de uma grande região agrícola no estado do Pará e da integração de estatísticas do Censo Agropecuário do IBGE com imagens do satélite LANDSAT nos anos agrícolas 1995-1996 e 2005-2006. Como resultado, verifica-se que a integração de dados sociais em imagens de sensoriamento remoto possibilita uma leitura mais detalhada da vegetação com a integração dos dados espectrais aos vetores econômicos que determinam a exploração agropecuária. Com isso, concluiu-se que a aplicação do conceito de trajetórias tecnológicas com referência espacial explícita facilita uma maior compreensão das forças motrizes do desmatamento e das mudanças no uso da terra na Amazônia.

**Palavras-chave:** Trajetórias Tecnológicas. Sensoriamento Remoto. Mudanças no Uso da Terra.

---

<sup>1</sup> Engenheiro agrônomo, mestre em Planejamento do Desenvolvimento e Doutorando em Ciências – Desenvolvimento Socioambiental no NAEA/UFPA; coordenador técnico do Sistema Geográfico de Informações Fundiárias no Laboratório de Integração de Informações Agrárias, Econômicas e Ambientais para Análise Dinâmica da Amazônia da UFPA. E-mail: aluizio.solyno4@gmail.com.

## ABSTRACT

In recent decades, tourism has stood out as one of the most important socioeconomic activities of contemporary society and has had a strong influence on the economy and world development. However, despite its importance, tourism has also proved to be an exclusionary activity, which favors a small portion of society, to the detriment of the interest of a majority, and this is a reflection of the neoliberal developmental ideas. This context has provoked the search for new ways to promote tourism, unattached to the developmentalist logic and these practices have been gaining the attention of scientific research on this activity. Among the new ways of promoting tourist activity, Community-based Tourism - TBC stands out, conceived as a form of organization based on the sustainable self-management of community heritage resources, cooperation at work and the distribution of benefits generated by the provision of tourist services to community members, also reflecting a reaction by local societies to the exclusive model of development of the activity and the search, by tourists, for more authentic experiences. It is in this context that this article presents itself, making a critical analysis of the tourism developed for decades on the Marajó Island and bringing the experience of Community Based Tourism that has been developed by the Community of Pesqueiro, in the Municipality of Soure, in the eastern region of the island, which is an embryo of a new way of doing tourism in Marajó, which has been contributing to the local protagonism, generating real and direct benefits to the Communities that were, for decades, excluded from the tourism development model implemented on the island of Marajó.

**Keywords:** Marajó. Development. Tourism.

## INTRODUÇÃO

As Ciências da Terra, através do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica, têm prestado serviços de grande importância para o conhecimento da vida no planeta Terra. A capacidade das imagens de satélite para localizar, dimensionar o tamanho, o ritmo e o padrão das mudanças no uso da terra tem sido particularmente relevante no estudo da Amazônia brasileira, região que sofre uma das mais altas taxas de desmatamento do mundo.

Com todo esse potencial, as imagens de satélite poderiam servir para uma melhor compreensão da dinâmica de ocupação econômica do território Amazônico, recompondo a história de evolução dos sistemas agrários, as mudanças correspondentes no uso e cobertura da terra, e projetando as tendências de configuração na medida em que avançam as políticas econômicas nacionais, indicando perspectivas e caminhos futuros.

No entanto, apesar do formidável aparato de recursos mobilizados na aquisição das imagens de satélites – foguetes espaciais, plataformas orbitais, estações de recepção das imagens e outros investimentos –, menos atenção tem sido dada às aplicações de sensoriamento remoto no estudo das causas sociais e econômicas que provocam as mudanças no uso da terra. As ciências sociais, por sua vez, têm sido relutantes em incorporar o sensoriamento remoto como elemento de investigação, para responder aos problemas humanos do desmatamento e das mudanças no uso da terra na Amazônia.

No sensoriamento remoto, por exemplo, são produzidos índices do desmatamento com frequência e precisão cada vez maiores, sem preocupação com as matrizes produtivas que estão por trás dos índices: as forças motrizes do desmatamento. Assim, acumulam-se séries e mais séries de índices no afã de produzir cada vez mais índices. No entanto, como não se relaciona esses índices com uma teoria explicativa do desmatamento, a leitura deles admite interpretações díspares e as afirmações de pontos de vista contraditórios.

Nos estudos sociais, por sua vez, quando se qualificam as causas do desmatamento, não há uma preocupação explícita com os componentes espaciais que afetam os impactos e suas variações no terreno. Desta maneira, sem uma localização e quantificação precisas, as informações sociais não se conectam com os indicadores das ciências exatas, e são ignoradas nas políticas públicas. Assim, evidenciam-se as limitações das metodologias estritamente indutivas ou dedutivas nos estudos sobre mudanças no uso da terra, expressando-se em longas séries de índices que nada dizem sobre as causas do desmatamento, e coleções de hipóteses que não se agregam aos indicadores quantitativos.

Com essas limitações, o processo de comunicação fica bloqueado entre os cientistas, gestores públicos e a sociedade em geral, enfraquecendo o potencial das imagens de satélite para uma maior compreensão das dinâmicas de ocupação do território, a indicação de perspectivas e os caminhos para o desenvolvimento sustentável da Amazônia.

Uma primeira medida para melhorar a informação na leitura das imagens de satélite seria adotar uma abordagem multidisciplinar, integrando áreas de conhecimento diversas para compreender o problema de maneira global. Contudo, esta abordagem só pode cobrir uma parte do complexo sistema de mudanças no uso da terra, já que a multidisciplinaridade corresponde ao nível mais baixo de interações, e ocorre quando um problema é solucionado

a partir das informações de duas ou mais áreas de conhecimento, não havendo trocas nem enriquecimento entre elas.

O que se propõe neste trabalho é um passo adiante visando um segundo nível de interações, no qual a cooperação entre disciplinas visa conexões e reciprocidade de trocas, tendo como resultado o enriquecimento mútuo. Nesta abordagem, podem ser criadas novas chaves para a interpretação de imagens de satélite com informações econômicas, e podem ser testadas hipóteses das teorias sociais em um quadro georreferenciado com dados espaciais explícitos para o avanço dos estudos de mudanças no uso da terra.

Desta maneira, a hipótese central que orienta esta pesquisa é que, apesar das diferentes abordagens metodológicas, é possível integrar imagens de satélite com vetores sociais de estatísticas agropecuárias, abrindo espaço para o benefício mútuo na interpretação dos diferentes tipos de informação. Como resultado desta dupla interação, torna-se possível validar teorias sociais sobre as mudanças no uso da terra com uma ancoragem espacial explícita e, ao mesmo tempo, responder às críticas de que o sensoriamento remoto não consegue explicar os mecanismos causais e os processos socioeconômicos subjacentes a essas mudanças.

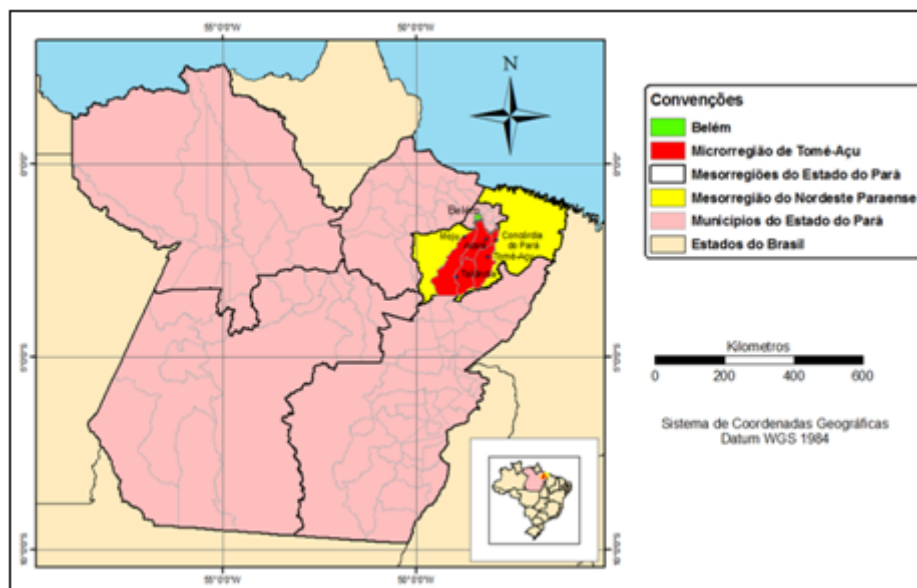
Nessa perspectiva, o artigo aqui apresentado tem por objetivo testar uma metodologia para integrar o conhecimento acumulado nos estudos de sensoriamento remoto sobre mudanças no uso da terra, com teorias econômicas que analisam dinâmicas agrárias na Amazônia. O lócus da análise é a interação entre o ser humano, os sistemas de produção e o meio ambiente onde a mudança no uso da terra é definida. Nessa abordagem, a metodologia de investigação tem um forte componente dedutivo, procurando integrar a visão de padrão predominante nas ciências da geoinformação com a visão de processo predominante nas ciências sociais, para entender as forças motrizes do desmatamento e das mudanças no uso da terra na Amazônia.

O local escolhido para testar a metodologia é a microrregião de Tomé-Açu, uma região emblemática do dilema que se vive hoje na Amazônia, entre o manejo dos recursos naturais – que conserva a floresta, mas não facilita a inclusão econômica das populações locais – e a industrialização agrícola – que promete o crescimento econômico, mas suprime a floresta e os meios de sobrevivência das populações tradicionais.

## ÁREA DE PESQUISA

Situada na mesorregião do Nordeste Paraense, de acordo com a Divisão Regional do Brasil estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1990), a microrregião de Tomé-Açu compreende os municípios de Acará, Concórdia do Pará, Moju, Tailândia e Tomé-Açu, totalizando uma área de 23.704 km<sup>2</sup>. Localizada entre as coordenadas 02°54'45" e 03°16'36" de latitude sul e 47°55'38" e 48°26'44" de longitude oeste, a microrregião de Tomé-Açu tem um clima mesotérmico e úmido, do tipo Ami de acordo com a classificação de Köpen, com temperatura média anual de 26°C, umidade relativa do ar em torno de 85% e precipitação média anual de 2.300 mm (BOLFE e BATISTELLA, 2011).

Figura 1. Localização da Microrregião de Tomé-Açu



Fonte: Dados do IBGE (elaboração do autor).

Todos os municípios da microrregião e Tomé-Açu tem a sede acessível por estrada asfaltada, distanciando-se de 55 a 172 km da capital do estado do Pará, a cidade de Belém. A área é banhada pelos rios Moju, Acará, Tomé-Açu e seus afluentes, que serviram, por séculos, como principal via de transporte, contribuindo fundamentalmente com a formação territorial da microrregião. Atualmente, as rodovias constituem o meio de transporte mais utilizado, destacando-se a rodovia PA-150 no sentido norte-sul e a PA-252 no sentido leste/oeste, as quais permitem acesso a rodovias federais como a Belém-Brasília (BR-010) e outras, permitindo o transporte por estradas asfaltadas para todo o país.

No último Censo Demográfico, em 2010, a microrregião de Tomé-Açu tinha uma população de 287.618 habitantes e uma densidade demográfica de 12,1 habitantes/km<sup>2</sup>, muito expressiva para os padrões da Região Norte, que na época tinha 4,1 hab./km<sup>2</sup>. No mesmo ano, a microrregião gerou um PIB - Produto Interno Bruto de R\$1,7 bilhões e um PIB per capita de R\$6.029,78, muito baixo se comparado com o PIB per capita da Região Norte, que foi de R\$13.053,94, e do Brasil, que foi de R\$20.370,79 (IBGE, 2012). Todos os municípios da microrregião têm um Índice de Desenvolvimento Humano classificado com baixo: Tailândia com o maior índice (0,588) e Acará com o menor (0,506), este ocupando o 5510º lugar, em um total de 5565 municípios brasileiros (PNUD, IPEA, FJP, 2013).

A microrregião em foco tem um histórico diferenciado na Amazônia, em função da colonização por japoneses a partir de 1929, na área que viria a se tornar município de Tomé-Açu. Nas décadas de 1950/60, a colônia japonesa viveu uma época de prosperidade com a valorização da pimenta-do-reino, em função da destruição dos plantios da Malásia e Indonésia na segunda Guerra Mundial. Com a queda de 50% da produção mundial e com o aumento do preço no mercado, a produção de pimenta aumentou de 21 toneladas para 2,3 mil toneladas, de 1947 para 1960, entre os colonos de Tomé-Açu. Esta notável expansão levou o Brasil à posição de primeiro produtor e exportador mundial de pimenta-do-reino em 1982, desbancando tradicionais países produtores da cultura (HOMMA, 2016, p. 166).

A prosperidade durou até meados da década de 1980, quando a fusariose – doença causada pelo fungo *Fusarium solani* – causou perdas drásticas na produção de pimenta-do-reino no Pará. Por outro lado, com o reestabelecimento dos plantios na Ásia, o preço da pimenta chegou a um patamar de equilíbrio, diminuindo as vantagens comparativas da produção no Pará. Como alternativa, os produtores passaram a aproveitar as áreas de pimenta-do-reino para o consórcio de frutas de ciclo curto com culturas de ciclo longo. A ideia era aproveitar o espaço das culturas de ciclo longo enquanto elas cresciam, produzindo renda com as espécies de ciclo rápido. Com as inovações que surgiram, a região se destacou no mercado como grande produtora de polpas de frutas amazônicas.

Os efeitos da mentalidade inovadora não ficaram restritos à colônia japonesa de Tomé-Açu, mas se disseminaram por toda região. A “agricultura de cultivo em vasos”, introduzida pelos japoneses com adubação química na cova, abriu um mercado sem precedentes para os insumos modernos no interior paraense, e foi rapidamente assimilada em toda região (HOMMA, 2016, p. 149). Por sua vez, a diversificação dos consórcios com espécies locais e exóticas, estruturou novos mercados e tornou os Sistemas Agroflorestais (SAFs) imitados em toda região. Segundo Mendes (2003, p. 6-7), a tendência à diversificação de espécies nos consórcios agroflorestais se explica pela possibilidade de produzir em diferentes épocas do ano e comercializar produtos mensalmente.

A partir da década de 1980, verifica-se um notável crescimento da agroindústria do dendê (*Elaeis guineensis*) no Nordeste Paraense, tornando o Pará responsável por 88% da produção do óleo de dendê no Brasil em 1997 (HOMMA, 2001). Esta tendência se reforçou na década de 2000, com os Programas Nacionais da Produção de Biodiesel e Óleo de Palma incentivando a produção do dendê com subsídios para grandes empresas e agricultores familiares. Como resultado, a área plantada com dendê no Pará alcançou 207.252 hectares em 2016, com pequenos e médios produtores responsáveis por 20% do plantio (MAPA, 2018). Nesse contexto, a microrregião de Tomé-Açu se destaca, com 65% da área plantada com dendê no Brasil, conforme o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019).

## **INTEGRANDO DADOS SOCIAIS EM IMAGENS DE SATÉLITE**

Nas últimas décadas, tem sido crescente o interesse em pesquisas interdisciplinares sobre as dimensões humanas das mudanças ambientais, com a integração de bases de dados, metodologias e grupos de pesquisa das ciências naturais e sociais. Na área de sensoriamento remoto, uma importante questão que se coloca para o estudo das dimensões humanas nas mudanças de uso da terra é saber se os dados sociais e econômicos de estatísticas agropecuárias podem ser integrados às imagens de sensoriamento remoto, e se esta junção pode produzir resultados científicos válidos.

À primeira vista, pode parecer simples relacionar dados de estatísticas agropecuárias com dados de sensoriamento remoto se a estatística possuir limites geográficos claros. Assim, a integração de dados censitários com imagens de sensoriamento remoto pode estimular demógrafos e cientistas sociais a trabalharem em diferentes escalas. Como as unidades espaciais em que os dados censitários são coletados seguem divisões político-administrativas que não correspondem às unidades espaciais do fenômeno a ser estudado, os dados terão que ser agregados ou desagregados.

Se esses procedimentos forem feitos sem os devidos cuidados e ressalvas, podem produzir resultados duvidosos, já que os estudos realizados em diferentes escalas espaciais quase sempre chegam a resultados diferentes, pelo fato de que as relações entre variáveis sociais e variáveis biofísicas geralmente mudam conforme a escala de análise. Segundo Walsh, et al. (1999), essas diferenças se devem à dependência de escala das relações entre variáveis sociais e ambientais.

Por exemplo, os estudos de Wood e Skole (1998) sobre desmatamento na Amazônia, que integram dados censitários a nível municipal com dados de sensoriamento remoto, indicam que densidade demográfica é um fator determinante para o desmatamento. Já as pesquisas de Vanwey, D'Antona e Brondízio (2007), realizadas em escala a nível domiciliar, demonstram que mais importante que a densidade demográfica, são os fatores econômicos, as características ambientais e a distância aos mercados. Por outro lado, o uso da terra pode estar mais vinculado à dinâmica das famílias, como o número de crianças e idosos, e a disponibilidade de mão-de-obra apta para o trabalho.

Pelo que se depreende desses estudos, a compatibilidade das escalas é um grande desafio para a integração de dados censitários com imagens de satélite. Tal definição implica que as pesquisas que utilizam dados do censo agropecuário terão como limite de análise a escala do setor censitário, o que dificulta análises mais detalhadas da relação entre as variáveis censitárias e de sensoriamento remoto. Outra limitação na escala do setor censitário é número restrito de variáveis em comparação com os dados na escala de município, muito mais ricos e com uma quantidade bem maior de variáveis.

O problema da limitação de escala das estatísticas censitárias é resolvido neste artigo utilizando a malha fundiária dos estabelecimentos rurais para intermediar a integração dos dados censitários com imagens de satélite. Esta solução se viabiliza com um programa computacional desenvolvido pela Universidade Federal do Pará e o Ministério Público Estadual, o Sistema Geográfico de Informações Fundiárias (SIG Fundiário), que associa os dados dos registros de imóveis em cartórios com os processos de regularização fundiária dos órgãos públicos, permitindo a localização cartográfica das propriedades na área de pesquisa.

## **SOCIALIZANDO PIXELS**

Resolvemos o problema da integração de dados censitários com imagens de satélite, para fins de estudo das mudanças de uso da terra, lançando mão da malha fundiária da microrregião de Tomé-Açu para reorganizar a apresentação dos dados estatísticos de uma escala de análise intermediária no nível de município, para uma escala de análise micro no nível das propriedades rurais.

Defendemos que é possível integrar estatísticas censitárias com imagens de satélite, considerando que a disponibilidade da malha fundiária na área de estudo possibilita a reorganização dos dados censitários por extrato de área na escala micro das propriedades, e a distribuição das probabilidades de uso da terra por faixa de reflectância conforme o tipo de vegetação identificado na imagem de satélite, acrescentando às informações espectrais significados adicionais derivados das estatísticas sociais e econômicas.

Estudando o assunto à luz da teoria dos conjuntos, Francisco de Assis Costa deduz formulações que dão suporte para a modelagem de vetores sociais em imagens de satélite

(COSTA, 2014, p. 11-14). Na visão de Costa, informações estatísticas são entendidas como dados que se referem a uma determinada delimitação espacial  $AR$  com pelo menos três pontos, sem que esses pontos tenham uma referência espacial explícita. Essas informações estão organizadas em uma estrutura bem diferente de uma imagem digital  $A\alpha$ , na qual os dados se referem diretamente a pontos georreferenciados, retratando o espaço real da superfície terrestre com informações espaciais e espectrais. Essas informações se expressam em um método descritivo dos seus elementos constitutivos (aglomerados de pixels claros e escuros, formas retilíneas, curvilíneas, rendadas, etc.) e explanatório das suas relações espaciais (contiguidade, aglomeração, afastamento etc.).

Por sua vez, informações estatísticas são entendidas como conjuntos de informações  $B$ , tais como tamanho das propriedades, dimensões das explorações, composição das famílias e outras, cujos conteúdos descrevem o que se passa no espaço real  $AR$ , mas sem nele se situar com referências espaciais explícitas. Assim, a referência que  $AR$  representa para  $B$  é real, mas não é concreta no sentido metodológico. É real porque toda informação de  $B$  existe de fato em  $AR$ , mas o espaço real  $AR$  é uma abstração para  $B$ , porque os elementos descritivos de  $B$  prescindem, ou abstraem, os elementos do espaço real  $AR$ . Deste modo, tornam-se impossíveis operações determinísticas que associem diretamente  $B$  com os objetos e valores da imagem digital.

Entretanto, como as informações encontradas em  $B$  se referem a eventos que existem de fato em  $AR$ , podem ser feitas associações probabilísticas entre as duas bases de dados. Desta maneira, pode-se obter respostas interessantes a respeito dos fatores que interferem nas decisões dos produtores sobre o desmatamento e as mudanças no uso da terra, com a distribuição das probabilidades de ocorrência dos eventos estatísticos, em associação com os eventos espaciais e espectrais das imagens de satélite. Para formular equações matemáticas sobre o tema, Costa (2014, p. 16) sugere considerar os seguintes conjuntos de informações estatísticas sobre o espaço real  $AR$ :

$$B_m = \{m | m = \text{usos de } a_R\} \quad (1)$$

$$B_{em} = \{e_m | e_m = \text{extensão de uso de } a_R \text{ associado a } m \in B_m; a_s = \sum e_m\} \quad (2)$$

$$B_{rm} = \{R_m | R_m = \text{expectativa de reflectância do uso de } a_R \text{ associado a } m \in B_m\} \quad (3)$$

Pelas formulações acima, a partir das estatísticas agropecuárias  $B_m$  pode-se obter informações sobre os diversos tipos de uso  $m$  da terra (1) e a extensão em desses usos (2). Por sua vez, a partir do conhecimento sobre o comportamento espectral da vegetação nos diversos tipos de cultivos agrícolas e vegetação espontânea, pode-se estimar os valores médios presumidos de reflectância  $R_m$  para cada tipo de uso da terra (3). Desta maneira, os valores  $R_m$  permitem a observação de uma tangência entre os sistemas de informação  $A$ , relativos aos pixels da imagem digital, e as informações  $B$ , relativas às estatísticas agropecuárias, tanto mais nítida quanto maior o acerto da presunção de reflectância  $m$ , que resulta do conhecimento sobre o espaço real da superfície terrestre  $AR$ .

Considere-se também a organização dessas informações estatísticas, com critérios igualmente válidos para as informações do mapa de pixels, como formulado a seguir.



$$B_{ms} = \{m_s | m_s \in B_m \wedge \left[ \frac{s-1}{s} \cdot \max(r_{ij}) \right] < r_m < \left[ \frac{s}{s} \cdot \max(r_{ij}) \right], r_m \in B_m, r_{ij} \in A_{\alpha}, \forall_s = 1, \dots, S\} \quad (4)$$

$$B_{mse} = \{e_{ms} | e_{ms} \in B_m \wedge \left[ \frac{s-1}{s} \cdot \max(r_{ij}) \right] < r_m < \left[ \frac{s}{s} \cdot \max(r_{ij}) \right], r_m \in B_m, r_{ij} \in A_{\alpha}, \forall_s = 1, \dots, S, a_{mes} = \sum e_{ms}\} \quad (5)$$

Nessas formulações de Costa (2014, p. 17), pode-se observar que o conjunto de informações estatísticas por classe  $B_{ms}$  (4) contém os tipos de uso da terra  $m$  por classe  $s$ , utilizando os mesmos critérios de classificação dos pixels da imagem digital  $A_{\alpha}$  na organização do conjunto do espaço real  $A_s$ . Assim, para a mesma classe  $s$ , se tem, ao mesmo tempo, conjuntos de informações estatísticas e conjuntos de informações espectrais relativas aos pixels.

Por sua vez, as estatísticas que envolvem o espaço, a exemplo da área plantada, informam em  $B_{mse}$  (5): a) quanto de área ( $e_{ms}$ ) o modo de uso  $m$  requer do espaço real, e, pelo conhecimento e experiência no sensoriamento remoto, qual o padrão de reflectância deste uso da terra na extensão observada; b) quanto de área total ( $\sum e_{ms}$ ) foi utilizado por todas as formas  $m$  que se enquadraram nas especificidades do padrão de reflectância da classe  $s$ . Disso resulta, para cada classe  $s$ , uma distribuição de probabilidades ( $p_{ms} = e_{ms} / \sum e_{ms}$ ) de ocorrência de  $m$  elementos do conjunto  $B_{msp}$ , como se demonstra abaixo na formulação (6).

$$B_{msp} = \{p_{ms} | p_{ms} = \frac{e_{ms}}{\sum e_{ms}}; \sum p_{ms} = 1\} \quad (6)$$

As áreas  $a_s$ , associadas às classes (genéricas)  $s$  em  $\check{A}_s$ , submetidas às probabilidades  $p_m$  de seus usos (específicos) em  $B_{msp}$ , resultarão nos elementos de um novo conjunto, como segue:

$$A_{sm} = \{a_{sm} | a_{sm} = p_{sm} \cdot a_s, p_{sm} \in B_{msp}; a_s \in \check{A}_s\} \quad (7)$$

Por sua vez, as áreas  $a_{sm}$  são a soma dos pixels  $a_{ij}$ , que pertencem a um novo conjunto  $A_{sm}$ , subconjunto do conjunto  $A_s$ . Não se sabe, ainda, que pixels exatamente são esses, mas é possível saber desde já em que número eles ocorrem, uma vez que:

$$n_{A_{sm}} = \frac{a_{sm}}{l^2} \quad (8)$$

Tendo conhecimento do número de pixels de cada conjunto  $A_{sm}$ , e que a união de todos os conjuntos  $A_{sm}$  resulta no conjunto  $A_s$ , é possível fazer o reconhecimento dos elementos de  $A_{sm}$  em  $A_s$ . Desta maneira, pode-se proceder recodificações de  $A_s$  imputando nos seus elementos os significados de  $m$ . Assim, o conjunto de pixels de uma classe  $s$  se agrupa em um conjunto  $A_s$ , resultado da união dos conjuntos  $A_{sm}$  nele contidos, com seus complementos, como formulado em (9).

$$A_s = A_{sm} \cup \overline{A_{sm}} \quad (9)$$

Concluindo suas formulações sobre os métodos de transformar mapas de pixels em mapas de realidade, através da transferência de informações estatísticas para pixels de imagens digitais, Costa (2014, p. 19) destaca as seguintes considerações:

Concluindo suas formulações sobre os métodos de transformar mapas de pixels em mapas de realidade, através da transferência de informações estatísticas para pixels de imagens digitais, Costa (2014, p. 19) destaca as seguintes considerações:

a) Os processos apresentados consideram que a área das estatísticas é a mesma área da imagem digital, como no caso de uma pesquisa primária que se faz nos limites de estabelecimento rurais ou de um município onde as estatísticas estejam disponíveis sem uma localização espacial explícita. Neste caso, pode-se analisar os significados estruturais das estatísticas no espaço real de referência do conjunto Ar.

b) É possível também aplicar algoritmos derivados do roteiro formulado acima, para o caso de um mapa de pixels que se refere a um conjunto de estabelecimentos rurais situados em um município ou região, pela organização das estatísticas por estrato de área e a distribuição das probabilidades de uso da terra por faixa de reflectância, reduzindo as margens de erro e acrescentando à informação significados adicionais derivados de características estruturais da economia agrária regional.

c) Os mapas de realidade devem ser avaliados de dois modos: 1) pelo coeficiente de Kappa ( $k$ ), para avaliar o grau de veracidade dessas informações; e 2) pelo índice de entropia de Shannon ( $h$ ), para avaliar o volume de informações que o mapa oferece.

## TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS

Para explicar as relações causais entre escolhas e resultados das mudanças no uso da terra, são necessários modelos econômicos mais articulados para explicar os sentidos e as consequências das escolhas. Assim, as formulações expostas exigem capacidade teórica para compreender a integração de estatísticas sociais em imagens de satélite, descobrindo a melhor maneira de articular teoria econômica para entender as mudanças no uso da terra.

As noções articuladas de paradigmas e trajetórias tecnológicas possibilitam a compreensão de dinâmicas complexas, oferecendo uma visão clara dos impulsos que levam os sistemas de produção a evoluírem em determinada direção. O conceito de paradigma tecnológico foi desenvolvido no trabalho de Dosi (1982) sobre trajetórias tecnológicas, no qual aponta os determinantes das mudanças técnicas. Dosi toma emprestado o conceito de paradigma científico de Thomas Kuhn (1997), para definir o paradigma tecnológico como um padrão de solução dos problemas tecnológicos baseados nas ciências naturais. Associado ao conceito de paradigma tecnológico, Dosi define trajetória tecnológica como um padrão de solução de problemas baseado num paradigma tecnológico. Ou seja, um paradigma tecnológico define a direção do progresso técnico e, ao defini-la, exclui todas as outras.

Analisando a realidade agrária da Amazônia, Costa (2009) observa que o paradigma global da agricultura baseada na indústria de insumos químicos e maquinários se faz presente tanto na produção de bens como na gestão das políticas públicas, incluindo aquelas que condicionam a difusão de conhecimento científico e tecnológico. Isto significa que o paradigma mecânico-químico foi incorporado tanto na prática produtiva e reprodutiva dos que operam os processos de uso da natureza na Amazônia, quanto naqueles que operam as organizações de produção de conhecimento e de transmissão das soluções tecnológicas, além de dominar a oferta dos meios de produção no mercado.

No entanto, o paradigma mecânico-químico não está sozinho na realidade agrária da Amazônia. Existem outras formas de utilização da base natural da Região que pressupõem

a manutenção da natureza, que configuram um “paradigma extrativista”, derivado de uma perspectiva particular do uso social dos recursos naturais, e que dominava a exploração da Amazônia antes da introdução do paradigma mecânico-químico na região. Assim, o paradigma mecânico-químico, como perspectiva de progresso que pressupõem a transformação industrial da natureza originária para o atendimento de necessidades da sociedade, se desenvolve na Amazônia em antagonismo com o “paradigma extrativista”, que pressupõe a manutenção da natureza originária.

Para visualizar as trajetórias que competem no espaço rural Amazônico, Costa (2009, p. 44) propõe que sejam analisadas as estruturas produtivas e os espaços institucionais que as viabilizam, de maneira a visualizar os resultados dessas trajetórias no ideário de desenvolvimento sustentável. Para isto, o autor sugere aplicar uma análise multivariada na evolução dos Valores Brutos da Produção dos produtos agropecuários obtidos nas séries estatísticas dos censos agropecuários e estatísticas anuais do IBGE, agrupando os produtos por ordem de valor e pelos agentes responsáveis, para compreender as trajetórias das estruturas de produção que lhes deram origem.

Como meio de avaliar o papel e o peso dos produtos nas trajetórias tecnológicas, Costa (2009, p. 50) sugere três critérios:

1º) a relevância de um dado produto ou conjunto de produtos, nas variações da produção total, revela a sua importância e, por essa via, a relevância social (para o todo da economia em questão) da trajetória que lhe é subjacente – seu peso na configuração da divisão social do trabalho.

2º) a capacidade de um dado conjunto de produtos de compensar os gestores dos processos produtivos revela sua eficiência e, em consequência, a eficiência da trajetória de que participa na realização subjacente dos anseios privados – sua relevância microeconômica privada. Deve-se lembrar que estes dois pontos podem guardar relação dinâmica.

3º) se um grupo de produtos se revela fonte de investimentos, ele é base da capacidade de expansão da trajetória que lhe é subjacente.

Acatando a sugestão de Costa, para analisar a relevância social dos grupos de produtos na economia agrária da microrregião de Tomé-Açu nos períodos inicial e final, aplicamos a função que Costa (2009, p. 54) denomina *função de produto*, dado que expressa o resultado macroeconômico da divisão social do trabalho, conforme explicitado na formulação abaixo.

$$Y_B = \beta_{BPC}^Y \cdot Y_{PC} + \beta_{BPL}^Y \cdot Y_{PL} + \beta_{BPM}^Y \cdot Y_{PM} + \beta_{BPP}^Y \cdot Y_{PP} + \beta_{BCP}^Y \cdot Y_{CP} + \beta_{BCT}^Y \cdot Y_{CT} + \beta_{BCH}^Y \cdot Y_{CH} + \beta_{BCS}^Y \cdot Y_{CS} + \beta_{BFM}^Y \cdot Y_{FM} + \beta_{BFN}^Y \cdot Y_{FN} \quad (10)$$

Na função de produto (10), a variável dependente ( $Y_B$ ) é o Valor Bruto da Produção (VBP) total em Reais (R\$) da forma de produção em questão (familiar ou patronal), e as variáveis independentes, os VBPs, são: do boi em pé na pecuária bovina ( $Y_{PC}$ ); do leite, derivados e matrizes na pecuária leiteira ( $Y_{PL}$ ); da pecuária de médios animais, basicamente suínos ( $Y_{PM}$ ); da pecuária de pequenos animais, basicamente aves ( $Y_{PP}$ ); das culturas permanentes ( $Y_{CP}$ ); das culturas temporárias ( $Y_{CT}$ ); dos produtos hortigranjeiros ( $Y_{CH}$ ); da silvicultura ( $Y_S$ ); do extrativismo da madeira em tora ( $Y_{FM}$ ); e do extrativismo de produtos florestais não madeireiros ( $Y_{FN}$ ). Os coeficientes  $\beta$  descrevem o modo como cada grupo de produtos e o subsistema de produção a ele subjacente participam da variação total da produção.

Para avaliar a relevância privada dos grupos de produtos, ou seja, o peso deles no retorno financeiro para os proprietários dos estabelecimentos rurais, aplicou-se a regressão formulada por Costa (2009, p. 54) como *função de desempenho* (11), conforme indicado abaixo.

$$Y_L = \beta_{LPC}^Y \cdot Y_{PC} + \beta_{LPL}^Y \cdot Y_{PL} + \beta_{LPM}^Y \cdot Y_{PM} + \beta_{LPP}^Y \cdot Y_{PP} + \beta_{LCP}^Y \cdot Y_{CP} + \beta_{LCT}^Y \cdot Y_{CT} + \beta_{LCH}^Y \cdot Y_{CH} + \beta_{LCS}^Y \cdot Y_{CS} + \beta_{LFM}^Y \cdot Y_{FM} + \beta_{LFN}^Y \cdot Y_{FN} \quad (11)$$

Na função de desempenho (11), a variável dependente  $Y_L$  representa o total da renda líquida do valor bruto da produção (VBP total menos custo total da produção), correspondente à remuneração privada dos proprietários dos estabelecimentos, enquanto as variáveis independentes ( $Y_{PC}$ ,  $Y_{PL}$ ,  $Y_{PM}$ , ...) representam os mesmos produtos e valores da função de produto (10), e os coeficientes  $\beta$  influenciam na variação da rentabilidade dos estabelecimentos. Enquanto a função de produto expressa o resultado total da divisão social do trabalho na macroeconomia da região, a função de desempenho (11) descreve o peso e a forma como os grupos de produtos contribuem na microeconomia dos estabelecimentos, alimentando a remuneração privada dos seus proprietários.

Para avaliar a influência dos grupos de produtos nos investimentos que fundamentam a dinâmica de expansão das trajetórias tecnológicas, levamos em conta as fontes endógenas e exógenas, aquelas alimentadas pela renda própria dos estabelecimentos gerada nas atividades agrícolas, e estas por fontes externas, como as linhas de crédito de financiamento governamental ou privado, de acordo com a formulação de Costa (2009, p. 54) indicada na expressão abaixo.

$$Y_F = \beta_{FPC}^I \cdot Y_{PC} + \beta_{FPL}^I \cdot Y_{PL} + \beta_{FPM}^I \cdot Y_{PM} + \beta_{FPP}^I \cdot Y_{PP} + \beta_{FPC}^I \cdot Y_{CP} + \beta_{FCT}^I \cdot Y_{CT} + \beta_{FCH}^I \cdot Y_{CH} + \beta_{FCS}^I \cdot Y_{CS} + \beta_{FFM}^I \cdot Y_{FM} + \beta_{FFN}^I \cdot Y_{FN} + \beta_{FC}^I \cdot C_I \quad (12)$$

Nesta expressão,  $Y_F$  representa o volume total de investimentos observado em função dos grupos de produtos das funções de produto (10) e de desempenho (11), e  $C_I$  o volume de crédito para investimentos obtidos de fontes externas. Os coeficientes  $\beta$  das variáveis  $Y$  nas regressões resultantes dos modos de produção familiar e patronal são medidas da influência dos diversos grupos de produtos nas oscilações de investimentos. O coeficiente  $\beta$  da variável  $C_I$  dimensiona a participação do crédito externo nessas variações. A essa função, Costa (2009, p. 54) denomina *investimento-fonte*.

Os coeficientes de regressão da função investimento-fonte foram diferenciados nas suas formas de produção familiar ou patronal, como também os coeficientes de regressão das funções de produto e desempenho, e organizados em duas matrizes de valores  $\beta$  que correspondem aos modos de produção camponês e patronal. Desta maneira, os valores dessas matrizes foram utilizados para classificar os grupos de produtos quanto à relevância social, à rentabilidade privada e às fontes de investimento, nas duas formas de produção: familiar e patronal.

O passo seguinte foi submeter à análise fatorial o VBP dos grupos de produtos que se mostraram relevantes socialmente na análise precedente, para verificar se existe interdependência entre os grupos de produtos, e avaliar se essas relações caracterizam reciprocidade sistêmica que fundamente a configuração de trajetórias. Dois tipos de relação podem caracterizar interdependência sistêmica, indicando grupos de produtos que se amolgam na formação de trajetórias: relações de sucessão e relações de concomitância entre diferentes grupos de produtos. Nas relações de sucessão, um grupo de produtos

evolui se nutrindo de outro, por assimilação e anulação. Nas relações de concomitância, os dois grupos de produtos evoluem se nutrindo por sinergia e mútuo fortalecimento.

A concorrência caracteriza um terceiro tipo de relação, em que um grupo de produtos evolui tomando o espaço do outro. Neste caso, a concorrência de um grupo de produtos pelo espaço físico ou de mercado tem por objetivo levar à eliminação do outro, indicando que esses grupos de produtos pertencem a trajetórias tecnológicas diferentes.

Para processar a análise estatística dessas relações, assim como das regressões acima apresentadas, utilizamos o software SPSS Statistics for Windows, versão 17.0 (IBM, 2018), condicionando o cálculo a 25 interações e a um número máximo de cinco fatores por análise.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento da metodologia proposta nesta pesquisa começa com uma abordagem indutiva, utilizando técnicas de classificação de imagens de satélite para identificar padrões de pixels que indicam as mudanças no uso da terra e cobertura do solo, no período compreendido entre os anos 1996 e 2006. Estas datas foram definidas em função da disponibilidade de dados estatísticos dos Censos Agropecuários de 1995/1996 e 2006, através do *Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)*, que permite através da internet consultar e cruzar informações dos produtores, da produção agrícola, da criação de animais, da venda de produtos agropecuários e da força de trabalho que movimenta a economia rural.

Como as imagens de satélite não revelam por si só as relações sociais de produção, faz-se necessário lançar mão das ciências sociais para identificar os processos humanos que estão por trás do desmatamento e das mudanças no uso da terra. Caracterizada como uma abordagem dedutiva, esta segunda etapa metodológica será realizada com a caracterização dos atores que tomam as decisões nos estabelecimentos rurais, utilizando os vetores da malha fundiária regional para situar os estratos de área e distribuir as estatísticas agropecuárias na imagem classificada. Esta operação se viabiliza com a aplicação dos instrumentos desenvolvidos por Costa (2009), no seu estudo sobre as trajetórias tecnológicas que determinam os sistemas de produção e as dinâmicas agrárias na Amazônia.

O terceiro passo da metodologia é o cruzamento das informações dos Censos Agropecuários com os dados de reflectância dos pixels nas datas correspondentes, o que permite produzir inferências estatísticas para reclassificar as imagens de satélite, obtendo um aperfeiçoamento da interpretação dos pixels com um maior detalhamento das classes de uso da terra e cobertura do solo. Tal procedimento possibilita a espacialização de dados sociais e econômicos nas imagens de satélite, localizando e datando os processos econômicos que estão por trás das decisões dos agentes, no que se refere ao desmatamento e às mudanças no uso da terra e cobertura do solo.

Para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e os mapas temáticos produzidos neste trabalho, serão utilizadas as medidas estatísticas derivadas da matriz de confusão, também denominada matriz de erro ou tabela de contingência, descritas por Chuvieco (1990) e Congalton (1991). Para dimensionar a quantidade de informação produzida na leitura das imagens de satélite antes e depois da integração com os vetores sociais, os atributos sintáticos da comunicação cartográfica desses mapas serão dimensionados com o cálculo da entropia da informação, na perspectiva da Teoria Matemática da Informação de Shannon (1948).

A matriz de confusão é uma matriz quadrada com um total  $X_{ij}$  de componentes, em que as linhas representam as classes deduzidas no processo de classificação, e as colunas as classes de referência na verdade de campo. A diagonal desta matriz expressa o número dos pontos de verificação em que há correspondência entre a verdade de campo e a interpretação dos pixels na imagem de satélite. A partir da matriz de confusão, desenvolve-se uma série de índices estatísticos que articulam o processo de validação. A medida mais simples é a Exatidão Global ( $F_m$ ), que consiste na relação entre a soma dos elementos da diagonal ( $\sum X_{ii}$ ) e o total de pontos amostrados ( $\sum X_{ij}$ ), calculada pela fórmula:

$$F_m = \frac{\sum X_{ii}}{\sum X_{ij}} \times 100 \quad (13)$$

Uma análise mais rigorosa deve levar em conta os valores nas células marginais à diagonal, que refletem os erros na classificação. No caso das colunas, os valores marginais indicam o número de amostras que não foram incluídos na categoria a que pertencem ( $X_{i+}$ ). Estes valores são chamados erros de omissão ( $E_o$ ), que se calcula para cada classe com a seguinte fórmula:

$$E_o = \frac{X_{i+} - X_{ii}}{X_{i+}} \quad (14)$$

Em que  $X_{ii}$  = diagonal da linha na classe em que se está calculando o erro de omissão.

De maneira equivalente, os valores das células marginais às diagonais das linhas ( $X_{+i}$ ) expressam os erros de comissão ou inclusão ( $E_{co}$ ), isto é, pixels que foram incluídos equivocadamente em uma determinada classe, pertencendo realmente à outra, calculados com a seguinte fórmula:

$$E_{co} = \frac{X_{+i} - X_{ii}}{X_{+i}} \quad (15)$$

A análise da exatidão da classificação pode ser enfocada do ponto de vista positivo, através dos conceitos de exatidão do produtor e exatidão do consumidor, aqui denominados acurácia do produtor ( $F_p$ ) e acurácia do usuário ( $F_u$ ). Respectivamente, esses conceitos correspondem ao oposto do erro de comissão e do erro de omissão, e são calculados da seguinte forma:

$$F_p = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100 \quad (16)$$

$$F_u = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \times 100 \quad (17)$$

Depois de avaliar o que ocorre na diagonal e nas células marginais nas linhas e colunas, é de grande interesse analisar as relações múltiplas entre as distintas categorias. A análise de Kappa é uma técnica multivariada discreta, que utiliza no seu cálculo todos os elementos da matriz de confusão para avaliar a precisão. O coeficiente Kappa (K) é uma medida da concordância real, que é indicada pelos elementos diagonais da matriz de confusão, menos a concordância por chance, indicada pelo produto total da linha e coluna, que não inclui

entradas não reconhecidas. Ou seja, o coeficiente K mede quanto a classificação dos pixels está de acordo com a verdade terrestre, através da seguinte equação:

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}} \quad (18)$$

Em que: K é o coeficiente Kappa;  $x_{ii}$  é o valor na linha  $i$  e coluna  $i$ ;  $x_{i+}$  é a soma da linha  $i$  e  $x_{+i}$  é a soma da coluna  $i$  da matriz de confusão;  $n$  é o número total de amostras e  $c$  o número total de classes.

Para avaliar a exatidão da classificação através do coeficiente de Kappa, normalmente são aceitos os seguintes níveis de desempenho pela comunidade científica: Péssimo ( $k < 0$ ), Ruim ( $0 < k \leq 0,2$ ), Razoável ( $0,2 < k \leq 0,4$ ), Bom ( $0,4 < k \leq 0,6$ ), Muito bom ( $0,6 < k \leq 0,8$ ) e Excelente ( $0,8 < k \leq 1,0$ ). Consagrada no meio científico, esta escala de valores do coeficiente Kappa foi proposta por Landis e Koch (1977, p. 165) para avaliar o grau de concordância no diagnóstico de doenças, mas é utilizada consensualmente em diversas áreas de conhecimento, inclusive no sensoriamento remoto.

Para dimensionar a quantidade de informação produzida na comunicação cartográfica dos mapas temáticos derivados da leitura das imagens de satélite antes e depois da integração com os vetores sociais, será utilizado o coeficiente de entropia da Teoria da Informação de Shannon (1948). Na teoria da comunicação cartográfica, o canal de comunicação é o mapa, o qual deve ser elaborado no código da linguagem do usuário para que o fenômeno estudado seja mapeado adequadamente e os objetivos de transmissão da informação sejam alcançados em sua plenitude. Assim, a comunicação cartográfica como produção teórica e metodológica está ligada à Teoria da Informação, razão porque os mapas temáticos resultantes das leituras de imagens de satélite nesta pesquisa podem ser analisados a partir da dimensão sintática da entropia da informação de Shannon (GOMES, SILVA, et al., 2013).

Na perspectiva de Shannon, a quantidade de informação de um sistema cresce com o número de fluxos de mensagens, em um processo que amplia a capacidade de o sistema produzir informação com diversificação e complexificação. Assim, o conceito de informação se relaciona com a diversidade, com a ideia da transformação e com emergência da novidade. Desta maneira, a quantidade de informação de uma mensagem está ligada à emergência da diversidade e da novidade, razão pela qual a entropia da informação é maior para fenômenos pouco frequentes (EPSTEIN, 1986, p. 35).

Considerando em conjunto as possibilidades de ocorrência das mensagens possíveis, Shannon (1948) argumenta que um processo de comunicação deve ser analisado de maneira probabilística. Desta maneira, a quantidade de informação gerada por um processo de comunicação  $H$  deve somar as probabilidades  $p$  de ocorrência de mensagens, multiplicadas pelo logaritmo que mede a quantidade de informação das mensagens, conforme a expressão abaixo formulada.

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (19)$$

## CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Para elaborar os mapas de vegetação, foram utilizadas oito imagens do satélite Landsat-5, duas em cada órbita-ponto 223-061, 223-062, 224-061 e 224-062, nas datas de passagem 10/07/1995 e 09/08/2006, 08/06/1995 e 22/06/2006, 17/06/1996 e 29/06/2006, 03/07/1996 e 12/07/2005. Essas imagens foram adquiridas no site da NASA – National Aeronautics and Space Administration (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/education/resources/>), sendo todas bandas previamente georreferenciadas e ortorretificadas com excelente acurácia e precisão. Obteve-se uma boa visualização da área de interesse, com uma cobertura de nuvens menor que 1% da área total. Por outro lado, procurou-se a melhor coincidência possível entre a data da obtenção das imagens e dos Censos Agropecuários.

As classes de interesse da pesquisa foram definidas tendo como foco de interesse de áreas que já sofreram a ação antrópica e se encontram em regeneração ou uso agrícola, como se descreve a seguir:

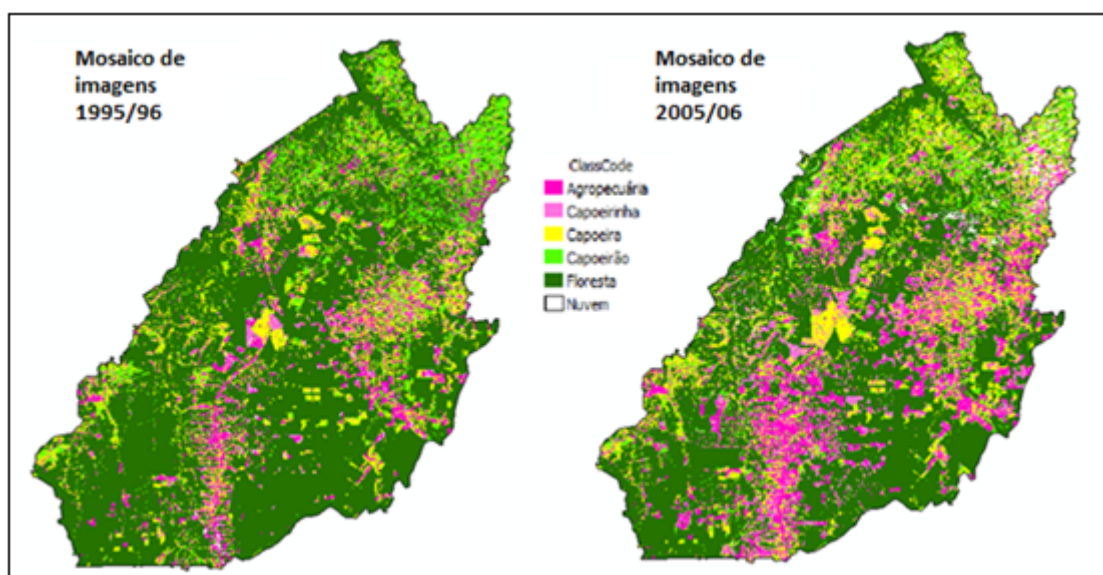
1. **Agropecuária:** mosaico de áreas em produção agropecuária, representadas pela associação de diversas modalidades de uso da terra, em que não é possível uma distinção clara entre seus componentes devido à resolução espacial das imagens de satélite, mas que apresentam evidências de ocupação com culturas anuais e pastagens e, como traço comum, a presença de solo exposto.
2. **Regeneração em estágio inicial:** culturas permanentes em fase de desenvolvimento inicial, ou áreas com pasto sujo e culturas anuais abandonadas que se encontram na primeira e segunda fase de sucessão, conhecida como “capoeirinha” (IBGE, 2012, p. 150), caracterizadas pela dominância de vegetação herbácea e gramíneas associadas à presença esparsa de vegetação lenhosa.
3. **Regeneração em estágio intermediário:** culturas permanentes arbóreas em fase de desenvolvimento intermediário, ou áreas de lavouras abandonadas que se encontram na terceira e quarta fase de sucessão, denominadas respectivamente “capoeira rala” e “capoeira” (IBGE, 2012, p. 151), caracterizadas pela vegetação mais desenvolvida dominada por plantas lenhosas de médio porte, que atingem a altura de até 3 metros, mas bastante espaçadas entre si, e promovem um significativo sombreamento.
4. **Regeneração em estágio avançado:** culturas permanentes lenhosas de grande porte em fase de maturidade, ou áreas de lavouras e pastagens abandonadas que se encontram na quinta fase de sucessão, conhecida como “capoeirão” (IBGE, 2012, p. 151), caracterizada pela dominância de árvores de grande porte com mais de 15 m de altura, em estágio eminentemente lenhoso, sem plantas emergentes, uniforme na altura de seus elementos dominantes e no sombreamento no solo.
5. **Floresta:** áreas de florestas primárias, campos naturais e rios que não sofreram a ação antrópica até o ano de 2006, segundo o INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais (CÂMARA, VALERIANO e SOARES, 2006). Esta classe foi definida pelo recorte dos arquivos vetoriais das áreas de floresta, não floresta e hidrologia do Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite - PRODES de 1998 e 2006. O shapefile resultante foi utilizado como máscara no processo de classificação das imagens, excluindo as áreas não antropizadas.
6. **Nuvem:** áreas cobertas com nuvens ou sombras de nuvens



A classificação das imagens foi realizada com software PCI Geomatica, usando a técnica automática não-supervisionada e o método Iseg (ISODATA), definido em 16 classes e aplicado nas bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5 e 7. A pós-classificação foi realizada redistribuindo as 16 classes geradas automaticamente nas seis classes de interesse da pesquisa acima discriminadas. Realizou-se também uma edição dos polígonos agregados, pela comparação com os polígonos dos arquivos vetoriais do PRODES anos 1998 e 2006, procurando eliminar os erros da classificação automática. Em complemento, aplicou-se um filtro de moda com janela 3x3 no intuito de homogeneizar as classes geradas, resultando numa imagem com melhor aspecto para o usuário final.

Do produto das oito imagens classificadas e editadas, foram elaborados dois mosaicos de imagens, correspondendo aos anos agrícolas 1995/96 e 2005/2006. Esses procedimentos permitiram uma primeira visão das mudanças no uso da terra na área de estudo no período em foco (figura 2).

Figura 2. Mudanças no Uso da Terra na Microrregião de Tomé Açu (1995-2006)



Como não podemos verificar a verdade de campo em datas pretéritas, empregamos o processo de tabulação cruzada para validar a classificação, comparando a interpretação das imagens com os mapas de desmatamento do PRODES de datas próximas às datas das imagens, e a interpretação visual da composição colorida das imagens. A avaliação de precisão da classificação foi realizada com o Software PCI, distribuindo 100 pontos aleatórios de forma proporcional à área de cada classe nos mosaicos das imagens classificadas nos anos inicial e final da pesquisa. Com a checagem dos pontos nos resultados da classificação das imagens nos anos inicial e final, foram calculadas duas matrizes de confusão da classificação, indicando o percentual de pixels que foram mapeados de forma correta.

Na matriz de confusão da classificação das imagens de 1995/1996, os componentes da diagonal principal representam os pixels classificados corretamente. Para a classe Floresta, por exemplo, 24 pixels foram classificados de maneira correta. Já os dados de referência da coluna Floresta indicam que 4 pixels deixaram de ser classificados como floresta, um erro de omissão que ocorre quando se deixa de mapear um pixel corretamente. Por sua

vez, na linha Floresta, 4 pixels foram classificados equivocadamente, um erro de inclusão ou comissão cometido quando se atribui um pixel a uma determinada classe, quando este pertence a outra. Assim, identifica-se na classe Floresta um erro de omissão e inclusão de 14%, e uma acurácia do produtor e do usuário de 86%.

Tabela 1. Matriz de confusão da classificação de imagens LANDSAT do ano agrícola 1995/1996

Classificação	Dados de Referência							Erro de comissão	Acurácia do usuário
	Floresta	Agropecuária	Regen. inicial	Regen. interm.	Regen. avanç.	Nuvem	Totais		
Floresta	24	1	0	0	3	0	28	14%	86%
Agropecuária	1	16	0	2	2	0	21	24%	76%
Regeneração inicial	0	0	10	0	0	0	10	0%	100%
Regeneração intermediária	1	2	0	11	1	0	15	27%	73%
Regeneração avançada	2	1	1	3	18	0	25	28%	72%
Nuvem	0	0	0	0	0	1	1	0%	100%
Totais	28	20	11	16	24	1	100		
Erro de omissão	14%	20%	9%	31%	25%	0%			
Acurácia do produtor	86%	80,0%	91%	69%	75%	100%			

**Exatidão global = 82%; Coeficiente de Kappa = 0,75.**

Na matriz de confusão da classificação das imagens de 2005/2006 (tabela 3), por sua vez, 23 pixels foram classificados de maneira correta na classe Agropecuária. Entretanto, na coluna de referência desta classe, verifica-se que 4 pixels foram classificados de maneira equivocada: 2 na classe Floresta, um na classe Regeneração em Estágio Intermediário e outro na classe Regeneração em Estágio Inicial, indicando um erro de omissão de 8%. Por outro lado, na linha da classe Agropecuária, verificamos que 2 pixels foram classificados de maneira equivocada: 1 na classe floresta e outro na classe Regeneração em Estágio Intermediário, indicando um erro de comissão de 8%, pela inclusão de classes que não correspondem à realidade.

Tabela 2. Matriz de confusão da classificação das imagens LANDSAT no ano agrícola 2005/2006

Classes	Dados de Referência							Erro de comissão	Acurácia do usuário
	Floresta	Agropecuária	Regen. inicial	Regen. interm.	Regen. avanç.	Nuvem	Totais		
Floresta	20	2	0	0	2	0	24	17%	83%
Agropecuária	1	23	0	1	0	0	25	8%	92%
Regeneração inicial	0	1	8	0	0	0	9	11%	89%
Regeneração intermediária	1	1	0	17	0	0	19	11%	89%
Regeneração avançada	1	0	1	1	19	0	22	14%	86%

Nuvem	0	0	0	0	0	1	1	0,0%	100,0%
Totais	23	27	9	19	21	1	100		
Erro de omissão	13%	15%	11%	11%	9%	0,0%			
Acurácia do produtor	87%	85%	89%	89%	91%	100%			

**Exatidão global = 88%; Coeficiente de Kappa = 0,84.**

A identificação dos erros e acertos pode ser feita da mesma maneira na matriz de confusão para todas as classes e anos em estudo. Entretanto, importa destacar aqui que a quantificação dos erros não condena os resultados da classificação nos anos inicial e final da pesquisa. Os resultados da avaliação de acurácia apontam uma exatidão global de 82% e um coeficiente de Kappa de 0,754 para a classificação no ano 1995/96 (tabela 2), e uma exatidão global de 88% e um coeficiente de Kappa de 0,841 para a classificação no ano 2005/2006 (tabela 3), indicando um resultado muito bom no primeiro caso e excelente no segundo, para a classificação automática realizada.

## ESTATÍSTICA DE DETECÇÃO DE MUDANÇA

Para dimensionar as alterações no uso da terra no período estudado, o mapa temático resultante da classificação das imagens do ano agrícola 2005/2006 foi sobreposto sobre o mapa temático da classificação das imagens do ano agrícola 1995/1996, a fim efetuar uma comparação entre o perfil da vegetação no estágio inicial e no estágio final da pesquisa, e verificar as mudanças que ocorreram na cobertura e uso da terra.

Este procedimento é uma estatística espacial que foi realizada no software ENVI (Environment for Visualizing Images) através da função *Estatística de Detecção de Mudança*, a qual estrutura planilhas que descrevem as diferenças entre duas imagens classificadas numa mesma região em períodos diferentes. Essa estatística difere significativamente da simples subtração entre duas imagens. O relatório estatístico apresenta valores da imagem de diferença espacial, classe por classe.

As tabelas de detecção de mudanças apresentam as classes do estado inicial nas colunas e as classes do estado final nas linhas. Para cada classe do estado inicial, a tabela indica como os pixels foram classificados no estado final de imagem. Como o pixel da imagem LANDSAT-5 tem um tamanho de 30 x 30 m (que corresponde a uma área de 900 m<sup>2</sup>), é possível calcular a área correspondente em hectares para um determinado número de pixels. Os resultados do cálculo são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 3. Estatística de detecção de mudanças nos mapas temáticos da classificação baseada em atributos espectrais, no período entre os anos agrícolas 1995/1996 e 2005/2006 (área em hectares)

Área (hectares)		Estágio Inicial (ano 1995-1996)						
Estágio final (ano 2005-2006)	Classes	Floresta	Agropecuária	Regen. inicial	Regen. interm.	Regener. avançada	Nuvem	Total Classe Final (2006)
	Floresta	1.265.116	1.316	916	4.018	3.989	218	1.275.573
	Agropecuária	77.106	81.404	23.205	40.071	19.282	9.306	250.374
	Regeneração em estágio inicial	95.772	46.651	21.303	45.536	26.362	6.912	242.536
	Regeneração estágio intermediário	79.314	31.247	24.069	129.489	78.706	4.901	347.726
	Regeneração em estágio avançado	67.127	10.049	5.543	36.596	102.161	1.577	223.053
	Nuvem	9.004	5.674	2.162	7.336	15.827	461	40.464
	Total Classe Inicial (1996)	1.593.439	176.341	77.198	263.046	246.327	23.375	2.379.726
	Mudança na Classe	328.323	94.937	55.895	133.557	144.166	22.914	
	Diferença na Imagem	-317.866	74.033	165.338	84.680	-23.274	17.089	

Pela leitura da estatística de detecção de mudanças nas imagens Landsat da MRH de Tomé-Açu no período de 1996 a 2006, destacam-se as seguintes conclusões:

1. No período analisado, verifica-se uma perda de 328.322 hectares de florestas na microrregião, a qual se converte em 77.106 hectares em áreas de produção agropecuária; 175.086 hectares em capoeiras jovens (capoeirinha e capoeira); 67.127 ha em capoeiras maduras (capoeirão) no estado final. Esta supressão da floresta representa um incremento de 43% na área antropizada em apenas 10 anos, o que pode ser considerado ponto de partida para qualquer estudo sério sobre mudanças no uso da terra na microrregião.
2. No período estudado, observa-se um aumento de 74.033 ha na área usada na agropecuária, o que indica um notável crescimento para um período de 10 anos de 42% na área em produção agrícola e pecuária. Grande parte deste aumento se deve à conversão de florestas (31%) e ao reaproveitamento de capoeiras (33%) para a produção agropecuária, o que demonstra o peso deste segmento no desflorestamento de novas áreas e da vegetação secundária em regeneração.
3. No que diz respeito à regeneração da vegetação para o porte de floresta, denota-se uma recuperação de 10.239 ha de florestas pela reconversão de outras classes para a classe originária, pela regeneração florestal de 1.316 ha de agropecuária, e de 8.923 de capoeiras. É claro que a regeneração florestal de 10.239 ha é absolutamente insuficiente para compensar a perda de 328.322 ha desmatados. Contudo, é uma área significativa para um evento raro, que

deveria ser estudado para se entender como recuperar a biomassa de uma área desflorestada na amazônica, utilizando o potencial de regeneração espontâneo como força principal.

4. As mudanças observadas na dinâmica das capoeiras na área de estudo estimulam pesquisas nesta direção, já que a somatória das áreas de capoeiras convertidas para a agropecuária totaliza 82.556 ha, uma área maior que a de floresta convertida para atividades produtivas (77.106 ha), o que pode indicar um bloqueio no crescimento da vegetação secundária e, conseqüentemente, na regeneração florestal, em função da demanda por novas áreas para a agropecuária.

Como se pôde observar, a estatística de detecção de mudanças é muito útil no estudo da evolução do uso da terra na área de pesquisa, indicando as mudanças que ocorrem na vegetação no período estudado e nas formas de ocupação do solo. No entanto, como a classificação se baseia exclusivamente nos atributos físicos das imagens de satélite, não oferece qualquer explicação sobre as forças motrizes do desmatamento e das mudanças no uso da terra, já que estas têm fundamento humano e, portanto, causas sociais.

Considerando que existe um consenso que as mudanças no uso da terra têm múltiplas causas, e que os agentes locais desempenham um importante papel nas decisões sobre as mudanças (LAMBIN, GEIST e LEPERS, 2003), é indispensável identificá-los para analisar os padrões típicos de uso da terra para cada grupo e de que maneira eles respondem às políticas públicas. Desta maneira, para compreender as mudanças no uso da terra na Amazônia, é necessário identificar os agentes envolvidos nas mudanças, para avaliar os padrões de organização espacial dos diferentes grupos de agentes, e associá-los aos padrões de agrupamentos de pixels detectados nas imagens de satélites.

## **A MALHA FUNDIÁRIA DA MICRORREGIÃO DE TOMÉ-AÇU**

Para identificar os agentes envolvidos nas mudanças de uso da terra na MRH de Tomé-Açu, utilizamos a base de dados fundiários desenvolvida pela Universidade Federal do Pará no *Sistema Geográfico de Informações Fundiárias* (SIG Fundiário). Este sistema foi construído em parceria com o Ministério Público do Pará, tendo por objetivo integrar em uma base de dados única associada a um Sistema de Informações Geográficas, dados de órgãos públicos fundiários e ambientais com os registros de imóveis em cartórios, para subsidiar ações de justiça agrárias, ordenamento territorial e proteção ambiental (UFPA, 2016).

A primeira região mapeada pelo SIG Fundiário foi a microrregião de Tomé-Açu, em projeto executado na primeira metade da década de 2010 para atender uma demanda do Ministério Público do Estado do Pará, interessado em equacionar conflitos fundiários ocasionados pela dinâmica de compra e venda de terras na região, para expansão do plantio de dendê. O trabalho deste projeto resultou em um mapa das propriedades rurais na microrregião de Tomé-Açu, com informações cartográficas dos processos de regularização fundiária do ITERPA - Instituto de Terras do Pará, do INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, e dos registros de imóveis em cartórios da região.

Na base cartográfica do SIG Fundiário na MRH de Tomé-Açu, foram integrados os imóveis georreferenciados pelo Programa Terra Legal e os imóveis certificados pelo SIGEF – Sistema de Gerenciamento Fundiário do INCRA. Para cobrir o espaço ocupado por estabelecimentos rurais não registrados nos órgãos públicos, utilizamos as informações cartográficas

declaradas pelos próprios produtores no Cadastro Ambiental Rural (CAR) da Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará. Desta maneira, tornou-se possível compor um mapa consistente da situação fundiária na microrregião, que permite identificar os atores responsáveis pelas mudanças de uso da terra.

A integração das bases de dados de diferentes camadas fundiárias foi realizada com a conversão dos shapefiles dos imóveis rurais para o sistema de referência geográfica SIRGAS-2000, e ajustada na escala de 1:100.000 com a Base Cartográfica Digital Contínua da Amazônia Legal do IBGE. As sobreposições e duplicações entre as camadas foram eliminadas, mantendo-se os polígonos de maior precisão e eliminando os outros, obedecendo à seguinte ordem de precisão: 1º) certificado pelo Sistema de Gestão Fundiária do INCRA; 2º) georreferenciado pelo programa Terra Legal; 3º) vetorizado pelo SIG Fundiário. Na limpeza das sobreposições no interior de cada camada, foram mantidos os polígonos com data de registro mais recentes e eliminados os mais antigos.

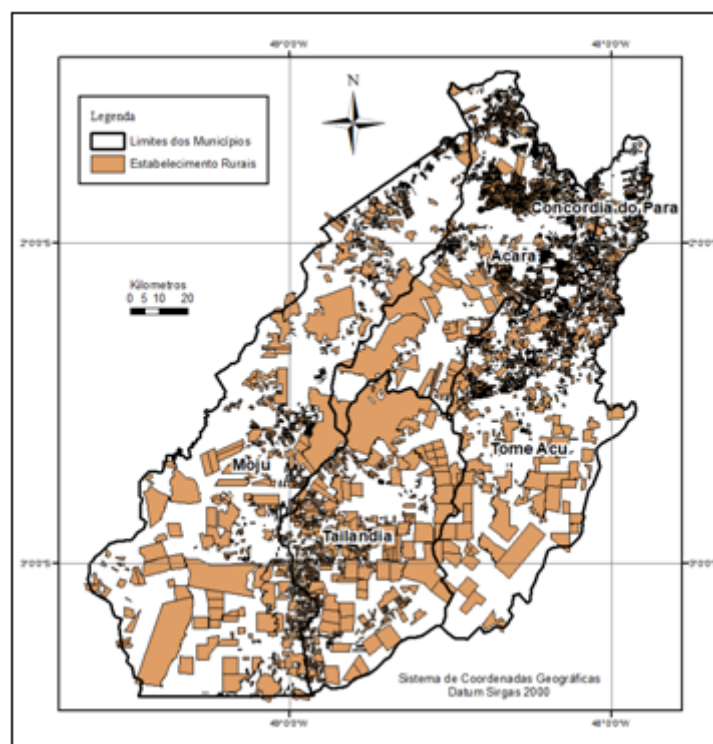
O maior número de sobreposições e polígonos com topologia inválida foi encontrado no CAR, pelo fato que neste sistema os dados cartográficos são declarados pelos interessados na internet, sem validação no processo de recepção. Por isso, os polígonos desta camada sobrepostos aos de outras camadas foram eliminados. Contudo, em face da importância das ocupações que não possuem documentos na região, os polígonos remanescentes foram mantidos com o seguinte procedimento de limpeza dos erros: 1) remoção dos polígonos com erros de topologia; 2) remoção das sobreposições dos polígonos com registro mais antigo e manutenção dos registros mais recentes.

O trabalho de sistematização e limpeza dos dados fundiários resultou na projeção de um modelo da malha fundiária da microrregião de Tomé-Açu (figura 3), composto por 6.582 estabelecimentos rurais registrados nos órgãos oficiais de controle fundiário e ambiental, e uma área total de 1.006.679 hectares, que corresponde a 42,47% da superfície total da área de estudo.

A estrutura fundiária da Microrregião de Tomé-Açu se caracteriza por uma visível concentração de pequenas propriedades no município de Concórdia do Pará, ao norte dos municípios de Acará e Tomé-Açu, e a oeste do município de Tailândia. Nos municípios de Moju, norte de Tailândia e sul dos municípios de Acará e Tomé-Açu, verifica-se uma marcante presença de médias e grandes propriedades. Desconhece-se, entretanto, como essa estrutura fundiária evoluiu no período estudado, pelo fato de as informações cartográficas não estarem disponíveis em todos os registros de imóveis nos cartórios, o que dificulta incorporar à base de dados a dinâmica de compra e venda, assim como a incorporação de novas terras à estrutura fundiária microrregional.

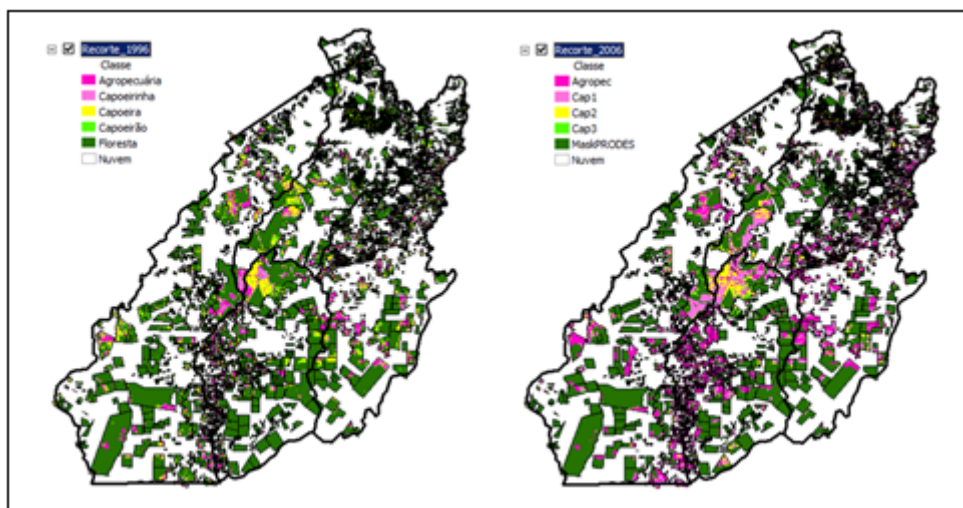
Apesar de a malha fundiária projetada não revelar a evolução da estrutura fundiária entre os anos 1996 e 2006, e não cobrir toda a área trabalhada pelos Censos Agropecuários, as informações cartográficas são uma amostra representativa da estrutura fundiária real da área de estudo, com 6.582 polígonos que correspondem a 41,7% dos estabelecimentos e 85,7% da área levantada no Censo Agropecuário de 1995-1996.

Figura 3. Malha fundiária da Microrregião de Tomé-Açu



Comparando a malha fundiária projetada para a microrregião de Tomé-Açu com as imagens de satélite classificadas na mesma área, constatamos que os polígonos da malha fundiária correspondem a 42,47% da área total da microrregião, incidindo em 41,09% da área antropizada no ano agrícola 1995/1996, e 41,87% no ano agrícola 2005/2006. Podemos concluir, então, que a malha fundiária projetada é uma amostra representativa das mudanças no uso da terra nos dois censos agropecuários, apresentando uma inferência estatística com menos de 1% de margem de erro e um nível de confiabilidade de 95%, o que autoriza generalizar os resultados obtidos no recorte dos polígonos da malha fundiária para toda microrregião de Tomé-Açu.

Figura 4. Recorte da malha fundiária nos mapas temáticos das imagens classificadas na microrregião de Tomé-Açu, nos anos agrícolas 1995/96 e 2005/06



Com este resultado, é possível identificar os atores responsáveis pelo uso da terra, definindo pequenos, médios e grandes produtores pelo tamanho das propriedades. De acordo com a lei nº 8.629, de 25/02/1993, que trata das normas constitucionais para a reforma agrária e o financiamento bancário, médias propriedades são imóveis rurais com área compreendida entre 4 e 15 módulos fiscais. Abaixo estão as pequenas e acima as grandes propriedades.

Mas isso é uma convenção meramente administrativa, inadequada para distinguir os produtores familiares dos patronais. Como veremos adiante, o tamanho dos estabelecimentos agrícolas da malha fundiária projetada nesta pesquisa é bem mais útil se relacionado com os extratos de área dos Censos Agropecuários do IBGE, abrindo um amplo leque de recursos para articular dados de estatísticas agropecuárias com os mapas temáticos de imagens de satélite classificadas. Assim, fica melhor para qualificar os atores responsáveis pelas mudanças no uso da terra e as trajetórias tecnológicas que os orientam. Mas antes de operar este novo passo, vamos estabelecer os parâmetros teórico-metodológicos que orientam a investigação.

## **A DIVERSIDADE DOS AGENTES ECONÔMICOS**

A distinção exigida para o propósito desta pesquisa requer uma caracterização mais detalhada dos agentes econômicos, considerando as diretrizes que orientam suas decisões, a maneira como organizam o trabalho, as relações técnicas de produção, a utilização dos recursos naturais e as formas de produção que resultam das práticas decorrentes.

A abordagem que melhor responde às questões suscitadas pelo objeto de pesquisa foi desenvolvida pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), e o INCRA, no relatório *O Novo Retrato da Agricultura Familiar no Brasil*, que orienta a distinção entre a agricultura familiar e a patronal no Censo Agropecuário 2006 da Agricultura Familiar (IBGE/MDA, 2009). Neste trabalho, a agricultura familiar é caracterizada pelos estabelecimentos que atendem, simultaneamente, às seguintes condições: a) a direção dos trabalhos do estabelecimento é exercida pelo produtor ou pessoa com laços de parentesco; b) a quantidade de trabalho familiar aplicada na produção é superior que o trabalho contratado (FAO/INCRA, 2000, p. 10-11).

Partindo desta definição, o cálculo da força de trabalho familiar empregada nos estabelecimentos foi realizado com as informações dos Censos Agropecuários disponíveis no Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA no item “Responsável e membros não remunerados da família”, considerando como de tempo integral o trabalho do produtor familiar que administra o seu estabelecimento e os “membros não remunerados” com 14 ou mais anos de idade. Computou-se pela metade o pessoal ocupado da família com menos de 14 anos. Desta maneira, calculou-se a quantidade anual de trabalho familiar por estabelecimento, com a soma do número de pessoas ocupadas da família com 14 anos ou mais, com a metade do número de pessoas da família com menos de 14 anos, multiplicado por 260 dias úteis/ano.

O volume de trabalho contratado nos estabelecimentos rurais foi obtido com a soma do valor total das despesas com mão-de-obra contratada, dividido pelo custo médio anual de um empregado no meio rural, calculado da seguinte forma: 1) soma do valor das despesas com o pagamento da mão-de-obra assalariada (permanente ou temporária), com o valor



das despesas com o pagamento de parceiros empregados e das despesas com a mão-de-obra de empreitada; 2) custo médio anual de um empregado no meio rural calculado pela multiplicação do valor médio da diária estadual do trabalhador rural por 260 dias úteis trabalhados no ano; 3) por fim, determinação do número de unidades de trabalho contratado por estabelecimento/ano, pela divisão do valor total das despesas com mão-de-obra contratada pelo custo médio anual de um empregado no meio rural.

Para operacionalizar a problemática de pesquisa com os resultados desses cálculos, classificamos como “familiar” ou “camponês” os estabelecimentos cuja participação da força de trabalho assalariado é menor que 50% da força de trabalho total, e como “patronal” os estabelecimentos que operam com mais de 50% da força de trabalho assalariada.

Deve-se sublinhar que a distinção entre os estabelecimentos familiares e patronais não tem por objetivo simplesmente saber quem paga mais salários ou usa o trabalho familiar. Essa distinção é fundamental para entender lógicas de produção que levam a decisões econômicas diferenciadas na utilização dos recursos naturais e nas mudanças de uso da terra. As estruturas que se enquadram no que Veiga (1991) chama de agricultura patronal se orientam em busca do lucro e dependem do trabalho assalariado e do mercado para se realizarem. As grandes empresas latifundiárias se diferenciam das fazendas. Nestas empresas, exclusivamente o trabalho é assalariado e, em geral, são geridas por administradores profissionais, enquanto que nas fazendas o assalariamento é predominante, mas o trabalho familiar se faz presente, especialmente nas tarefas de gestão.

Além disso, as empresas latifundiárias se situam num contexto de reprodução ampliada do capital, em que tomam parte no processo decisório como um item do portfólio de investimentos da grande empresa, tendo a propriedade fundiária como um ativo entre outros, lhe possibilitando uma estratégia de acumulação a longo prazo. Já as fazendas são empreendimentos de menor porte, individualizados, que operam em um horizonte de curto prazo; elas são limitadas também pela capacidade informacional e cognitiva dos gestores. Contudo, como as duas dependem do trabalho assalariado e orientam-se pela lógica do lucro, são igualmente patronais.

As unidades de produção camponesas, por suas vez, caracterizam-se por uma racionalidade orientada para a reprodução da família, racionalidade esta que se opera pela fusão da esfera da produção com a esfera de consumo, associada a um balanço das necessidades históricas, culturais e econômicas em relação à capacidade interna de trabalho do grupo familiar (CHAYANOV, 1925; TEPICHT, 1973). Isto não quer dizer que as unidades de produção familiar sejam avessas ao lucro, mas que este está subordinado às condições reprodutivas do estabelecimento familiar.

Desta maneira, se as condições de reprodução familiar forem atendidas, mesmo que as expectativas de lucro se frustrem, a unidade produtiva em questão continua funcionando e provavelmente não alterará sua rotina somente por isso. Da mesma maneira, a unidade de produção familiar não se recusa à busca da acumulação dos meios de produção. Entretanto, tais processos se subordinam às condições e necessidades reprodutivas, de modo que a unidade camponesa, ao contrário dos empreendimentos que acumulam para maximizar o lucro, acumula para tornar mais eficiente a sua reprodução (COSTA, 2000, p. 117).

## RECLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS COM VETORES SOCIAIS

Após a qualificação dos agentes econômicos que operam a produção agropecuária, o passo seguinte foi criar uma correlação entre os polígonos da malha fundiária de Tomé-Açu e o estrato de área dos estabelecimentos nas estatísticas do IBGE, tendo com chave primária a categoria “Grupos de área total”. Tal procedimento foi realizado criando uma nova coluna na tabela de atributos do shapefile da malha fundiária, e os polígonos foram classificados de acordo com os extratos de área dos censos e a distribuição proporcional do cálculo da força de trabalho. Este procedimento permitiu a distinção dos estabelecimentos familiares e patronais nos polígonos da malha fundiária da MRH de Tomé-Açu, de acordo com o tipo de força de trabalho empregada nos estabelecimentos.

Para completar a operação, realizou-se a espacialização dos dados estatísticos de interesse dos Censos Agropecuários nos mapas temáticos da classificação das imagens de satélite, com o mesmo artifício da integração do cálculo da força de trabalho na tabela de atributos dos polígonos da malha fundiária, utilizando os estratos de área como chave primária para a junção de dados dos censos com dados georreferenciados. Mas, esta operação foi um pouco mais complexa que a junção do cálculo da força de trabalho no shapefile da malha fundiária da microrregião de Tomé-Açu. A operação foi realizada em diversas etapas, como se resume a seguir:

- 1) Exportação da tabela de atributos dos mapas temáticos recortados pelos polígonos da malha fundiária, contendo as informações espaciais e espectrais da classificação das imagens de satélite no interior dos estabelecimentos agrícolas nos anos agrícolas 1995/1996 e 2005/2006;
- 2) Junção da tabela de atributos exportada com a tabela de dados sociais, agrônômicos e econômicos dos censos agropecuários, utilizando como chave primária a coluna “estratos de área” do shapefile e a coluna “grupos de área total” dos censos;
- 3) Cálculo das probabilidades de uso da terra por estrato de área com os dados agrônômicos e econômicos dos censos agropecuários;
- 4) Distribuição das probabilidades de uso da terra por estrato de área, proporcionalmente ao tamanho das áreas dos polígonos representativos dos estabelecimentos rurais na malha fundiária da microrregião de Tomé-Açu;
- 5) Ajuste das probabilidades de uso da terra com os dados espectrais das imagens classificadas nos polígonos representativos dos estabelecimentos da malha fundiária da microrregião de Tomé-Açu;
- 6) Requalificação das classes de vegetação nas áreas atropizadas das imagens classificadas, com a criação de novas classes com as contribuições das informações sociais, agrônômicas e econômicas dos censos agropecuários.

Os cálculos necessários para a consecução dos passos aludidos foram realizados com algoritmos em operações matemáticas com matrizes, articulando matrizes de atributos das imagens classificadas recortadas pelos polígonos da malha fundiária, e com os bancos de dados dos Censos agropecuários. Para realizar os cálculos, utilizamos o programa Netz, desenvolvido pelo professor Francisco de Assis Costa, em linguagem Visual Basic for Application, para resolver problemas de Contas Sociais (COSTA, 2002a).

O programa Netz foi aplicado por Costa para calcular as contas sociais da economia agrária polarizada pelo município de Marabá, na mesorregião do Sudeste Paraense (COSTA, 2002b) e outras regiões (COSTA, 2006a; 2006b), resolvendo os problemas conceituais relativos aos atributos espaciais e estruturais e os problemas operacionais para obtenção dos indexadores produzidos a partir dos censos agropecuários, assim como a sua distribuição funcional e evolução temporal.

A estrutura trabalhada por Costa para calcular as contas sociais de Marabá com o programa Netz é muito parecida com a estrutura de cálculo utilizada neste trabalho para resolver a problemática da pesquisa. A diferença, neste caso, é que se trabalha com o geoprocessamento dos dados espaciais da malha fundiária, e o sensoriamento remoto dos dados espectrais das imagens de satélite, o que implica uma estrutura de dados com forte conexão espacial. Mas isso não impede que se use uma estrutura de cálculos semelhante a das contas sociais de Marabá, com a mesma lógica de aplicação do programa Netz para operar os cálculos necessários para a modelagem de vetores sociais em imagens de satélite.

Os algoritmos computacionais utilizados seguem o roteiro das deduções de Costa, acima explicitadas, nas formulações de (1) a (9), tendo por objetivo calcular: as áreas ocupadas com culturas agrícolas ou vegetação espontânea e o valor básico da produção (VBP) nessas áreas; a espacialização das informações agronômicas e econômicas na malha fundiária regional; e a reinterpretação da classificação das imagens de satélite no interior dos estabelecimentos rurais.

A distribuição das estatísticas censitárias na imagens de satélite se faz com os tipos de ocorrências de uso da terra, através do relacionamento dos dados estatísticos dos censos com os dados espectrais das imagens de satélite, pela distribuição das probabilidades de uso por faixa de reflectância dos pixels e por faixa de tamanho da propriedade, adicionando à informação espectral significados derivados de características sociais, agronômicas e econômicas dos diferentes tipos de uso da terra.

Para relacionar os dados estatísticos dos censos com os mapas temáticos da classificação das imagens de satélite, foram desenvolvidos scripts para automatizar a execução de tarefas no programa Netz, combinando os dados espectrais com os dados sociais, agronômicos e econômicos, para fazer uma releitura das imagens de satélite. Esses scripts foram desenvolvidos considerando que os valores de reflectância das imagens de satélite permitem uma possível correlação entre as informações espectrais e as informações estatísticas, a partir do conhecimento laboratorial ou tácito sobre os valores médios presumidos de reflectância para cada tipo de uso da terra ou cobertura do solo.

O processamento foi realizado através de quatro matrizes empíricas, duas com os dados de produção e preço dos Censos Agropecuários, e duas com os dados espaciais e os resultados da classificação de dados espectrais das imagens de satélite nos anos agrícolas inicial e final do período deste estudo. O programa Netz constrói as matrizes e estabelece os relacionamentos entre os dados estatísticos e espaciais, pelos algoritmos resultantes do roteiro formulado por Costa, e distribui os valores através das probabilidades de ocorrência no nível mais elementar possível (das propriedades). Os scripts são desenvolvidos para automatizar a execução das tarefas abaixo indicadas.

a) Obtenção dos atributos geográficos aos quais o modelo se refere (municípios e polígonos georreferenciados da malha fundiária);

- b) Obtenção dos atributos estruturais, com as características dos modos de produção dos sistemas que fundamentam a estrutura produtiva da economia agrária;
- c) Obtenção do tamanho das áreas de plantio de cada cultura agrícola, das áreas dos diversos tipos de vegetação de cobertura e das áreas não exploradas nos estabelecimentos rurais;
- d) Obtenção da produtividade das culturas, do volume de produção colhido, dos preços básicos e do Valor Básico da produção;
- e) Operacionalização dos indicadores estatísticos nos scripts desenvolvidos para as classes correspondentes, definidas na classificação das imagens pelos atributos espectrais;
- e) Requalificação da classificação das imagens de satélites considerando os atributos agrônômicos e econômicos dos Censo Agropecuários.

Por exemplo, uma área foi classificada nas imagens de satélite como floresta primária na fase inicial (1995/1996) e na fase final (2005/2006) do período estudado. No entanto, com a plotagem das informações estatísticas na mesma área, verificou-se que no período inicial a área apresentava uma renda derivada da exploração de madeira, ao passo que no período final a renda da extração vegetal era nula, não sendo registrada nenhuma comercialização de produtos extrativistas na área. Desta maneira, a informação estatística sugere uma resignificação na classificação das imagens pelos atributos espectrais, sugerindo na fase inicial uma classe que poderíamos chamar “extrativismo madeireiro”, e na fase final outra classe que poderíamos chamar “mata improdutiva”.

Esta situação é muito comum nas áreas de exploração mais antigas na Amazônia, onde a floresta já foi completamente explorada e não possui mais produtos com valor de mercado, mas permanece com sua estrutura vertical em pé e com o dossel regenerado por rebrotação espontânea. Como no processamento digital das imagens óticas, a análise da vegetação fica limitada às camadas superiores do dossel florestal (MOREIRA, 2001), dificultando uma estimativa das variáveis biofísicas abaixo do dossel (KUPLICH, 2003), mas a área continua sendo identificada no sensoriamento remoto como floresta primária na classificação pelos atributos espectrais. Isso é o que deve ter acontecido na área acima identificada, na classificação das imagens óticas do Satélite Landsat-5 utilizadas nesta pesquisa.

O script que permitiu identificar o “extrativismo madeireiro” no primeiro ano do período estudado pode ser descrito da seguinte forma: “se o Valor Básico da Produção (VBP) do extrativismo não madeireiro é menor que o VBP do extrativismo madeireiro somado ao VBP da produção de lenha, e o VBP do extrativismo não madeireiro é igual a zero; então, o módulo deve ser classificado como *Extrativismo madeireiro*”. Tal script se escreve na linguagem Visual Basic da seguinte forma:

```
If (Data4.Recordset.Fields("VBPExtNãoMdeireiro").Value <
(Data4.Recordset.Fields("VBPExtMadeira").Value + Data4.Recordset.Fields("VBPLenha").Value))
And (Data4.Recordset.Fields("VBPExtNãoMdeireiro").Value = 0) Then
Data4. Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Extrativismo madeireiro"
```

O script que permitiu identificar a “mata improdutivo” na fase final pode ser descrito da seguinte forma: “se o VBP da extração vegetal é igual a zero; então, o módulo deve ser classificado como "Mata improdutivo". Tal script se escreve na linguagem Visual Basic da seguinte forma:

```
If Data4.Recordset.Fields("VBPExtraçãoVegetal").Value = 0 Then  
Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "
```

Outro script de fundamental importância para a área de estudo identifica plantios jovens de culturas permanentes e silvicultura nas áreas classificadas inicialmente como Regeneração em estágio inicial. Esse script, que facilita o mapeamento de novos plantios de dendê e outras culturas permanentes e florestais que vêm mudando o panorama econômico da região, pode ser descrito da seguinte forma: se o VBP das culturas permanentes é nulo e a área plantada com lavouras permanentes, somada à área de floresta plantada e à área plantada com sistemas agroflorestais, for maior que zero, então o módulo deve ser classificado como "Plantio jovem de permanentes ou silvicultura". Na linguagem Visual Basic, este script se escreve da maneira indicada abaixo.

```
If (Data4.Recordset.Fields("VBPPerm").Value = 0) And  
((Data4.Recordset.Fields("ÁreaLavPerm").Value +  
Data4.Recordset.Fields("ÁreaFlorestaPlantada").Value +  
Data4.Recordset.Fields("ÁreaSistemasAgroFlorestais").Value) > 0) Then  
Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Plantio jovem de permanentes ou silvicultura"
```

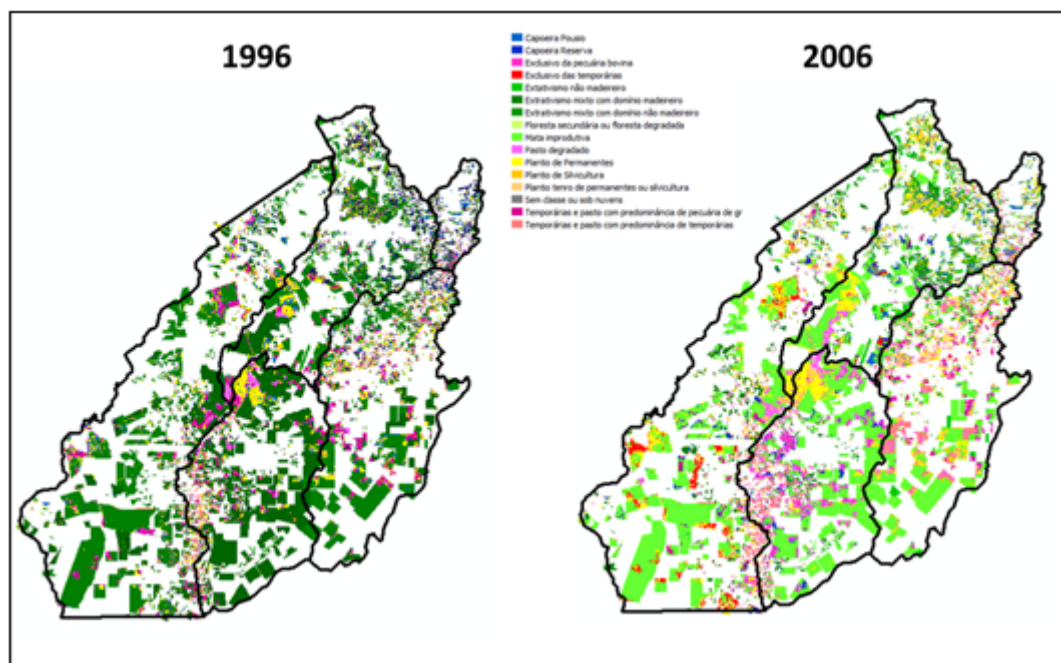
No trabalho de ressignificação das classes obtidas com a classificação das imagens de satélite, foram desenvolvidos 17 scripts que originaram novas classes na releitura dos mapas temáticos da microrregião entre os anos inicial e final do período de estudo. Essa construção foi realizada a partir da correlação entre as classes definidas pelos atributos espectrais e os valores médios da reflectância presumida para cada tipo de cultura ou cobertura vegetal registrada nas estatísticas censitárias

Desta maneira, da classe Floresta derivam cinco novas classes ou módulos: 1) Extrativismo madeireiro; 2) Extrativismo misto com domínio madeireiro; 3) Extrativismo misto com domínio não madeireiro; 4) Extrativismo não madeireiro; 5) Mata improdutivo; 6) Floresta secundária ou floresta degradada. Da classe Agropecuária, se originam quatro módulos: 7) Exclusivo das temporárias; 8) Temporárias e pasto com predominância de temporárias; 9) Temporárias e pasto com predomínio da pecuária de grande porte; 10) Exclusivo da pecuária bovina. Da classe Regeneração em estágio inicial, resultam dois módulos: 11) Pasto degradado; 12) Plantio jovem de permanentes ou silvicultura. Da classe Regeneração em estágio intermediário, se formam três módulos: 13) Plantio de Permanentes; 14) Plantio de Silvicultura; 15) Capoeira Pousio. Da classe Regeneração em estágio avançado, resulta um módulo: 16) Capoeira Reserva. Da classe Nuvem, deriva também um módulo: 17) Sem classe ou sob nuvens.

Uma primeira visualização das imagens reclassificadas com a integração de vetores sociais pode ser observada na figura abaixo, na qual as seis classes da primeira classificação se multiplicam

em 17 módulos. Na comparação das imagens reclassificadas, destaca-se a mudança da classe Floresta, representada com a coloração verde escuro no ano 1996 para o módulo Extrativismo misto com domínio madeireiro, representado com a cor verde claro no ano 2006. Tal mudança ilustra o resultado da operacionalização do primeiro script acima mencionado.

Figura 5. Mapas temáticos da reclassificação com a integração dos vetores sociais (1996- 2006)



Chamadas de módulos, para não se confundirem com as classes originárias, a denominação das novas classes denota o sentido da reclassificação, baseado na vegetação e na renda das atividades econômicas desenvolvidas naquele tipo de vegetação. Desta maneira, procuramos uma denominação para os módulos que se referem às atividades econômicas como forças motrizes do desmatamento e das mudanças no uso da terra, ao mesmo tempo em que sugerem as perspectivas de manutenção ou bloqueio das matrizes, que garantem a sustentabilidade ou a regeneração dos recursos naturais no caso da degradação.

## ACURÁCIA DA RECLASSIFICAÇÃO COM VETORES SOCIAIS

O objetivo central deste trabalho é verificar se a metodologia desenvolvida é capaz de relacionar dados estatísticos com dados espectrais de maneira coerente, para fazer inferências sobre as causas do desmatamento e das mudanças no uso da terra. Nesse contexto, a tarefa principal é verificar a possibilidade de estabelecer um relacionamento confiável entre os dados estatísticos de censos agropecuários e dados espectrais de imagens de satélite.

Nessa perspectiva, quanto maior o grau de acerto da presunção sobre a reflectância dos tipos de vegetação que fundamentam as atividades econômicas nos censos agropecuários, maior a eficácia do modelo desenvolvido a partir das formulações de Costa (2014, p. 17) para estabelecer o diálogo entre as estatísticas agropecuárias e as imagens de satélite. Assim, verificar se os

módulos derivados de uma determinada classe no processo de reclassificação coincidem com a classe originária, é um bom indicador para avaliar a acurácia do resultado da reclassificação na modelagem desenvolvida para integrar vetores sociais com imagens de satélite.

Partindo deste princípio, a avaliação de precisão da reclassificação das imagens foi realizada com o processo de tabulação cruzada, verificando se os módulos gerados na modelagem dos vetores sociais correspondem às classes de origem da primeira classificação. A operação foi realizada em 100 pontos aleatórios distribuídos de maneira proporcional à área de cada classe, nos mosaicos dos mapas temáticos da reclassificação nos anos inicial e final da pesquisa. A validação dos resultados da reclassificação nos mesmos pontos na composição colorida (R5-G4-B3) das imagens ocorreu contando com a experiência do analista na interpretação visual, com o apoio dos mapas de desmatamento do PRODES e das imagens históricas disponibilizadas no aplicativo Google Earth.

O aplicativo Google Earth é um programa que permite visualizar na internet um modelo tridimensional do globo terrestre, desenvolvido a partir de imagens de fontes diversas. Desde 2009, este programa disponibiliza imagens históricas, que permitem aferir a acurácia de classificação em imagens antigas. Testes realizados nessas imagens indicam que elas apresentam fidelidade geométrica com a verdade terrestre (LOPES, 2006), e podem ser usados para aferir a acurácia de mapas temáticos de outras fontes (QUEIROZ, SOUZA, et al., 2017). Estudo da Embrapa concluiu que o Google Earth é eficiente para monitorar mudanças no uso da terra e eventuais erros existentes entre mapas temáticos e a verdade terrestre em datas pretéritas (ROSOT, DLUGOSZ, et al., 2010).

Com a conferência dos acertos e erros nos mapas temáticos reclassificados com a integração dos dados censitários nos anos inicial e final da pesquisa, tornou-se possível calcular as matrizes de confusão da reclassificação, indicando o percentual dos módulos gerados que correspondem à vegetação originária na primeira classificação. Assim, os módulos que se originaram na classe floresta têm a reclassificação considerada correta se coincidirem com a classe *Floresta* na imagem original. Os módulos derivados da classe *Agropecuária* são considerados corretos se coincidirem com a mesma classe na imagem original, e assim por diante com os demais módulos resultantes da reclassificação nos anos inicial e final da pesquisa (ver tabelas 5 e 6).

A matriz de confusão do mapa temático resultante da integração de vetores sociais com imagens do ano agrícola 1995/1996 (tabela 5) indica que o processo de reclassificação alcançou uma exatidão global de 85% e um coeficiente de Kappa de 0,76, este considerado muito bom na escala proposta por Landis e Koch (1977, p. 165) para avaliar o grau de concordância do processo de reclassificação com as referências da verdade de campo.

Entre os módulos resultantes do processo de reclassificação, a menor acurácia do usuário é de 63% nos módulos de Plantios Permanentes e Capoeira Reserva, em função da inclusão indevida de 3 pixels nas classes originárias de Capoeirinha e Capoeirão. Destaque-se que os maiores erros de comissão se encontram nos módulos já mencionados, além de Pasto Degradado e Capoeira Reserva, em decorrência das dificuldades de diferenciação da vegetação nas classes originárias, de Regeneração Inicial, Intermediária e Avançada. Corroborando com esta hipótese, os maiores erros de omissão foram encontrados nas classes originárias de Regeneração, com 50% de erro na Capoeirinha, 33% na Capoeira e 44% no Capoeirão.

Tabela 4. Matriz de confusão da reclassificação das imagens do ano agrícola 1995-1996

Módulos Reclassificação	Dados de Referência*							Erro de Comissão	Acurácia Usuário
	Floresta	Agropec	cap1	cap2	cap3	Nuvem	Total		
Extrativismo madeireiro, Não madeireiro e Misto	54				6		60	10%	90%
Culturas Temporárias, Pasto e Pecuária		11	2				13	15%	85%
Pasto degradado		1	4				5	20%	80%
Plantios permanentes e Capoeira de pouso			2	6	1		9	33%	67%
Silvicultura e Capoeira reserva				3	9		12	25%	75%
Nuvens e sombra de nuvens						1	1	100%	100%
Total Geral	54	12	8	9	16	1	100		
Erro de omissão	0%	2%	50%	33%	44%	0%			
Acurácia do Produtor	100%	92%	50%	67%	56%	100%			

Exatidão Global: 85%; Coeficiente de Kappa: 0,76.

\* agropec = Agropecuária; cap1 = Capoeirinha; cap2 = Capoeira; cap3 = Capoeirão.

Na matriz de confusão da reclassificação das imagens do ano agrícola 2005-2006 (tabela 6), verifica-se uma exatidão global 88% e um coeficiente de Kappa de 0,84, considerado excelente na escala proposta por Landis e Koch (1977, p. 165) para avaliar o grau de concordância do processo de reclassificação com a verdade terrestre.

Os módulos agrupados nas diversas categorias do mapa temático resultante da integração dos vetores sociais com as imagens de satélites do ano 2005/2006 apresentam uma acurácia do usuário maior que 83%, exceto os módulos Culturas temporárias, pasto e pecuária, que apresentam uma acurácia do usuário de 69%, em função da inclusão indevida de 5 pixels na classe originária de Capoeirinha. Os maiores erros de omissão foram encontrados nas classes originárias de Regeneração, com 30% de erro na Capoeirinha, 13% na Capoeira e 17% no Capoeirão. Desta vez, a dificuldade maior aparece na distinção entre as Culturas temporárias, pasto e pecuária e a classe originária capoeirinha.

Tabela 5. Matriz de confusão da reclassificação das imagens do ano agrícola 2005-2006

RECLASSIFICAÇÃO (2006)	Dados de Referência*							Acurácia Usuário	Erro de comissão
	Floresta	Agropec	cap1	cap2	cap3	nuvem	Total		
Extrativismo madeireiro e não madeireiro, floresta degradada e improdutiva	38				2		40	95%	5%
Culturas temporárias, pasto e pecuária		11	5				16	69%	31%
Pasto degradado e plantios jovens permanentes e silvicultura		1	14	1			16	88%	12%



Plantios permanentes e capoeira de pouso			1	13			14	93%	7%
Silvicultura e Capoeira Reserva	1			1	10		12	83%	17%
Nuvens de sombra de nuvens						2	2	100%	0%
Total Geral	39	12	20	15	12	2	100		
Erro de Omissão	3%	8%	30%	13%	17%	0%			
Acurácia do Produtor	97%	92%	70%	87%	83%	100%			

Exatidão Global: 88%; Coeficiente de Kappa: 0,84.

## A ENTROPIA DA INFORMAÇÃO NOS MAPAS TEMÁTICOS

Constatada a acurácia favorável nos dois tipos de classificação, a primeira baseada nos atributos espectrais das imagens de satélite e a segunda introduzindo as estatísticas censitárias, cabe fazer um balanço geral da acurácia alcançada nas duas metodologias (tabela 6), antes de entrar na análise dos resultados pela ótica da Teoria da Informação de Shannon.

Revisando as matrizes de erro das classificações realizadas, verificamos que os valores da exatidão global e do coeficiente de Kappa são idênticos nos mapas temáticos do ano agrícola 2005/2006. Os mesmos indicadores não apresentam diferença significativa nos mapas temáticos do ano agrícola 1995/1996. Podemos concluir, então, que os mapas temáticos da classificação e da reclassificação das imagens têm um nível de acurácia situado no mesmo patamar. Denota-se uma pequena melhoria na acurácia da classificação das imagens de 2005/2006 em relação às de 1995/1996. Vejamos se as mesmas tendências se manifestam nos coeficientes de entropia da informação.

Tabela 6. Acurácia nos diferentes tipos de classificação das Imagens de Satélite

Tipos de Classificação	Exatidão Global		Coeficiente de Kappa	
	1995/96	2005/06	1995/96	2005/06
Baseada exclusivamente em atributos espectrais	82%	88%	0,75	0,84
Com integração de vetores sociais de estatísticas censitárias	85%	88%	0,76	0,84

Calculamos a quantidade de informação contida nos mapas temáticos, como propões Shannon (1948), calculando as probabilidades  $p$  de ocorrência de mensagens multiplicadas pelo logaritmo que mede a quantidade de informação da mensagem, com a expressão (19) formulada na secção de procedimentos metodológicos, agora indicada abaixo de forma desagregada.

$$H = -[p_1 \log p_1 + p_2 \log p_2 + \dots + p_n \log p_n] \quad (20)$$

Para aplicar a orientação de Shannon na avaliação do volume de informação contido nos mapas temáticos produzidos nesta pesquisa, trabalhamos com uma matriz cujas colunas representam as classes de vegetação e as linhas os municípios da área de pesquisa, tendo como indicadores para o cálculo das probabilidades  $p$  de ocorrência das mensagens as áreas das classes de vegetação por município, na configuração matricial abaixo representada. O cálculo das probabilidades de ocorrência de mensagens foi realizado através de divisão

das áreas de classes pelo total X das linhas e colunas, de tal maneira que  $p_1 = \text{área } 1/X$ ,  $p_2 = \text{área } 2/X$ ,  $p_3 = \text{área } 3/X$ , e assim por diante, como indicado abaixo.

Tabela 7. Matriz de cálculo das probabilidades de ocorrência de mensagens

Municípios/ Classes	Vegetação Classe A	Vegetação Classe B	Vegetação Classe C	Vegetação Classe D	Vegetação Classe E	Total 1
Município F	$p_1 = \text{área } 1/X$	$p_2 = \text{área } 2/X$	$p_3 = \text{área } 3/X$	$p_4 = \text{área } 4/X$	$p_5 = \text{área } 5/X$	ÁREA F
Município G	$p_6 = \text{área } 6/X$	$p_7 = \text{área } 7/X$	$p_8 = \text{área } 8/X$	$p_9 = \text{área } 9/X$	$p_{10} = \text{área } 10/X$	ÁREA G
Município H	$p_{11} = \text{área } 11/X$	$p_{12} = \text{área } 12/X$	$p_{13} = \text{área } 13/X$	$p_{14} = \text{área } 14/X$	$p_{15} = \text{área } 15/X$	ÁREA H
Município I	$p_{16} = \text{área } 16/X$	$p_{17} = \text{área } 17/X$	$p_{18} = \text{área } 18/X$	$p_{19} = \text{área } 19/X$	$p_{20} = \text{área } 20/X$	ÁREA I
Município J	$p_{21} = \text{área } 21/X$	$p_{22} = \text{área } 22/X$	$p_{23} = \text{área } 23/X$	$p_{24} = \text{área } 24/X$	$p_{25} = \text{área } 25/X$	ÁREA J
Total 2	ÁREA A	ÁREA B	ÁREA C	ÁREA D	ÁREA E	X

Para calcular a entropia absoluta, somaram-se as probabilidades  $p$  de ocorrência de mensagens, multiplicadas pelo logaritmo que mede a quantidade de informação das mensagens, de acordo com a formulação (20) acima indicada. O cálculo da entropia relativa foi realizado através da divisão da entropia absoluta pela entropia máxima, esta calculada pela aplicação da formulação (20) nos pontos máximos obtidos na divisão da unidade, pelo número de colunas multiplicado pelo número de linhas nas matrizes-base de cada tipo de classificação.

O mesmo procedimento foi realizado para os mapas temáticos da classificação baseada nos atributos espectrais e da reclassificação com a integração de vetores sociais, nos anos inicial e final do período da pesquisa. Como resultado, os coeficientes de entropia apresentados na tabela abaixo dimensionam o volume de informação em cada data e tipo de classificação.

Tabela 8. Entropia nos mapas temáticos de classificação e reclassificação das imagens de satélite

Tipos de Classificação	Entropia absoluta		Entropia relativa	
	1996	2006	1996	2006
Classificação baseada nos atributos espectrais	3,56	3,95	72,6%	80,5%
Reclassificação com integração de vetores sociais	4,05	4,67	80,6%	99,6%

Como se pode observar, a tendência de melhoria da acurácia no final do período estudado foi mantida nos coeficientes de entropia da informação. No entanto, ao contrário do que ocorre nos índices de acurácia, não se verifica uma equivalência nos coeficientes de entropia dos mapas temáticos obtidos na classificação e reclassificação das imagens. Os mapas temáticos resultantes da integração dos vetores sociais apresentam coeficientes de entropia superiores aos coeficientes dos mapas temáticos da classificação baseada nos atributos espectrais, tanto no início como no final do período estudado. No ano inicial, a entropia relativa aumenta da classificação para a reclassificação de 72,6% para 80,6%, e no ano final de 80,5% para 99,6%.

Tudo indica, então, que a integração dos vetores sociais nas imagens de satélite aumenta o volume de informações, incrementa a diversidade e acrescenta novidades na interpretação dos atributos espectrais. Senão, vejamos de que maneira os resultados da reclassificação das imagens com a introdução de fatores sociais e econômicos se apresentam, e como podem colaborar no entendimento das mudanças de uso da terra na área de interesse.

## DETECÇÃO DE MUDANÇAS NOS MAPAS TEMÁTICOS COM VETORES SOCIAIS

Constatado o aumento da quantidade de informações com a integração das estatísticas censitárias na releitura dos pixels, podemos analisar com mais detalhes os mapas temáticos gerados, buscando uma visão mais acurada da evolução dos sistemas de produção na microrregião de Tomé-Açu, para uma maior compreensão dos fatores sociais e econômicos que influenciam as mudanças de uso da terra no período estudado.

A tabela 9 apresenta a estatística de detecção de mudanças no uso da terra na microrregião de Tomé-Açu entre os anos 1996 e 2006, tendo como referência os módulos gerados na reclassificação das imagens de satélite com a integração das estatísticas censitárias. Nesta tabela, as colunas indicam os tipos de vegetação das atividades produtivas nos estabelecimentos rurais no ano agrícola 1995-1996, enquanto as linhas indicam as atividades no ano agrícola 2005-2006.

Uma primeira observação que se destaca nesta tabela é a primeira linha sem qualquer registro, indicando a ausência do módulo “Extrativismo madeireiro” em 2006. Esta atividade era muito importante na economia regional até 1996, como indica a primeira coluna da tabela, sendo desenvolvida em uma área de 284.051 hectares, equivalente a 28% da área dos estabelecimentos estudados. Entretanto, em 2006, o extrativismo madeireiro puro não aparece como atividade de destaque, indicando o esgotamento das reservas de madeira na microrregião. Próxima da capital do estado, a exploração de madeira nesta região ocorre desde o período colonial, razão porque é notável que as reservas madeireiras tenham se mantido até 1996, e esgotado rapidamente na década seguinte.

Para que se tenha uma ideia da importância do extrativismo madeireiro na economia regional, até 1996 a atividade registrava um VBP de R\$11,5 milhões para o conjunto dos estabelecimentos da microrregião de Tomé-Açu no Censo Agropecuário de 1995-1996, contribuindo com 20% do VBP da produção vegetal no ano agrícola (IBGE, 1998). Já no Censo Agropecuário de 2006, o extrativismo madeireiro registra um VBP de R\$1.836.000,00, contribuindo com apenas 0,4% do VBP da produção vegetal na microrregião (IBGE, 2009).

Como se observa na primeira coluna da tabela, com a decadência da produção madeireira na região, 207.596 ha da área do “Extrativismo Madeireiro” em 1996 se converte em “Mata improdutiva” em 2006, e o restante da área se converte em outras atividades. A mata improdutiva se destaca também na segunda coluna da tabela, na qual se observa que 226.699 ha do “Extrativismo misto com domínio madeireiro” de 1996 se transformam em mata improdutiva em 2006. Assim, somando-se as áreas que se regeneram parcialmente em capoeiras, pastos e lavouras abandonadas, a mata improdutiva chega em 2006 como a vegetação de maior extensão nos estabelecimentos estudados, com um total de 436.470 hectares representando 43% da área total da malha fundiária da microrregião de Tomé-Açu.

Outro importante destaque no cenário de mudanças é o crescimento da área plantada com culturas permanentes, que aumenta de 105.235 hectares em 1996 para 153.690 hectares em 2006, indicando um aumento de 46% na área plantada com essas culturas nos estabelecimentos estudados. Com esta expansão, em 2006, as culturas permanentes ocuparam 15% da área total dos estabelecimentos da microrregião. Por sua vez, o registro de 10.000 hectares de plantios jovens de culturas permanentes e silvicultura em 2006 indica uma tendência de continuidade da expansão dessas culturas na região

Tabela 9. Estatística de mudança na reclassificação das imagens com vetores sociais nos anos agrícolas 1995-1996 e 2005-2006 (área em hectares)

Área dos módulos reclassificados (hectares)   2006 \ 1996 →	1- Extrativismo madeireiro	2- Extrativismo misto c/ domínio madeireiro	3- Extrativismo misto c/ domínio não madeireiro	7- Exclusivo das temporárias	8- Temporárias e pasto c/ domínio de temporárias	9- Temporárias e pasto c/ predominância da pecuária	11- Pasto degradado	13- Plantio de Permanentes	15- Capoeira Pousio	16- Capoeira Reserva	17- Sem classe ou sob nuvens	Total Geral
1- Extrativismo madeireiro												
2- Extrativismo misto com domínio madeireiro	2.547	26.894	0	0	32	0	24	106	20	87	5	29.715
3- Extrativismo misto com domínio não madeireiro	5.996	31.732	10	0	81	0	85	302	0	475	25	38.706
4- Extrativismo não madeireiro	5.458	22.956	8.771	0	31	34	63	228	101	232	19	37.892
5- Mata improdutiva	207.596	226.699	0	0	10	381	197	891	491	162	43	436.470
6- Floresta secundária degradada	0	105	0	0	0	434	23	181	0	105	44	892
7- Exclusivo das temporárias	9	7.457	21	1	4	6.736	2.175	3.176	1.132	249	213	21.174
8- Temporárias e pasto com predominância de temporárias	3.820	8.460	161	4	10.460	6.824	4.869	7.685	1.273	2.575	2.294	48.424
9- Temporárias e pasto com predominância de pecuária de grande porte	2.925	2.479	0	1	205	7.977	1.813	4.254	1.322	641	960	22.576
10- Exclusivo da pecuária bovina	10.645	5	0	0	4	6.167	2.180	2.677	556	129	1.215	23.578
11- Pasto degradado	21.945	11.257	318	3	6.176	13.473	8.327	15.116	3.407	5.067	3.121	88.211
12- Plantio jovem de permanentes ou silvicultura	6	4.886	0	0	1	1.545	799	2.212	1.054	0	150	10.652
13- Plantio de Permanentes	12.916	24.435	1.291	9	4.035	10.283	12.359	52.887	14.358	18.769	2.347	153.690
14- Plantio de Silvicultura	201	6.245	113	0	758	298	571	3.926	2.992	10.263	249	25.615
15- Capoeira Pousio	4.371	5.358	627	3	777	1.346	1.167	4.858	4.866	10.329	303	34.004
16- Capoeira Reserva	5.187	2.506	137	12	426	2.006	749	3.461	1.599	1.312	243	17.638
17- Sem classe ou sob nuvens	429	2.743	326	39	1.482	1.414	966	3.274	1.564	4.980	224	17.441
Total Geral	284.051	384.216	11.775	71	24.481	58.916	36.367	105.235	34.734	55.375	11.457	1.006.679

Uma primeira observação que se destaca nesta tabela é a primeira linha sem qualquer registro, indicando a ausência do módulo “Extrativismo madeireiro” em 2006. Esta atividade era muito importante na economia regional até 1996, como indica a primeira coluna da tabela, sendo desenvolvida em uma área de 284.051 hectares, equivalente a 28% da área dos estabelecimentos estudados. Entretanto, em 2006, o extrativismo madeireiro puro não aparece como atividade de destaque, indicando o esgotamento das reservas de madeira na microrregião. Próxima da capital do estado, a exploração de madeira nesta região ocorre desde o período colonial, razão porque é notável que as reservas madeireiras tenham se mantido até 1996, e esgotado rapidamente na década seguinte.

Para que se tenha uma ideia da importância do extrativismo madeireiro na economia regional, até 1996 a atividade registrava um VBP de R\$11,5 milhões para o conjunto dos estabelecimentos da microrregião de Tomé-Açu no Censo Agropecuário de 1995-1996, contribuindo com 20% do VBP da produção vegetal no ano agrícola (IBGE, 1998). Já no Censo Agropecuário de 2006, o extrativismo madeireiro registra um VBP de R\$1.836.000,00, contribuindo com apenas 0,4% do VBP da produção vegetal na microrregião (IBGE, 2009).

Como se observa na primeira coluna da tabela, com a decadência da produção madeireira na região, 207.596 ha da área do “Extrativismo Madeireiro” em 1996 se converte em “Mata improdutivo” em 2006, e o restante da área se converte em outras atividades. A mata improdutivo se destaca também na segunda coluna da tabela, na qual se observa que 226.699 ha do “Extrativismo misto com domínio madeireiro” de 1996 se transformam em mata improdutivo em 2006. Assim, somando-se as áreas que se regeneram parcialmente em capoeiras, pastos e lavouras abandonadas, a mata improdutivo chega em 2006 como a vegetação de maior extensão nos estabelecimentos estudados, com um total de 436.470 hectares representando 43% da área total da malha fundiária da microrregião de Tomé-Açu.

Outro importante destaque no cenário de mudanças é o crescimento da área plantada com culturas permanentes, que aumenta de 105.235 hectares em 1996 para 153.690 hectares em 2006, indicando um aumento de 46% na área plantada com essas culturas nos estabelecimentos estudados. Com esta expansão, em 2006, as culturas permanentes ocuparam 15% da área total dos estabelecimentos da microrregião. Por sua vez, o registro de 10.000 hectares de plantios jovens de culturas permanentes e silvicultura em 2006 indica uma tendência de continuidade da expansão dessas culturas na região.

Por outro lado, na coluna *Plantio de Permanentes*, verifica-se que 52.887 ha se mantêm como cultura permanente até 2006, mas 52.347 ha são convertidos em outras culturas. Ou seja, quase 50% da área plantada em 1996 com culturas permanentes foi perdida ou abandonada. Em 2006, a maior parte desta área encontrava-se convertida em pastagens. Decorre daí o terceiro destaque, que é o crescimento da área ocupada com pastagens resultante da conversão de culturas permanentes. De 1996 para 2006, a área de pastagens cresce de 119.765 ha para 182.790 ha, representando uma ampliação de 53% na área das propriedades destinada à pecuária. Contribuindo para o crescimento das pastagens, verifica-se um significativo aumento no consórcio de culturas temporárias com pastagens, indicando o financiando das pastagens pelas culturas temporárias.

A estatística de detecção de mudanças pode ser elaborada somente com as informações espectrais, como foi feito na classificação das imagens de satélite com a leitura dos pixels, mas não tem o mesmo potencial de prospecção que a detecção de mudanças com a integração das estatísticas censitárias. O diferencial neste caso é a incorporação de informações econômicas localizadas no espaço geográfico, favorecendo a construção de hipóteses sobre as causas humanas das mudanças no uso da terra e cobertura do solo.

Por exemplo, na estatística de detecção de mudanças, com a classificação das imagens pelos atributos espectrais (tabela 3), se pôde verificar que houve um desmatamento de 328.322 hectares na área de estudo entre os anos 1996 e 2006, implicando uma perda de 21% das florestas, que se converteram em agropecuária e vegetação secundária. Integrando as informações econômicas na análise, é possível fazer inferências mais detalhadas na estatística de detecção de mudanças.

Na estatística de detecção de mudanças com a classificação das imagens pelos atributos espectrais, foi possível quantificar o desmatamento e a área convertida para agropecuária ou capoeira. Já na detecção de mudança com a integração das informações econômicas, além de quantificar a perda da floresta, foi possível identificar como a área desmatada está sendo explorada, e qual a área convertida para culturas temporárias, pastagens, culturas permanentes, silvicultura etc.

Mais importantes que as informações sobre a conversão das florestas, são as revelações sobre as mudanças no perfil das florestas em 2006, que passariam despercebidas na leitura das imagens de satélite sem as informações econômicas. Na detecção de mudanças com as informações espectrais, as florestas terminam o período estudado com 80% da área que detinham em 1996. Entretanto, com as informações econômicas na reclassificação das imagens, constatamos que 80% da área de floresta remanescente é improdutiva, sem nenhum registro de venda de madeira ou produtos extrativistas em 2006. O restante da área de florestas se mantém produzindo renda com produtos não madeireiros com a exploração da madeira em segundo plano, em decorrência do esgotamento das reservas madeireiras.

Os exemplos expostos corroboram com os coeficientes entropia mais altos nos mapas temáticos da reclassificação das imagens com a integração das informações econômicas, indicando que a quantidade de informações nesses mapas é maior que nos mapas temáticos produzidos somente com as informações espectrais. Considerando que o aumento da entropia está ligado à idéia da transformação e emergência da novidade, é de se supor que a diversidade de produtos que se pode obter com a integração de vetores sociais em imagens de satélite pode se refletir em ricos conteúdos para ampliar o entendimento sobre o dematamento e as mudanças no uso da terra na Amazônia.

## **TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS REVELADAS**

Pelo que trabalhamos até aqui, podemos considerar que é viável integrar vetores sociais de estatísticas censitárias com informações espaciais e espectrais em imagens de satélite. Aprendemos também que os resultados desta integração fornecem elementos adicionais para enriquecer a leitura de imagens de satélite, com o incremento da quantidade das informações e a emergência da novidade, questões essas que sugerem convergência com os processos de mudanças no uso da terra e cobertura do solo.

Falta-nos, porém, responder como os resultados da integração das estatísticas agropecuárias com imagens de satélite podem contribuir com as teorias sobre as mudanças no uso da terra. Agora que temos mais informações sobre o uso da terra no período estudado na área de pesquisa, podemos analisar o papel dos produtos nos sistemas de produção e configurar as trajetórias tecnológicas que orientam a economia agrária da microrregião de Tomé-Açu.

Para alcançar esses objetivos, aplicamos as funções de produto (10), de desempenho (11) e de investimento-fonte (12) desenvolvidas por Costa (2009, p. 49-55) para definir as Trajetórias Tecnológicas que conformam os sistemas agrários na Amazônia, conforme os procedimentos apresentados acima na seção correspondente. Como resultado, foram identificadas seis trajetórias tecnológicas no período estudado na microrregião de Tomé-Açu, as quais são descritas a seguir.

#### a) Trajetória Camponês-T1

Conduzida por agricultores familiares, a Trajetória Camponês-T1 se apresenta em 234 estabelecimentos no ano agrícola 1996-1996, totalizando uma área de 30.990 ha e que produz um Valor Bruto da Produção (VBP) de US\$5,7 milhões de dólares<sup>2</sup>, com 45% do valor proveniente de culturas temporárias, 28% de culturas permanentes, 17% do extrativismo misto com domínio madeireiro e 10% da pecuária leiteira. Naquele ano, o uso da terra nesta trajetória se caracteriza por sistemas de produção altamente diversificados, que apresentam baixo impacto no meio ambiente, mantendo 54% da área coberta com florestas em bom estado de conservação, e um alto grau de regeneração florestal, com 18% da área manejada com capoeira reserva.

No ano agrícola 2005-2006, a Trajetória Camponês-T1 se apresenta em 504 estabelecimentos, totalizando uma área de 18.689 ha e um VBP de US\$120,8 milhões de dólares, 79% proveniente de culturas permanentes, 19% de culturas temporárias e 2% do extrativismo madeireiro. Neste ano, o uso da terra foi diversificado, com 14% da área coberta por florestas ricas em madeira, 28% com culturas temporárias e 14% com culturas permanentes. Contudo, se registrou um aumento na área degradada com florestas e pastagens (respectivamente, 16% e 19% da área total), além do início de uma tendência à especialização com culturas permanentes, que podem provocar impactos na biodiversidade e na formação de dejetos poluidores.

#### b) Trajetória Camponês-T2

Conduzida por agricultores familiares, a Trajetória Camponês-T2 se apresenta no ano inicial da pesquisa em 5.891 estabelecimentos, com um VBP total de US\$41,1 milhões de dólares, 51% proveniente de culturas temporárias, 18% de culturas permanentes, 15% do extrativismo madeireiro e 15% do extrativismo não madeireiro. Apesar de o VBP concentrar-se em culturas temporárias, o sistema de produção se caracteriza pelo uso diversificado do solo e dos recursos naturais, mantendo 48% da área coberta com florestas ricas em madeira e 21% da área em forma de capoeira reserva, e um sistema de produção com baixo impacto do meio ambiente. No final do período de pesquisa, a Trajetória Tecnológica T2 apresentou 55% do VBP concentrado em culturas temporárias, 36% gerado por culturas permanentes e 9% pelo extrativismo misto com domínio não madeireiro. O sistema de produção apresenta um uso

---

2 A partir daqui, para comparar os valores entre os anos de 1996 e 2006, os valores correntes informados em moeda brasileira (Real) nos Censos Agropecuários de 1995-2006 e 2006 foram convertidos para dólares dos EUA através do Conversor de Moedas do Banco Central do Brasil (<https://www.bcb.gov.br/conversao>), com a cotação de 1,0044 para a troca de US\$1,00 dólar por moeda brasileira na data 28/06/1996, e a cotação de 2,1380002 na data de 29/12/2006.

da terra diversificado, mas os consórcios de pastagens com culturas temporárias se ampliam e as áreas de reserva florestal se reduzem em 34%, enquanto a regeneração florestal é praticamente nula (0,02%). No estágio inicial em que se encontram, essas mudanças não provocam impacto ambiental, mas indicam tendências à especialização que favorecem a homogeneização da paisagem e a formação de dejetos poluidores.

#### c) Trajetória Camponês-T3

Gerida por agricultores familiares, a Trajetória Camponês-T3 aparece somente final do período estudado em 217 estabelecimentos, com 94% do VBP gerado pela pecuária bovina e 6% pelas culturas permanentes. Esta trajetória tem origem nos estabelecimentos da Trajetória Camponês-T2 que assumiram a tendência de especialização na pecuária, com a implantação das pastagens financiadas pelo consórcio com culturas temporárias. Marcada pelo uso extensivo da terra e homogeneização da paisagem e alto impacto na biodiversidade, esta mudança no uso da terra cria uma trajetória camponesa singular na região, que provoca a formação de dejetos poluentes pela queima da floresta e a formação de pastagens degradadas, que já ocupam 41% da área total dos estabelecimentos.

#### d) Trajetória Patronal-T4

Conduzida por agentes patronais, a Trajetória Patronal-T4 se apresenta no ano agrícola 1995-1996 em 82 estabelecimentos como um VBP total de US\$12,6 milhões de dólares, com 70% da renda concentrada no extrativismo madeireiro (70%), 21% nas culturas temporárias e 9% nas culturas permanentes solteiras. No que diz respeito ao uso da terra, a trajetória em questão é marcada por uso extensivo do solo, homogeneização da paisagem com alto impacto na biodiversidade, intensa emissão de dejetos de poluentes pela queima da floresta e a formação de áreas degradadas.

Em 2006, a Trajetória Patronal-T4 se amplia para 148 estabelecimentos, totalizando um VBP de US\$4,8 milhões de dólares, 73% concentrado na pecuária bovina, 21% nas culturas temporárias em consórcio com pastagens e 6% nas culturas permanentes. Em relação ao uso da terra, 70% da área total dos estabelecimentos é degradada, na forma de florestas improdutivas (59%) e pastos depauperados (11%). Com o esgotamento da madeira, a expansão da pecuária passa a ser financiada pelas culturas temporárias. Como resultado, em 2006 a trajetória Patronal-T4 se caracterizou pelo uso extensivo dos recursos naturais e homogeneização da paisagem, com alto impacto na biodiversidade e intensa formação de dejetos, na forma de emissões poluentes (pela queima de florestas) e áreas degradadas.

#### e) Trajetória Patronal-T5

Conduzida por agentes patronais, a Trajetória Patronal-T5 se desenvolveu em 375 estabelecimentos no ano agrícola 1995-1996, totalizando uma área de 707.484 ha e um VBP de US\$15,2 milhões de dólares, com a renda concentrada em plantations de culturas permanentes (47%) e pecuária bovina (32%), complementada pelo extrativismo madeireiro



(18%) e culturas temporárias (3%). Naquele ano, os estabelecimentos nesta trajetória possuíam 77% da sua área total coberta com florestas primárias ricas em madeira, e o restante em culturas permanentes e pastos. O subsistema de culturas permanentes era marcado pelo uso intensivo do solo em plantios agroindustriais, com alto impacto na biodiversidade pela homogeneização da paisagem e intensa formação de dejetos químicos poluidores.

Em 2006, a Trajetória Patronal-T5 se desenvolveu em 321 estabelecimentos, totalizando uma área de 524.779 ha e um VBP de US\$16,8 milhões de dólares, altamente concentrado nas culturas permanentes (92%), complementado com a pecuária bovina (5%) e culturas temporárias (2%) e extrativismo não madeireiro (1%). Os sistemas de produção possuem 61% de suas áreas degradadas com matas improdutivas (55%) e pastos degradados (6%), 16% com culturas permanentes e silvicultura, 10% com culturas temporárias e pastagens, e o restante com capoeiras. Em consequência, a trajetória é marcada pelo alto impacto na biodiversidade em função da degradação das florestas e homogeneização da paisagem, além da intensa formação de dejetos químicos poluidores.

#### f) Trajetória Patronal-T7

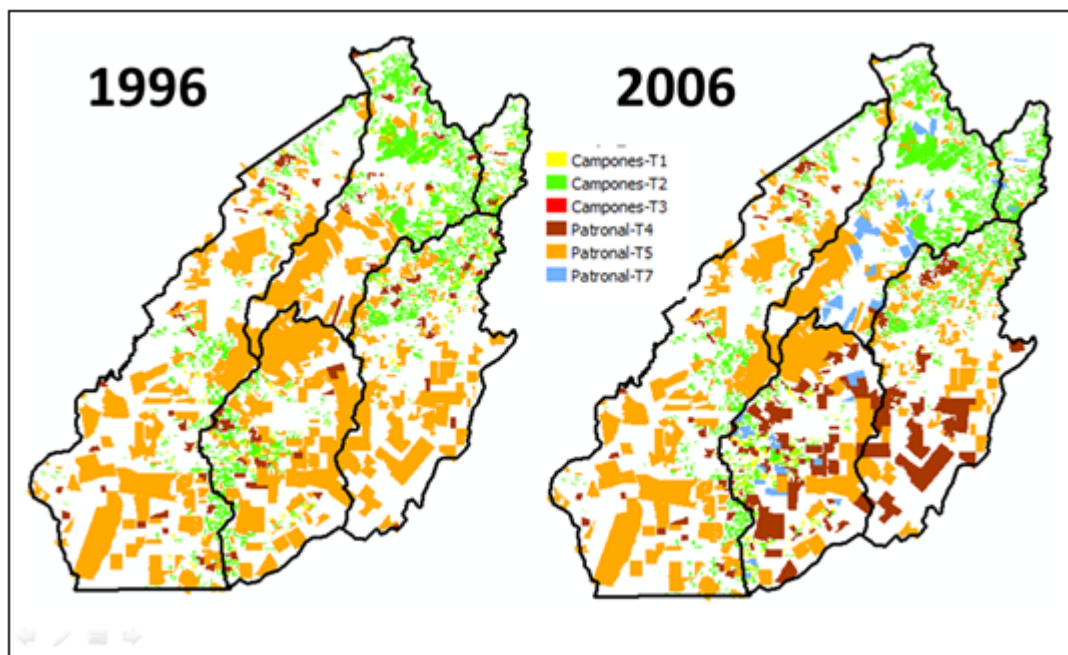
A Trajetória Patronal-T7 aparece como novidade em 2006 em 17 estabelecimentos patronais, ocupando uma área de 30.473 ha e produzindo um VBP de US\$340 mil dólares naquele ano, 80% proveniente do consórcio de pastagens com culturas temporárias e 20% exclusivo das temporárias. Esta trajetória tem origem no abandono das Trajetórias T4 e T5, em função da degradação que esses sistemas de produção causaram no solo. Procurando uma alternativa, os produtores adotaram o Sistema Barreirão, uma tecnologia desenvolvida pela Embrapa Arroz e Feijão, em Goiás, para recuperação de pastagens degradadas com a mecanização e calagem no preparo do solo para culturas anuais (CÉZAR e YOKOYAMA, 2003).

Por mais paradoxal que possa parecer, a solução encontrada para o esgotamento dos recursos naturais é o aprofundamento das tecnologias mecânico-químicas que levaram àquele estado de degradação ambiental. Assim, os estabelecimentos da Trajetória Patronal-T7 se caracterizam pelo uso extensivo do solo, com 62% da área total coberta com florestas improdutivas e pastos degradados, 14% com culturas temporárias e pastagens, 8% com culturas permanentes e 16% com capoeiras. Em consequência, verifica-se nessas áreas uma forte homogeneização da paisagem, com alto impacto na biodiversidade e significativa formação de dejetos químicos poluidores.

## **TENDÊNCIAS DE MUDANÇAS NO USO DA TERRA EM TOMÉ-AÇU**

Uma primeira visão das trajetórias tecnológicas na área de estudo revela uma marcante presença da Trajetória Patronal-T5 desde o início até o final do período estudado, como podemos observar na figura 6 nos polígonos de cor laranja, que se manifesta em grandes propriedades na forma de plantation de culturas permanentes, particularmente o dendê, cultura caracterizada pelo uso intensivo do solo e homogeneização da paisagem, com alto impacto na biodiversidade e na formação de dejetos/impacto poluidor.

Figura 6. Evolução das Trajetórias Tecnológicas nos estabelecimentos da MRH de Tomé-Açu (1996-2006)



Uma segunda observação indica um aumento da área ocupada com a Trajetória Patronal-T4 no período do estudo, como podemos observar nos polígonos de cor marrom, especialmente nos municípios de Tomé-Açu e Tailândia. Esta trajetória reúne um conjunto de estabelecimentos de médio e grande porte que convergem para a pecuária de corte, marcada pelo uso extensivo do solo, homogeneização da paisagem com alto impacto na biodiversidade e formação intensa de dejetos.

Uma novidade que aparece no final do período é a emergência de Trajetória Patronal-T7, que pode ser visualizada na figura 7 nos polígonos de cor azul, uma nova trajetória dominada por lavouras mecanizadas de culturas temporárias com predominância da soja, de acordo com os estudos mais recentes de Costa (2012; 2016). Nesta primeira visada do alto, como num voo de asa delta com os motores desligados, não é possível uma avaliação mais acurada das trajetórias tecnológicas, particularmente das trajetórias camponesas que aparecem com abundância nos polígonos de cor verde clara na figura 7. Para tecer considerações sobre o assunto, é necessário uma maior aproximação sobre as mudanças no uso da terra, lançando mão das estatísticas de detecção de mudança (tabela 11).

Em 1996, do total de 6.582 estabelecimentos estudados, 6.125 (73%) desenvolviam trajetórias camponesas e 457 (7%) trajetórias patronais (tabela 10). Em 2006, mantiveram-se em trajetórias camponesas 6.073 estabelecimentos, enquanto os estabelecimentos patronais ampliaram-se para 509. Ou seja, no período estudado, há um aumento de 52 estabelecimentos nas trajetórias patronais e um decréscimo correspondente nas trajetórias camponesas, indicando uma importante mudança no uso da terra. Apesar dos poucos estabelecimentos que participam desta mudança, o processo de diferenciação dos camponeses é de grande significado, indicando possibilidades de integração da agricultura familiar à agroindústria de dendê.

Tabela 10. Detecção de mudança das trajetórias tecnológicas por número de estabelecimentos

Trajetória Tecnológica/ Nº Estabelecimentos	Ano agrícola 1995-1996					
	Camponês-T1	Camponês-T2	Patronal-T4	Patronal-T5	Total Geral	
Ano agrícola 2005-2006	Camponês-T1	59	445			504
	Camponês-T2	123	5.432			5.555
	Camponês-T3		14			14
	Patronal-T4			31	117	148
	Patronal-T5	52		28	241	321
	Patronal-T7			23	17	40
	Total Geral	234	5.891	82	375	6.582

No âmbito das trajetórias patronais, se destacam importantes mudanças no período estudado, como a transição de 117 estabelecimentos da Trajetória Patronal T-5 para a Trajetória Patronal-T4, indicando o abandono das plantations de dendê em favor da pecuária bovina. Em 2006, observa-se a emergência da Trajetória Patronal-T7 em 40 estabelecimentos que em 1996 encontravam-se nas trajetórias Patronal-T4 e Patronal-T5, indicando o esgotamento dos sistemas de produção nessas trajetórias e a necessidade de recuperação de áreas degradadas com o uso deletério dos recursos naturais. Entretanto, a opção tecnológica escolhida para a recuperação das áreas degradadas é mais um aprofundamento das tecnologias mecânico-químicas do que uma mudança propriamente dita.

E interessante notar também os movimentos que se fazem entre trajetórias camponesas, como a mudança de 445 estabelecimentos da Trajetória Camponês-T2 para a Trajetória Camponês-T1 que, à primeira vista, parece indicar interesse na especialização em culturas permanentes, em face da tendência desta trajetória no final do período estudado.

A evolução das trajetórias tecnológicas nos estabelecimentos agrícolas implica em mudanças no uso da terra e nas decisões sobre o desmatamento, e o tamanho da área ocupada por cada trajetória é determinante na configuração do sistema agrário regional. Vejamos então como as mudanças de trajetórias que ocorrem nos estabelecimentos, alteram o total da área ocupada por cada trajetória.

No início do período de estudo, do total da área de 1.006.679 hectares da área estudada, 76% eram ocupados por trajetórias patronais, totalizando 757.740 hectares, e 24% ocupados por trajetórias camponesas, totalizando 238.938 hectares (tabela 11). No final do período estudado, houve uma perda de 7.174 hectares das trajetórias camponesas para as trajetórias patronais, equivalente aos 1% da área sob o comando de trajetórias camponesas. Tal perda se deve à mudança já assinalada de 52 estabelecimentos camponeses que se tornaram patronais.

Tabela 11. Detecção de mudança das trajetórias tecnológicas por ocupação da área

Área em Hectares/ Trajetórias Tecnológicas	Ano agrícola 1995-1996					
	Camponês-T1	Camponês-T2	Patronal-T4	Patronal-T5	Total Geral	
Ano agrícola 2005-2006	Camponês-T1	7.792	10.898			18.689
	Camponês-T2	16.025	196.833			212.858
	Camponês-T3		217			217
	Patronal-T4			22.201	180.390	202.591
	Patronal-T5	7.174		20.984	496.621	524.779
	Patronal-T7			17.072	30.473	47.545
	Total Geral	30.990	207.948	60.257	707.484	1.006.679

No período estudado, entre as mudanças de trajetória no âmbito dos estabelecimentos patronais, destaca-se a transferência de 180.390 hectares da trajetória Patronal-T5 para a Trajetória Patronal-T4, substituindo as plantations de dendê pela pecuária bovina. Como movimento recíproco, mas sem poder de compensação, foram transferidos 20.984 hectares da Trajetória Patronal-T4 para a Trajetória Patronal-T5. Apesar das perdas de área para a Trajetória Patronal-T4 entre os anos 1996 a 2006, a Trajetória Patronal-T5, que tem como atividade principal plantations de dendê, chega ao final do período comandando a exploração de mais da metade da área total estudada, com apenas 321 estabelecimentos do total de 6.582 estabelecimentos da amostra.

A grande novidade no final do período é o surgimento da trajetória Patronal-T7, que ganha espaço com a transferência de 47.545 hectares provenientes das trajetórias Patronal-T4 e Patronal-T5 (tabela 12). A nova Trajetória Patronal-T7 introduz na região uma tendência que se encontra avançada em outras regiões do estado do Pará, com a mecanização de extensas áreas com a cultura da soja. Contudo, enquanto nessas regiões a soja entra como cultura pioneira, em Tomé-Açu ela entra como componente do Sistema Barreirão, para recuperar áreas degradadas pelas Trajetórias Patronal-T4 e Patronal-T5, respectivamente pela criação extensiva de gado e pelas culturas permanentes.

Nas transferências de terra que se fazem entre as trajetórias camponesas, cabe destacar a troca de áreas entre as Trajetórias Camponês-T1 e Camponês-T2 no período estudado, de 16.025 ha da primeira para a segunda, e de 10.898 ha da segunda para a primeira. A perda de área e do peso da Trajetória Camponês-T1 no sistema agrário regional se sacramenta com a transferência de 7.174 hectares para a Trajetória Patronal-T5, em função dos 52 estabelecimentos que passaram da condição camponesa para a condição patronal. Desta maneira, a Trajetória Camponês-T1, que no início do período estudado comandava a exploração de 30.990 ha, termina o período gerindo apenas 18.689 ha.

Um movimento de menor peso na contabilidade de transferência de terras, mas de grande significado, ocorre com a transferência de 217 hectares da Trajetória Camponês-T2 para a formação da Trajetória Camponês-T3, no final do período estudado. Em 2006, o aparecimento desta nova trajetória em 14 estabelecimentos camponeses denota a introdução de um processo de pecuarização entre os agricultores familiares da microrregião de Tomé-Açu, que já é dominante em outras regiões do Pará e da Amazônia (ANDRADE, SÁ, et al., 1997; SOLYNO SOBRINHO, 2004), mas que não se manifestava desta maneira, até então, entre os agricultores familiares de Tomé-Açu.

Todos esses movimentos de mudanças no uso da terra nas unidades de produção são regidos por uma determinação maior, que são os valores de troca dos produtos que fundamentam as trajetórias tecnológicas. Ou seja, na medida em que um produto tem um valor de mercado mais rentável que outros, deve atrair mais produtores para sua produção. Assim, para compreender o que estimula o aumento da produção de um produto, assim como a redução ou a estagnação de sua produção, deve-se analisar o VBP dos produtos que compõem o portfólio das trajetórias tecnológicas, o que permite também analisar o papel e o peso de cada trajetória na configuração do sistema agrário regional.

Uma visão geral no valor produção dos estabelecimentos analisados no ano agrícola de 1995-1996 revela que o VBP total apurado foi de R\$65.512.961,00 (sessenta e cinco milhões, quinhentos e doze mil e novecentos e sessenta e três reais), equivalente a US\$65.512.963,00 (sessenta e cinco milhões, quinhentos e doze mil, novecentos e sessenta e um dólares), com

a cotação do dólar do Banco Central do Brasil em 28/06/1996. As trajetórias que produzem maior VBP são as trajetórias Camponês-T2 e Patronal-T5 (tabela 12).

Tabela 12. Valor Bruto da Produção 1996 (em dólares) por tipo de produto e Trajetória Tecnológica

VBP/Produto/Trajetoária	Camponês-T1	Camponês-T2	Patronal-T4	Patronal-T5	Total Geral
Produtos da Floresta	1.002.652	12.074.237	2.499.522	2.783.754	18.360.164
Culturas Temporárias	2.525.129	21.345.931		433.689	24.304.749
Pecuária	545.822		737.372	4.819.241	6.102.435
Culturas Permanentes	1.568.279	7.636.277	336.866	7.204.192	16.745.613
Total VBP (em dólares)	5.641.882	41.056.444	3.573.759	15.240.876	65.512.961

Fonte: processamentos da reclassificação de imagens do ano agrícola 1995/1996 (elaboração do autor).

Em 2006 o VBP da agropecuária nos estabelecimentos estudados era de R\$258.449.765,00 (duzentos e cinquenta e oito milhões, quatrocentos e quarenta e nove mil, setecentos e sessenta e cinco reais), equivalente a US\$120.883.882,00 (cento e vinte milhões, oitocentos e oitenta e três mil, oitocentos e oitenta e dois dólares), com a cotação do dólar do Banco Central do Brasil em 29/12/2006. Ou seja, tendo como referência o dólar, o VBP total dos estabelecimentos aumentou 85% no período compreendido entre os anos 1996 a 2006. As trajetórias Tecnológicas Camponês-T2 e Patronal-T5 mantêm-se como as que produzem o maior VBP (tabela 13).

Tabela 13. Valor Bruto da Produção 2006 (em dólares) por tipo de produto e Trajetória Tecnológica

VBP 2006 (em dólares)	Camponês-T1	Camponês-T2	Camponês-T3	Patronal-T4	Patronal-T5	Patronal-T7	Total Geral
Produtos da Floresta	317.119	6.364.887	0	0	263.798	0	6.945.804
Culturas Temporárias	2.349.029	47.052.184	0	2.007.202	330.216	340.505	52.079.136
Pecuária	30.870	0	1.097.287	2.593.393	837.175	0	4.558.724
Culturas Permanentes	9.916.152	31.684.353	67.353	208.124	15.424.237	0	57.300.219
Total	12.613.170	85.101.424	1.164.640	4.808.718	16.855.426	340.505	120.883.882

Fonte: processamentos da reclassificação de imagens do ano agrícola 2005/2006 (elaboração do autor).

Quando comparamos a participação de cada trajetória tecnológica na economia agrícola da MRH de Tomé-Açu, verificamos que a Trajetória Camponês-T2 é responsável por 63% do VBP total em 1996 e 70% no ano 2006. A segunda maior contribuição para o VBP total da região é da Trajetória Patronal-T5, participando com 23% em 1996 e 14% em 2006.

Isso quer dizer que a trajetória dominada pelas culturas permanentes, que ocupou 70% da área total dos estabelecimentos estudados em 1996 e 52% em 2006, provocou alto impacto na biodiversidade e poluição química e contribui com apenas 23% do VBP regional em 1996 e 14% em 2006. Em contraste, a trajetória Camponês-T2, que ocupou apenas 21% da área total por todo período, e teve uma produção altamente diversificada de alimentos, culturas permanentes e produtos extrativos, contribuiu com 63% do VBP total na região em 1996 e 70% em 2006.

Há que se destacar que a renda da trajetória Camponês-T2 é distribuído com mais de 5 mil estabelecimentos familiares, ao passo que a renda da trajetória Patronal-T5 distribuiu-se entre 321 estabelecimentos patronais. Tais comparações entre as duas trajetórias de maior impacto na economia agrária regional permitem concluir que a Trajetória Camponês-T2 é a mais eficiente em termos de produtividade, distribuição de renda e sustentabilidade ambiental. Ademais, contribui decisivamente para o abastecimento de alimentos na região e no estado.

Contudo, quando dividimos o VBP das tabelas 13 e 14 pelo número de estabelecimentos em cada trajetória na tabela 11, percebemos que a renda média por unidade de produção na Trajetória Patronal-T5 é de US\$40.642 dólares em 1996 e US\$52.509 em 2006, ao passo que na Trajetória Camponês-T2 é de US\$6.969 dólares em 1996 e US\$15.320 em 2006. Portanto, a suposta rentabilidade do dendê como cultura principal da Trajetória Tecnológica-T5, os programas de subsídios governamentais, a promessa de compra garantida e o interesse da agroindústria na integração da agricultura familiar à produção do dendê representam um forte atrativo para os produtores.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS E CONCLUSÕES

Este artigo tem um forte enfoque metodológico. No entanto, algumas considerações sobre a dinâmica agrária da microrregião de Tomé-Açu podem ser extraídas das análises, procurando pistas para compreender as forças motrizes do desmatamento e das mudanças no uso da terra, para fundamentar a confirmação da hipótese que orienta esta investigação, a demonstração dos resultados e as conclusões.

As estatísticas de detecção de mudanças realizadas nos mapas temáticos resultantes da interpretação das imagens de satélite revelam que os sistemas de produção de Tomé-Açu passaram por profundas transformações no período de 1996 a 2006, mudando de uma paisagem com 68% da área coberta por florestas ricas em produtos madeireiros e não madeireiros, para outra paisagem com 52% das suas terras ocupadas por matas improdutivas, 9% por pastos degradados e apenas 11% da área coberta por florestas pobres em madeira (rever tabela 9).

Como destacamos acima, no início do período estudado, o valor bruto da produção (VBP) de madeira era de US\$11,4 milhões de dólares, contribuindo com 20% do VBP da produção vegetal em 1996 (IBGE, 1998). Já no final do período, o VBP da madeira decaiu para US\$858,7 mil dólares em 2006, contribuindo com apenas 0,4% do VBP da produção vegetal em 2006 (2009). Considerando que a madeira vem sendo explorada desde o período colonial na região, é surpreendente que no curto prazo de 10 anos as reservas de madeira tenham se esgotado e a venda do produto se tornado insignificante.

Pelo que indicam as mudanças na cobertura vegetal, os tipos de produtos e o valor da produção no período analisado, verifica-se uma importante mudança no cenário regional, no qual o sistema de produção, que mescla o extrativismo tradicional com modernos sistemas agroflorestais, vem sendo confrontado por um sistema de produção agroindustrial dominado pela monocultura do dendê, em que as culturas permanentes contribuem com 47% do VBP e as florestas com 6% (rever tabelas 13 e 14).

O processo de mudança se evidencia ainda mais quando se verifica que a mata improdutiva é a cobertura vegetal com maior extensão nos estabelecimentos estudados em 2006, com um total de 436.470 hectares representando nada menos que 81% das florestas

remanescentes e 43% da área total da malha fundiária. Por outro lado, a área plantada com culturas permanentes é de 153.690 hectares, com destaque para a área do dendê, ocupando 15% da área total dos estabelecimentos estudados e 39% da área explorada com agricultura e pecuária nesses estabelecimentos (rever tabela 9 na p. 42).

É preciso sublinhar que as matas improdutivas não foram identificadas na classificação das imagens baseada em atributos espectrais. Nesta classificação, analisou-se toda a superfície da microrregião de Tomé-Açu e chegou-se à conclusão que mais da metade da área era coberta por florestas primárias em 2006 (tabela 4). Entretanto, como no processamento digital de imagens óticas, a análise da vegetação fica limitada às camadas superiores do dossel da floresta (KUPLICH, 2003), e não foi possível identificar que a maior parte das florestas remanescentes era, na verdade, mata improdutiva.

Com esta limitação na classificação das imagens de satélite baseada nos atributos espectrais, as matas improdutivas só foram identificadas na releitura das imagens com a integração dos vetores sociais, quando se constatou a decadência da produção extrativista e o VBP nulo das matas improdutivas. Assim, somente com a espacialização dos indicadores econômicos no interior dos estabelecimentos agrícolas foi possível localizar as matas improdutivas e diferenciá-las no contexto das florestas remanescentes, generalizadas na classificação das imagens de satélite baseada nos atributos espectrais.

Por sua vez, com a distribuição das probabilidades de uso da terra indicada nas estatísticas censitárias por faixa de reflectância da vegetação nas imagens de satélite, tornou-se possível espacializar os produtos de acordo a importância social e privada, para configurar as trajetórias tecnológicas que orientam os sistemas de produção.

Entre as seis trajetórias tecnológicas encontradas no período analisado, duas se revelam com maior peso na economia regional: 1) a trajetória Camponês-T2, responsável por 63% do VBP rural em 1996 e 70% em 2006, combinando lavouras tradicionais com modernos sistemas agrofloretais, que produzem uma variedade de produtos e abastecem pequenas indústrias para o atendimento do mercado local e a exportação para os mercados nacional e internacional; 2) a trajetória Patronal-T5, responsável por 23% do VBP rural em 1996 e 14% em 2006, baseada na monocultura do dendê e introduzida na região a partir da década de 1980, capitaneada por indústrias de grande porte fundamentadas no mercado internacional do dendê.

A trajetória Camponês-T1 aparece em terceiro lugar, contribuindo com 9% do VBP rural em 1996 e 10% em 2006, com a produção baseada no extrativismo e na pecuária leiteira no início do período, e mudando radicalmente no final do período, com 79% do VBP derivado de culturas permanentes, particularmente o dendê. A trajetória Patronal-T4 contribui com 5% do VBP rural em 1996 e 4% em 2006, com o sistema de produção direcionado para a criação de gado de corte, com a formação das pastagens fundamentada no consórcio com as culturas temporárias, e financiamento complementado no início do período pela exploração de madeira e, no final, por culturas permanentes.

As trajetórias Camponês-T3 e Patronal-T7 aparecem somente no final do período analisado, com baixo poder econômico no VBP rural da microrregião. Contudo, não se deve desprezar o papel dessas duas trajetórias como alternativas de mudança das trajetórias dominantes. A trajetória Camponês-T3 tem sua origem nos estabelecimentos da Trajetória Camponês-T2 que assumiram a tendência de especialização na pecuária, com a implantação de pastagens financiadas pelo consórcio com culturas temporárias. A trajetória Patronal-T7 tem origem no

abandono das Trajetórias T4 e T5, em função da degradação que esses sistemas de produção causaram no solo.

Analisando o conjunto das trajetórias tecnológicas reveladas, é possível identificar, quantificar e localizar as mudanças no uso da terra que ocorreram no período analisado, visualizando as forças motrizes dessas mudanças e as tendências que podem determinar o futuro do sistema agrário na região. Assim, podemos constatar que os resultados da modelagem de vetores sociais em imagens de satélite respondem ao problema que instigou esta pesquisa: as críticas de que as aplicações de sensoriamento remoto dedicam pouca atenção ao estudo das causas sociais das mudanças no uso da terra, e as ciências sociais subutilizam o potencial do sensoriamento remoto na investigação dos problemas humanos do desmatamento e das mudanças no uso da terra.

Desta maneira, comprovou-se a hipótese da pesquisa de que é possível integrar vetores sociais com imagens de satélite, abrindo espaço para o benefício mútuo de diferentes tipos de abordagem e fontes de informação. Como resultado, tornou-se possível validar o modelo teórico das trajetórias tecnológicas com uma referência espacial explícita e, ao mesmo tempo, responder às críticas de que o sensoriamento remoto não consegue explicar os mecanismos causais e os processos socioeconômicos subjacentes a essas mudanças.

Assim, abordagens indutivas do sensoriamento remoto para identificar a vegetação na superfície da terra forneceram os elementos para correlacionar as estatísticas de detecção de mudança no uso do solo com os fatores explicativos da abordagem dedutiva das trajetórias tecnológicas. As análises estatísticas podem ser usadas para ajustar o modelo teórico, o qual oferece variáveis explicativas capazes de representar as relações causais. Ao validar o modelo teórico com referência espacial explícita, pode-se efetuar um teste completo da estrutura causal em um quadro georreferenciado no qual a localização do evento importa, alcançando uma melhor compreensão da causalidade e um maior avanço dos estudos sobre o desmatamento e as mudanças no uso da terra.

Para se chegar a esses resultados, foram aplicados vários métodos de diferentes perspectivas disciplinares. Foram utilizadas abordagens teóricas, estatísticas dedutivas e indutivas. A compreensão conjunta dessas análises permitiu integrar na estrutura de modelagem, aspectos físicos, biológicos, econômicos e sociais da problemática do desmatamento e das mudanças no uso da terra. A modelagem foi uma ferramenta importante para integrar o conhecimento das ciências humanas sobre o uso da terra, com as técnicas de sensoriamento remoto na detecção do antropismo na vegetação. A combinação de métodos foi a chave para uma maior compreensão do sistema de uso da terra.

As estatísticas utilizadas para avaliar a precisão das informações nos mapas temáticos obtidos nas classificações das imagens de satélite apresentaram uma exatidão global acima de 82% para todas as classificações nos anos inicial e final do período analisado, e um índice de Kappa considerado muito bom para a classificação e reclassificação das imagens de 1995-1996 e excelente para as imagens de 2005-2006. Considerando essas informações, podemos concluir que a metodologia desenvolvida no trabalho apresenta resultados satisfatórios na integração de vetores sociais com imagens de satélite, validando a espacialização das estatísticas censitárias nos mapas temáticos da classificação das imagens.

Por sua vez, a mensuração da quantidade de informações que os mapas temáticos oferecem aponta um índice de entropia de Shannon superior nos mapas temáticos resultantes da



integração dos vetores sociais em relação aos mapas temáticos derivados das classificações baseados nos atributos espectrais. Como se previu, a integração das estatísticas agropecuárias, com a cartografia dos estabelecimentos rurais e os dados espectrais das imagens de satélite, permitiu um maior detalhamento da vegetação, associando as atividades agropecuárias aos diferentes tipos de atores produtivos, aumentando a entropia da informação e o poder de comunicação dos mapas temáticos. Como resultado final deste processo, tornou-se possível configurar as trajetórias tecnológicas que orientam os sistemas de produção e explicar as causas sociais do desmatamento e as tendências de mudanças no uso da terra em uma grande região na Amazônia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F. G. et al. *A pecuarização da agricultura familiar: um estudo de caso*. Embrapa-CPAF/Acre. Comunicado técnico 81. Rio Branco, p. 1-3. 1997. (ISSN : 0100-8668).

BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. Análise florística e estrutural de sistemas silviagrícolas em Tomé-Açu, Pará. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1139-1147, out. 2011.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D. D. M.; SOARES, J. V. *Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal*. São José dos Campos: INPE, 2006.

CHAYANOV, A. *La Organización de la Unidad Económica Campesina*. Buenos Ayres: Nueva Visión, 1925.

CHUVIECO, E. *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Unigraf, 1990. 453 p.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing Environment*, v. 37, p. 35-46, 1991.

COSTA, F. A. *A formação agropecuária da Amazônia: os desafios do desenvolvimento sustentável*. Belém: NAEA. Belém: NAEA/UFPA, 2000.

COSTA, F. A. NETZ - Programa de Cálculo de Contas Sociais - Matrizes de Insumo-Transação-Produto Regionais. *Núcleo de Altos Estudos Amazônicos*, Belém, 2002a.

COSTA, F. A. *A dinâmica da economia de base agrária do Pólo Marabá: uma aplicação da metodologia de contas sociais ascendentes (CSa)*, Belém, Naea, v. 5, n. 1, jan/jun 2002b.

COSTA, F. A. *Arranjos e Sistemas Produtivos e Inovativos Locais: as possibilidades do conceito na constituição de um sistema de planejamento para a Amazônia*, v. 5, n. 1, p. 77-98, 2006a.

COSTA, F. A. Uma metodologia de cálculo ascendente para a configuração macro-estrutural de economias locais. *Interações. Revista Internacional de Desenvolvimento Local*, v. 7, n. 12, p. 37-68, 2006b.

COSTA, F. A. *Trajetórias Tecnológicas como Objeto de Política de Conhecimento para a Amazônia: uma metodologia de delineamento*. *Revista Brasileira de Inovação*, Rio de Janeiro (RJ), v. vol. 8, nº 1, p. 35-86, janeiro/junho 2009.

COSTA, F. A. *Elementos para uma economia política da Amazônia: historicidade, territorialidade, diversidade, sustentabilidade*. Belém: NAEA/UFPA, 2012.

COSTA, F. A. *Qualificando pixels, significando mapas: notas sobre reclassificação de imagens digitais sob o testemunho de estatísticas e avaliação da entropia da informação*. *Papers do NAEA nº 239*, Belém, setembro 2014.

COSTA, F. A. Dinâmica agrária, instituições e governança territorial para o desenvolvimento sustentável da Amazônia. *Revista de Economia Contemporânea*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 3, p. 517-552, Set./Dec. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/198055272036>>. Acesso em: 22 jan 2017.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, Vol. 11, Issue 3, June 1982, p 147-162., 1982.

EPSTEIN, I. *Teoria da Informação*. São Paulo: Editora Ática, 1986.

FAO/INCRA. *Novo Retrato da Agricultura Familiar. O Brasil Redescoberto*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e o Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA. Brasília-DF. 2000.

GOMES, C. S. N. et al. A comunicação na cartografia. *Revista eletrônica Don Domênico*, Guarujá, v. 5, junho 2013. ISSN 2177-4641. Disponível em: <[http://encia/faculdedondomenico.edu.br/revista\\_don/anterior.htm](http://encia/faculdedondomenico.edu.br/revista_don/anterior.htm)>. Acesso em: 15 agosto 2019.

HOMMA, A. K. O. O desenvolvimento da agroindústria no estado do Pará. *Saber. Ciências exatas e tecnologia*, Belém, v. 3, Edição Especial, jan./dez. 2001.

HOMMA, A. K. O. *A imigração japonesa na Amazônia: sua contribuição ao desenvolvimento agrícola*. 2ª. ed. Brasília-DF: EMBRAPA, 2016. 255 p.

IBGE. *Divisão regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1990.

IBGE. *Censo Agropecuário 1995-1996 - Brasil*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1998.

IBGE. *Censo Agropecuário 2006*. Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 27 março 2017.

IBGE. *Censo Demográfico 2010. Resultados Gerais da Amostra - Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência*. Brasília: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9749&t=sobre>>.

IBGE. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2012.

IBGE. *Censo Agropecuário 2017*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>>. Acesso em: 30 outubro 2019.

IBGE/MDA. *IBGE. Censo Agropecuário 2006. Agricultura Familiar. Primeiros Resultados*. Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/50/agro\\_2006\\_agricultura\\_familiar.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/50/agro_2006_agricultura_familiar.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2017.

IBM. SPSS Inc. SPSS Statistics for Windows, versão 17.0. Chicago: SPSS Inc., 2018. Suporte IBM, 2018. Disponível em: <<https://www.ibm.com/support/pages/how-cite-ibm-spss-statistics-or-earlier-versions-spss>>. Acesso em: 15 agosto 2019.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. 5ª. ed. São Paulo: Editora Perspectiva S.A., 1997.

KUPLICH, T. M. Estudos Florestais com imagens de radar. *Espaço & Geografia*, v. 6, n. 1, p. 65-90, 2003.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205-241, 2003.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometria*, v. 33, p. 159-174, março 1977. Disponível em: <[https://www.dentalage.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/landis\\_jr\\_koch\\_gg\\_1977\\_kappa\\_and\\_observer\\_agreement.pdf](https://www.dentalage.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/landis_jr_koch_gg_1977_kappa_and_observer_agreement.pdf)>. Acesso em: 22 setembro 2019.

LOPES, E. E. *Proposta Metodológica para Validação de Imagens de Alta Resolução do Google Earth para a Produção de Mapas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 115. 2006.

MAPA. *Diagnóstico da Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, p. 58. 2018. (ISBN 978-85-7991-098-2).

MENDES, F. A. T. Avaliação de modelos simulados de sistemas agroflorestais em pequenas propriedades cacauzeiras selecionadas no município de Tomé-Açu no estado do Pará. *Informe Gepec, Toeldo - Paraná*, v. 07, n. 1, p. 118-144, 2003.

MOREIRA, M. A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.

QUEIROZ, T. B. et al. Avaliação do desempenho da classificação do uso e cobertura da terra a partir de imagens Landsat 8 e Rapideye na região central do Rio Grande do Sul. *São Paulo, UNESP, Geociências*, v. 36, n. 3, p. 569-578, 2017.

ROSOT, M. A. D. et al. Uso de imagens históricas no aplicativo Google Earth para avaliação de mapas temáticos. *Embrapa Florestas, Comunicado Técnico 267*, Colombo - PR, 2010. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/882119>>.

SHANNON, C. E. The Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Journal*, v. 27, p. 379-423, 623-656, 1948.

SOLYNO SOBRINHO, S. A. *Constrangimentos Institucionais para o Desenvolvimento Sustentável da Agricultura Familiar em Marabá*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) - Universidade Federal do Pará. Belém. 2004.

TEPICHT, J. *Marxisme et Agriculture: Les Paysans Polonais*. Paris: Librairie Armand Colin, 1973.

UFPA. *Relatório Final do Projeto Piloto do Sistema Geográfico de Informações Fundiárias do Nordeste Paraense*. Universidade Federal do Pará. Laboratório de Integração de Informações Agrárias, Econômicas e Ambientais para Análise Dinâmica da Amazônia. Belém. 2016.

VANWEY, L. K.; D'ANTONA, Á. O.; BRONDÍZIO, E. S. Household demographic change and land use / land cover change in the Brazilian Amazon. *Population and Environment*, v. 28, n. 3, January 2007. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/27503987?seq=1>>. Acesso em: 25 maio 2019.

VEIGA, J. *O desenvolvimento agrícola: uma visão histórica*. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo - HUCITEC., 1991.

WALSH, S. J. et al. Scale-dependent relationships between population and environment in Northeastern Thailand, 65, n. 1, janeiro 1999. 97-105. Disponível em: <[https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/99journal/january/1999\\_jan\\_97-105.pdf](https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/99journal/january/1999_jan_97-105.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2018.