



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE ALTOS ESTUDOS AMAZÔNICOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL DO TRÓPICO ÚMIDO

TESE DE DOUTORADO

MODELAGEM ESPACIAL DE VETORES SOCIAIS EM IMAGENS DE
SENSORIAMENTO REMOTO PARA A LEITURA DA DIVERSIDADE
ESTRUTURAL DO DESENVOLVIMENTO RURAL DA AMAZÔNIA:
Trajetórias tecnológicas em competição na microrregião de Tomé-Açu

Sebastião Aluizio Solyno Sobrinho

Belém – Pará

2020

Sebastião Aluizio Solyno Sobrinho

**MODELAGEM ESPACIAL DE VETORES SOCIAIS EM IMAGENS DE
SENSORIAMENTO REMOTO PARA A LEITURA DA DIVERSIDADE
ESTRUTURAL DO DESENVOLVIMENTO RURAL DA AMAZÔNIA:
Trajetórias tecnológicas em competição na microrregião de Tomé-Açu**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA) da Universidade Federal do Pará (UFPA). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido (PPGDSTU).

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Costa.

Sebastião Aluizio Solyno Sobrinho

**MODELAGEM ESPACIAL DE VETORES SOCIAIS EM IMAGENS DE
SENSORIAMENTO REMOTO PARA A LEITURA DA DIVERSIDADE
ESTRUTURAL DO DESENVOLVIMENTO RURAL DA AMAZÔNIA:
Trajetórias tecnológicas em competição na microrregião de Tomé-Açu**

Tese apresentada ao Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA) da Universidade Federal do Pará (UFPA). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido (PPGDSTU) para obtenção do grau de Doutor em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental.

Orientação: Prof. Dr. Francisco de Assis Costa.

Data de aprovação: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco de Assis Costa
Orientador – NAEA/ UFPA

Prof. Dr. Manuel Malheiros Tourinho –
Examinador Externo – UFRA

Prof. Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro
Examinador Externo – PPSR-INPE

Profa. Dra. Nirvia Ravena
Examinador Interno – PPGDSTU/NAEA/UFPA

Prof. Dr. Ricardo Theophilo Folhes
Examinador Interno – PPGDSTU/NAEA/UFPA

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Luso Sales Solyno, que me ensinou a amar a natureza.

À minha mãe Yolette dos Santos Freire Solyno, que me ensinou a amar as pessoas e me preocupar com as questões sociais.

À minha esposa Ionara Gentil Solyno e às minhas filhas, Carolina Magalhães Gentil Solyno e Iolanda Gentil Solyno, como uma pequena retribuição por tudo que me dão todos os dias.

A todos eles dedico essa tese como manifestação de minha dedicação e amor.

AGRADECIMENTOS

Foram muitos os que contribuíram para a conclusão desta Tese de Doutorado. Mas a base fundamental foram meus familiares, meus pais, irmão, esposa e filhas, que sempre acolheram e apoiaram meus objetivos. À minha amada esposa Ionara, meu especial reconhecimento pelo companheirismo e paciência que teve comigo nesta importante caminhada.

Em primeiro lugar, gostaria de expressar minha especial gratidão ao meu orientador Prof. Dr. Francisco de Assis Costa pelo apoio contínuo do meu estudo de doutorado e pesquisas relacionadas, pela motivação, por sua paciência, e imenso conhecimento. Sua orientação me ajudou em todo o tempo de pesquisa e redação desta tese. Eu não poderia imaginar um melhor orientador e mentor para meu estudo de doutorado.

Além do meu orientador, gostaria de agradecer ao comitê de qualificação do meu projeto de tese, Profa. Dra. Nirvia Ravena e ao Prof. Dr. Christian Nunes da Silva, pelos seus comentários perspicazes e sugestões, assim como pelas perguntas intrigantes que me incentivaram a ampliar minha pesquisa de várias perspectivas.

Devo agradecer também ao Prof. Dr. Girolamo Domenico Treccani, e ao Prof. Dr. Eloi Luiz Favero, que me proporcionaram a oportunidade de aprender com suas experiências nas áreas de Direito Agrário e da Ciência da Computação, nas atividades que realizamos juntos no Laboratório de Integração de Informações Agrárias, Econômicas e Ambientais para Análise da Dinâmica da Amazônia - IntegraData Amazônia, Programa de Pesquisa ligado à Reitoria da Universidade Federal do Pará coordenado pelo Prof. Dr. Francisco de Assis Costa.

Agradeço também aos meus colegas do projeto Sistema Geográfico de Informações Fundiárias - SIG Fundiário, Sergio Alberto Queiroz Costa, Gustavo Maués Lobato, Tatiane Rodrigues de Vasconcelos, Luciana Miranda Matos, Zingara de Azevedo Capelloni, Ludmila Barroso Silva, pelas discussões estimulantes na análise dos documentos de regularização fundiária e registro de imóveis, no trabalho de mapeamento fundiário que fizemos juntos dos estados do Pará e do Maranhão, sem o qual não seria possível desenvolver a metodologia desta tese.

Eu não poderia deixar de agradecer também aos colegas do SIPAM – Sistema de Proteção da Amazônia do Centro Regional de Belém, Carlos Alberto de Freitas, Sandra Helena Moraes Leite, Dra. Jaci Saraiva, Eduardo da Silva Santos, Luis Waldyr Rodrigues Sadeck, Dr. Nicola Saverio Holanda Tancredi, Marcos Fuckner que sempre apoiaram minhas

atividades de pesquisa no SIPAM, e aos professores da UFPA Dra. Brígida Ramati Pereira da Rocha e Dr. Edson José Paulino da Rocha que colaboravam com aquela instituição quando começamos os trabalhos de geoprocessamento e sensoriamento remoto em apoio ao Programa Terra Legal e o INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, que resultaram na parceria com a UFPA para desenvolvimento do SIG Fundiário.

Por fim, devo expressar o meu reconhecimento à Universidade Federal do Pará e ao Núcleo de Altos Estudos da Amazônia, que me proporcionaram a oportunidade de cursar o mestrado e o doutorado, oferecendo espaço profissional e suas instalações para o desenvolvimento dos meus estudos.

RESUMO

Nesta tese, 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 a 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, permitindo concluir 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: Mudanças no uso da terra na Amazônia, Trajetórias tecnológicas, Sensoriamento Remoto com Vetores Sociais.

ABSTRACTS

In this doctoral thesis, a methodology for spatialization of social and economic data in remote sensing images is developed, guided by the concept of technological trajectories applied to agrarian dynamics in the Amazon, with the objective of contributing to studies on deforestation and changes in land use. The work is carried out from the land mapping of a large agricultural region in the state of Pará, and the integration of statistics from the IBGE Agricultural Census with images from the LANDSAT satellite in the 1995-1996 and 2005-2006 years. As a result, it appears that the integration of social data in remote sensing images allows a more detailed reading of the vegetation with the integration of spectral data to the economic vectors that determine agricultural exploitation, allowing to conclude that the application of the concept of technological trajectories with explicit spatial reference facilitates a greater understanding of the driving forces behind deforestation and changes in land use in the Amazon.

Keywords: Changes in land use in the Amazon, Technological trajectories, Remote Sensing with Social Vectors.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Área, demografia e renda per capita da Microrregião de Tomé-Açu (2010).	26
Tabela 2. Evolução das contribuições dos setores produtivos ao PIB das microrregiões da mesorregião do Nordeste Paraense (1999, 2005, 2010).	26
Tabela 3. Vendas da CAMTA no mercado interno e externo em 2007	32
Tabela 4. Preços pagos aos produtores no município de Tomé-Açu em 2001.....	33
Tabela 5. Distribuição das principais áreas de emprego nos municípios produtores de dendê (2000-2014).	42
Tabela 6. Representação matemática da matriz de confusão.	50
Tabela 7. Matriz de confusão para a classificação das imagens LANDSAT que compõem o mosaico da microrregião de Tomé-Açu no ano agrícola 1995/1996.....	78
Tabela 8. Matriz de confusão para a classificação das imagens LANDSAT que compõem o mosaico da microrregião de Tomé-Açu no ano agrícola 2005/2006.....	78
Tabela 9. Estatística de detecção de mudanças no uso da terra entre os anos agrícolas 1995-1996 e 2005-2006	81
Tabela 10. Correspondência entre os polígonos da malha fundiária projetada e os estratos de área dos estabelecimentos rurais no Censo Agropecuário de 1995/1996.....	89
Tabela 11. Correspondência entre os polígonos da malha fundiária projetada e os estratos de área dos estabelecimentos rurais no Censo Agropecuário de 2006.....	90
Tabela 12. Acurácia dos módulos de reclassificação das imagens do ano agrícola 1995-1996, com a integração das estatísticas agropecuárias.	108
Tabela 13. Acurácia dos módulos de reclassificação das imagens do ano agrícola 2005-2006, com a integração das estatísticas agropecuárias.	109
Tabela 14. Acurácia nos tipos de classificação das Imagens nos anos 1996 e 2006.....	115
Tabela 15. Matriz de cálculo da entropia das classificações e reclassificações de imagens..	117
Tabela 16. Cálculo das probabilidades de ocorrência das mensagens.....	117
Tabela 17. Entropia absoluta e relativa nos mapas temáticos das classificações de imagens	118
Tabela 18. Estatística de detecção de mudança na reclassificação das imagens com vetores sociais (1996-2006).	121
Tabela 19. Áreas abandonadas ou perdidas de plantios permanentes no período de 1996 a 2006, por municípios e extratos de área.	125
Tabela 20. Atributos dos grupos de produtos e expectativas em relação às formas de participação nas trajetórias tecnológicas subjacentes.....	127

Tabela 21. Detecção de mudança das trajetórias tecnológicas pelo número de estabelecimentos agrícolas na microregião de Tomé-Açu.	136
Tabela 22. Detecção de mudança das trajetórias tecnológicas pela área dos estabelecimentos agrícolas na microregião de Tomé-Açu.....	138
Tabela 23. Valor Bruto da Produção em 1996 por município e Trajetória Tecnológica (valores em Reais – R\$1,00)	140
Tabela 24. Valor Bruto da Produção em 2006 por município e Trajetória Tecnológica (valores em Reais – R\$1,00)	141
Tabela 25. Evolução da Área (hectares) ocupada com trajetórias tecnológicas por município 1996-2006.....	143
Tabela 26. Número de estabelecimentos que se converteram da Trajetoria Patronal- T5 para a Trajetória Patronal-T4 por município e estrato de área (1996-2006).....	144
Tabela 27. Valor Bruto da Produção por extrato de área nos estabelecimentos que se converteram da Trajetória Patronal-T5 para a Trajetória Patronal-T4.....	146
Tabela 28. Uso da terra (em hectares) por extrato de área nos estabelecimentos que se converteram da Trajetória Patronal-T5 para a Trajetória Patronal-T4.....	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Microrregião de Tomé-Açu.....	24
Figura 2. Hidrografia e Estrutura viária da Microrregião de Tomé-Açu.....	25
Figura 3. Participação das frutas no valor das vendas da CAMTA (1974-1999).....	30
Figura 4. Concentração das empresas de dendê na microrregião de Tomé-Açu.....	39
Figura 5. Fluxograma Integração de vetores sociais em imagens de satélite.....	72
Figura 6. Imagens Landsat-5 da área de pesquisa nas datas dos Censos Agropecuários.....	74
Figura 7. Mudanças no Uso da Terra na Microrregião de Tomé Açú (1995-2006).....	76
Figura 8. Mudanças no uso da terra entre os anos agrícolas 1995/96-2005/06.....	85
Figura 9. Malha fundiária da Microrregião de Tomé-Açu.....	87
Figura 10. Recorte da malha fundiária nos mapas temáticos das imagens classificadas na microrregião de Tomé-Açu, nos anos agrícolas 1995/96 e 2005/06.....	92
Figura 11. Imagens reclassificadas com a integração dos vetores sociais em 1996 e 2006 ..	104
Figura 12. Plantio de dendê em imagem Quick Bird no Google Earth.....	111
Figura 13. Plantio de dendê identificado em imagem Landsat do ano 1996.....	112
Figura 14. Plantio de dendê em imagem de 1969 do Serviço Geológico dos EUA.....	113
Figura 15. Localização de áreas “Exclusivas da pecuária bovina”.....	123
Figura 16. Localização de áreas abandonadas de plantios permanentes e/m 2006.....	124
Figura 17. Trajetórias Tecnológicas nos estabelecimentos rurais (1996-2006).....	136
Figura 18. Participação das trajetórias tecnológicas no valor bruto da produção da economia agrária da microrregião de Tomé-Açu (1996-2006).....	141
Figura 19. Uso da terra (hectares) em 1996 nos estabelecimentos que se convertem da trajetória Patronal-T5 para a trajetória Patronal-T4 no município de Tailândia ..	148

LISTA DE SIGLAS

BASA: Banco da Amazônia

CEPLAC: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH: Índice de Desenvolvimento Humano

INCRA: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IRHO: Institut de Recherches pour lês Huiles et Oléagineux

ITERPA: Instituto de Terras do Pará

LANDSAT: Land Remote Sensing Satellite

LCLUC: Land Cover and Land Use Change

MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MDA: Ministério do Desenvolvimento Agrário

MMA: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal

MPPA: Ministério Público do Estado do Pará

NAEA: Núcleo de Altos Estudos Amazônicos

NASA: National Aeronautics and Space Administration

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

PCI Geomatics: Photogrammetry & Remote Sensing Software

PIB: Produto Interno Bruto

PNPB: Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

PSOP: Programa Federal de Produção Sustentável de Óleo de Palma

PRODES: Programa de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite

SIPAM: Sistema de Proteção da Amazônia

SR-INCRA 01: Superintendência Regional do INCRA do Pará

SUDAM: Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia

UFPA: Universidade Federal do Pará;

VBP: Valor Bruto da Produção

Ha: Hectares

Km²: Quilômetros quadrados

NASA: National Aeronautics and Space Administration

PRODES: Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite

SR: Sensoriamento Remoto

TM: Thematic Mapper

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. O CONTEXTO DA MICRORREGIÃO DE TOMÉ-AÇU	24
2.1. Da Pimenta-do-reino aos Sistemas Agroflorestais.....	28
2.2. O boom da agroindústria do Dendê.....	34
3. REFERENCIAL TEÓRICO	44
3.1. Mapas de pixels, acurácia e entropia da informação.....	44
3.2. Inserindo dados sociais em imagens de satélite.....	53
3.3. Socializando Pixels.....	55
3.4. Espacializando informações sociais.....	60
3.5. Paradigmas e Trajetórias tecnológicas	64
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	70
4.1. Classificação das imagens de satélite	71
4.2. Estatística de detecção de mudança	80
4.3. A malha fundiária dos estabelecimentos rurais.....	86
4.4. A diversidade dos agentes no contexto de Heterogeneidade Estrutural	93
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	98
5.1. Reclassificação das imagens com vetores sociais	98
5.2. Verdade de campo na reclassificação com vetores sociais	110
5.3. A entropia da informação nos mapas de pixels.....	115
5.4. Detecção de mudanças nas imagens com vetores sociais.....	119
5.5. Trajetórias tecnológicas reveladas	126
5.6. Trajetórias tecnologias na formação do sistema agrário regional	135
6. CONCLUSÕES	151
BIBLIOGRAFIA	156
1 ANEXO 1	168

1. INTRODUÇÃO

As Ciências da Terra têm prestado serviços de suma importância para o conhecimento da vida no planeta Terra, através do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica. 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 sensoriamento remoto poderiam servir para uma melhor compreensão da dinâmica de ocupação econômica do território Amazônico, recompondo a história de evolução dos sistemas agrários e as mudanças correspondentes no uso e cobertura da terra, projetando, ao mesmo tempo, novas tendências de configurações na medida em que avançam as políticas econômicas nacionais, indicando tendências de caminhos futuros, consequências e alternativas.

No entanto, apesar do formidável aparato de recursos mobilizados na aquisição das imagens remotas (foguetes espaciais, plataformas orbitais, estações terrestres de recepção e tratamento das imagens, poderosos softwares de processamento digital, etc.), até meados da década de 1990 são poucas as aplicações de sensoriamento remoto no estudo das causas sociais e econômicas que provocam as mudanças no uso do solo e cobertura da terra. As ciências sociais, por sua vez, eram 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.

Uma questão relacionada é que, em geral, as ciências sociais estão mais preocupadas em determinar como e por que as coisas acontecem, ao passo que as ciências da terra se concentram em localizar onde elas acontecem e dimensionar os impactos biofísicos. Desta maneira, caminhamvamos apartadas áreas de conhecimentos que poderiam se desenvolver melhor integradas, subvalorizando o potencial das imagens de sensoriamento remoto para um melhor entendimento das mudanças de uso da terra na Amazônia.

Uma primeira consequência desta disjunção é a predominância de indicadores com baixo poder explicativo nas arenas de decisão das políticas públicas para a Amazônia, fazendo com que elas se defrontem com dificuldades para equacionar os problemas do meio ambiente, frente às necessidades de desenvolvimento e inclusão social das populações locais na região. A origem dessas dificuldades é a falta de uma visão integrada dos processos sociais e econômicos que estão por trás das mudanças no uso da terra na Amazônia.

As razões desse desencontro são amplas quando se considera os grupos de interesse que intermedeiam as políticas de desenvolvimento para a Amazônia, razão pela qual não podem ser tratadas aqui de maneira adequada. No campo da epistemologia da Ciência, entretanto, algumas razões do desencontro devem ser discutidas na área de interesse desta pesquisa. Em primeiro lugar deve-se destacar que os operadores do sensoriamento remoto vêm as questões das ciências sociais como de difícil tratamento, ou mesmo impossível. Por sua vez, para os cientistas sociais, o entendimento do que pode ser adquirido nas imagens de sensoriamento remoto não foi totalmente apreciado, e quando este recurso é utilizado entra apenas como ilustração, mapa de localização ou caracterização da área de interesse.

O fundamento da problemática se torna mais visível quando comparamos os métodos utilizados pelas diferentes comunidades de investigação. Nas ciências exatas predomina o método indutivo, como nas aplicações de sensoriamento remoto, onde o analista identifica padrões gerais de agrupamentos de pixels, para aplicar um modelo na interpretação da imagem. Nas ciências sociais, por sua vez, predomina o método dedutivo, o qual parte de uma teoria para construir uma hipótese preditiva que deve ser testada, para confirmar ou negar a teoria de origem (LAKATOS e MARCONI, 2007).

A Ciência avança desenvolvendo posições metodológicas que transitam entre os extremos indutivo e dedutivo, construindo modelos que evoluem em diferentes graus de especificação da teoria, ou de explicação da realidade. Para visualizar como os modelos evoluem nos estudos de mudanças no uso da terra, é interessante identificar posições metodológicas que se encontram entre os extremos dedutivo e indutivo. Essas posições não esgotam todas as possibilidades metodológicas, mas ajudam na compreensão da pauta de pesquisa proposta nesta tese.

Quando não se dispõe de nenhum modelo ou teoria para explicar um problema, então, a única metodologia disponível é a indução, em que se trabalha um grande conjunto de dados, relacionando “tudo com todos”, para ver se encontra algum padrão. Quando o pesquisador tem uma noção de quais fatores podem ser relevantes para explicar o problema, ele tem um modelo frágil e pode se concentrar nos fatores que supõe serem relevantes, para ver se de fato desempenham um papel importante, comprovando ou refutando as hipóteses. Quando o pesquisador dispõe de um modelo forte e estruturado, que não só afirma quais fatores são importantes, mas também como eles interferem no fenômeno, pode alcançar uma explicação de verdade, porque a verdadeira explicação exige não é só uma visão dos fatores, mas também dos mecanismos (ELSTER, 1989).

Na indução extrema, o pesquisador procura encontrar padrões em grandes conjuntos de dados, sem a prévia necessidade de qualquer guia teórico. Na dedução extrema do tipo popperiano, a falsificação da teoria no lugar da verificação é vista como a chave do progresso (POPPER, 1994). Ambos extremos têm suas vantagens, nas abordagens indutivas quando se dispõe de uma grande massa de dados, mas não se tem uma teoria forte para explicá-los, e nas abordagens dedutivas, quando as teorias muito fortes estão disponíveis.

Contudo, ambos extremos apresentam desvantagens. Nas ciências sociais, o dedutivismo extremo pode levar a uma infundável rejeição de teorias nas ciências sociais, porque nenhuma delas é capaz de explicar toda a complexidade do sistema. Nas ciências exatas por sua vez, o indutivismo extremo pode levar a uma imensa quantidade de correlações nas ciências exatas, que não podem ser interpretadas como causas e nunca se acumulam em uma teoria consistente.

No campo do sensoriamento remoto, por exemplo, são produzidos índices com frequência e precisão cada vez maiores, para o monitoramento do desmatamento da floresta Amazônica, sem uma preocupação explícita com as matrizes produtivas que estão por trás dos índices, as forças motrizes do desmatamento. Desta maneira, acumulam-se séries e mais séries de índices de desmatamento, no afã de produzir índices com maior precisão, e se assegurar da informação. Contudo, como não se procura relacionar essas taxas com uma teoria explicativa do desmatamento, a leitura desses índices admite interpretações díspares e afirmação de pontos de vista contraditórios, em consonância com o interesse dos grupos que as patrocinam.

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 quantificação e localização 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 e a sociedade em geral, enfraquecendo o potencial das imagens de sensoriamento remoto e diminuindo o alcance das teorias sociais, para a maior compreensão das dinâmicas de mudança no uso da terra e a indicação de caminhos para o desenvolvimento sustentável. .

Procurando desbloquear o diálogo entre as ciências sociais e as ciência da terra, no início dos anos 1990 o Programa Internacional da Geosfera-Biosfera convidou o Conselho

Internacional de Ciências Sociais para se engajar na pesquisa de mudanças globais. O Comitê de Dimensões Humanas da Mudança Global foi criado no Conselho Nacional de Pesquisa para tratar desse assunto, através do qual foi publicado em 1992 o livro *Global Environmental Change: Understanding the Human Dimensions*, o qual recomenda enfaticamente incorporar as ciências sociais nos estudos sobre as mudanças globais (NRC, 1992).

A partir das recomendações deste livro, muitas agências se interessaram pelo assunto e começaram a patrocinar pesquisas de dimensões humanas, destacando-se a NASA através do Programa Land Cover and Land Use Change (LCLUC), a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) através do programa Dimensões Humanas da Mudança Climática, o programa GIS and Population dentro do Population and Social Sciences Study Group, e dois centros de excelência em dimensões humanas de mudança global nas Universidades de Indiana e Carnegie Mellon. (MORAN, 2018).

Interessada em verificar o estado da arte das pesquisas pioneiras, a NASA encomendou ao Conselho Nacional de Pesquisa dos EUA a realização de uma oficina com os cientistas sociais e de sensoriamento remoto. A oficina foi organizada em 1996 pelo Comitê de Dimensionamento Humano das Mudanças Globais, para discutir as experiências das ciências sociais com o sensoriamento remoto, visando identificar maneiras de fazer mais úteis os dados de detecção remota para as ciências sociais e estimular as pesquisas sobre as relações entre humanos e meio ambiente. Desta oficina originou-se o livro “People and Pixels - Linking Remote Sensing and Social Science” (NRC, 1998), considerado um marco nas pesquisas sobre as relações entre humanos e meio ambiente.

Entre os trabalhos apresentados nesta publicação que se relacionam com o interesse desta tese, destacam-se o estudo de Rindfuss e Stern (1998) sobre os desafios metodológicos para ligar sensoriamento remoto com ciências sociais; a pesquisa de Geoghegan et. al. (1998) sugerindo "socializar o pixel" e "pixelizar o social" para utilizar as imagens de sensoriamento remoto nas ciências sociais; a investigação de Wood e Skole (1998) analisando se a junção de dados de satélite com censo pode produzir resultados robustos, para construir um modelo regional dos determinantes do desmatamento na Amazônia; e o estudo de Moran e Brondizio (1998) sobre a dinâmica de mudança de uso e cobertura da terra após o desmatamento, e os fatores que podem explicar as taxas diferenciais de sucessão secundária.

Passados mais de vinte anos da publicação de “People and Pixels”, novas oportunidades de pesquisa surgiram graças à crescente variedade de fontes de dados remotos, uma crescente gama de dados georreferenciados das ciências sociais, incluindo dados de

dispositivos móveis, e o acesso a poderosas infraestruturas cibernéticas de computação, além do acesso livre à uma imensa variedade imagens de média e alta resolução.

Entre as ferramentas hoje disponíveis gratuitamente para pesquisas de ciências sociais com dados remotos, a NASA instalou um Centro de Dados e Aplicações Socioeconômicos para servir como uma “ponte” entre as Ciência da Terra e as ciências sociais, e desenvolveu os aplicativos *App EEARS* (Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples) e *GIOVANNI* (Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center. O *App EEARS* fornece dados geoespaciais com arquivos de dados internacionais, usando parâmetros espaciais, temporais e de banda/camada. O *GIOVANNI* permite visualizar, analisar e acessar informações remotas, particularmente de satélites, sem ter que baixar os dados (ADAMO e SHERBININ, 2018).

A Google disponibilizou gratuitamente na rede mundial de computadores os aplicativos Google Earth, que permite navegar para qualquer lugar da Terra para visualizar imagens de satélite, mapas, terrenos, edifícios em 3D, até galáxias no espaço sideral e cânions do oceano; e o Google Earth Engine, uma plataforma para análise científica de dados geoespaciais em escala de petabyte, que armazena imagens de satélite, as organiza e as disponibiliza pela primeira vez para mineração de dados em escala global.

Também foram disponibilizados uma série de softwares livres como o Quantum Gis que tem como objetivo promover geoprocessamento em uma interface amigável; o ArcGIS Living Atlas of the World com uma coleção de informações geográficas e mapas de todo o mundo; o Worldview permite que os usuários naveguem interativamente por imagens de satélite globais poucas horas após sua aquisição. Além disso, foram disponibilizados uma imensa diversidade de imagens de sensoriamento, com definição espacial e temporal cada vez maior, e financiamento farto para as pesquisas

Com todos esses incentivos, a produção de pesquisas científicas que combinam sensoriamento remoto com ciências sociais avançou muito nos últimos vinte anos, registrando-se no período centenas de publicações na área (KUGLER, GRACE, *et al.*, 2019). Entre as publicações de interesse para os objetivos desta tese, destacam-se os trabalhos do INPE, tais como o artigo de Câmara et al. (2001) que discute o status ontológico das imagens de sensoriamento remoto em uma perspectiva GIScience, indicando caminhos para o desenvolvimento de uma nova geração de sistemas de informação espacial integrados com outras ontologias; e o estudo de Monteiro et al. (2016) que reaproveita os conceitos já existentes de trajetórias aplicados a objetos móveis, para caracterizar trajetórias no contexto de mudança de cobertura da terra.

Considerando as pesquisas aplicadas do INPE que dialogam com esta tese, podemos destacar o estudo de Alves et al. (2010) que explora as relações entre dinâmica demográfica e estrutura econômica utilizando dados dos censos demográfico e agropecuário do IBGE, para compreender as mudanças no uso da terra na BR-163; a pesquisa de Amaral et al. (2012) que realiza o mapeamento demográfico combinando dados censitários com o mapa "dasimétrico" em estudos de caso na Amazônia brasileira; a investigação de Araujo et al. (2018) que discute as formas de ocupação da pecuária no Mato Grosso a partir tamanho das propriedades nos mapas fundiário do SIGEF e de arrecadação de terras do INCRA, do mapa de uso da terra com pastagens nativas e plantadas, dos modelos de gestão (cria, recria e engorda), da lotação pastagens e do fluxo do gado.

Contudo, apesar da profusão das publicações que procuram articular os dados remotos com as ciências sociais, são escassas as pesquisas que integram o sensoriamento remoto com as estratégias de desenvolvimento em uma perspectiva econômica com densidade teórica e instrumental, para responder às questões do desmatamento e das mudanças no uso da terra. Desta maneira, sem um modelo econômico para explicar o comportamento dos atores sobre o uso dos recursos naturais, fica difícil explicar as relações causais do desmatamento e das mudanças no uso da terra.

Uma primeira atitude para ultrapassar essas limitações seria uma abordagem multidisciplinar, integrando áreas de conhecimento diversas com sensoriamento remoto e uma teoria econômica consistente, para compreender o problema de maneira global. Como, pela própria natureza, os estudos sobre mudanças no uso da terra envolvem muitas disciplinas, existe muita informação esperando para ser integrada, a exemplo das análises na perspectiva da geografia (BECKER, 2009; SANTOS, 1985), da sociologia (GUEDES, QUEIROZ, *et al.*, 2011; OSTROM, 1990; PERZ e SKOLE, 2003), da economia (COSTA, 2009b; 2014; 2017; VANWEY, D'ANTONA, *et al.*, 2004; WALKER e HOMMA, 1996) e do sensoriamento remoto (JENSEN, 2009; WARNER, NELLIS e FOODY, 2009).

Esta abordagem responde à necessidade de conhecer o espectro das informações que podem ser acessadas nas aplicações hoje em uso e experimentação, no sensoriamento remoto e nas ciências sociais. Entretanto, 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 (PIAGET, 1972).

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

Nessa perspectiva, a tese aqui apresentada tem um forte enfoque metodológico, guiado pela hipótese de que é possível integrar imagens de sensoriamento remoto com vetores sociais de maneira orgânica, abrindo espaço para o benefício mútuo na interpretação dos diferentes tipos de informação. Como resultado desta dupla interação, torna-se possível aprofundar as 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.

Assim, a tese aqui apresentada 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 de uso da terra na Amazônia.

Devemos sublinhar, entretanto, que valorizar a abordagem dedutiva não significa subjugar a perspectiva indutiva, mas sim integrar duas metodologias que são utilizadas nos estudos sobre o uso da terra, e podem ser identificadas com dois caminhos, o primeiro indo "do padrão para o processo", mais utilizado no sensoriamento remoto, e o segundo indo "do processo para o padrão", mais utilizado nos estudos sociais. Em termos gerais, a distinção entre a investigação baseada em padrões e a investigação baseada em processos coincide com a distinção entre as metodologias indutiva e dedutiva. A abordagem baseada em padrões induz os mecanismos de indução a partir de dados observados no uso da terra. A abordagem baseada em processo prevê hipóteses de causalidade e, em seguida, pode testar essas previsões.

O trabalho começa com uma abordagem espacial baseada em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), procurando classificar em imagens de sensoriamento remoto padrões de

pixels que retratam os usos da terra e cobertura do solo, para buscar os processos responsáveis pelos padrões. Entre os diversos tipos de imagens de sensoriamento remoto, decidiu-se trabalhar com imagens de satélite LANDSAT: - Land Remote Sensing Satellite, pela facilidade de acesso e cobertura temporal. Como as imagens de satélite não revelam, por si só, as relações sociais de produção que produzem o espaço geográfico, faz-se necessário lançar mão das ciências sociais para identificar os processos que estão por traz dos padrões de pixels.

Esta segunda etapa metodológica é realizada com uma análise dos atores nos sistemas de produção em se encontram imersos, utilizando vetores da malha fundiária para situar os diferentes estratos de área dos estabelecimentos rurais na imagem classificada, e estatísticas agropecuárias para compreenderas estruturas de produção, e as trajetórias tecnológicas que explicam as dinâmicas de ocupação e uso da terra.

O terceiro passo é o cruzamento dos vetores espaciais com informações econômicas que permitem produzir inferências estatísticas para reclassificar as imagens de satélite, obtendo um maior detalhamento com novas classes de agrupamentos de pixels a partir dos dados sociais e econômicos. Tal procedimento possibilita a espacialização dos dados sociais e econômicos na escala de tempo das imagens de satélite, localizando e datando os processos econômicos que estão por traz das decisões dos agentes no que se refere ao desmatamento e às mudanças no uso do solo.

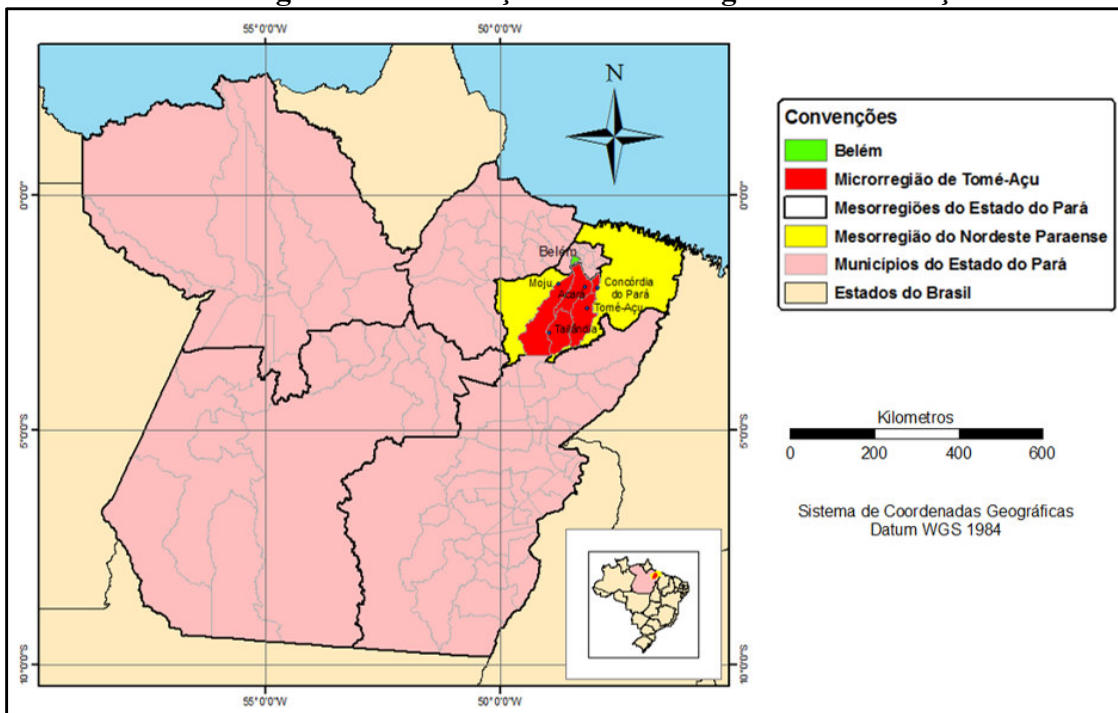
O resultado final atende aos conselhos de Geoghegan et al. (1998), de "socializar o pixel" e "pixelizar o social" em estudos que integram os métodos baseados em padrões e processos, sugerindo a necessidade de incorporar elementos do sensoriamento remoto nos estudos sociais e dados sociais nos estudos das ciências da terra. Desta maneira, "socializar o pixel" significa visualizar o pixel para além das dimensões biofísicas, procurando identificar as causas econômicas e sociais para explicar as mudanças no uso da terra. "Pixelizar o social" significa trazer de baixo para cima a abordagem de sensoriamento remoto, integrando os dados econômicos com a classificação dos tipos de vegetação nas imagens de sensoriamento remoto, para testar a teoria social de uma forma espacialmente explícita.

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.

2. O CONTEXTO DA MICRORREGIÃO DE TOMÉ-AÇU

Situada na mesorregião do Nordeste Paraense de acordo com a Divisão Regional do Brasil estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1990), microrregião de Tomé-Açu compreende os municípios de Acará, Concórdia do Pará, Moju, Tailândia e Tomé-Açu, totalizando uma área de 23.704 km² (figura 1).

Figura 1. Localização da Microrregião de Tomé-Açu



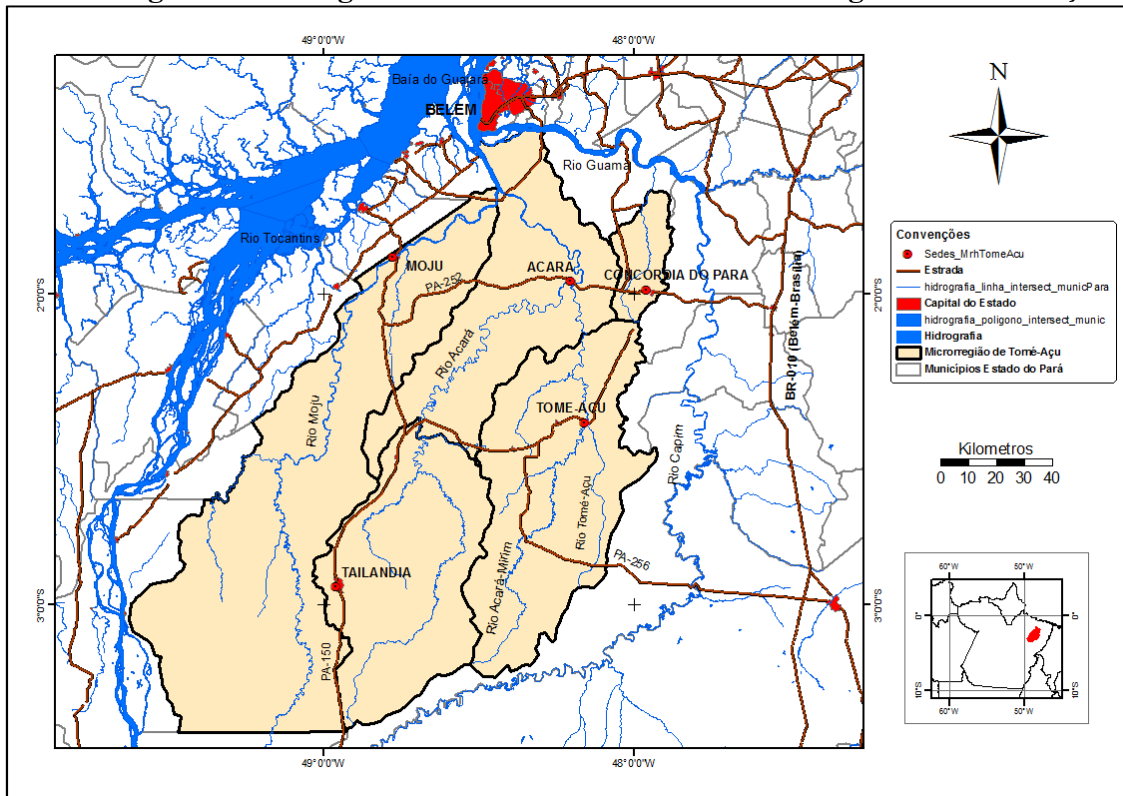
Fonte: IBGE (elaboração do autor).

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).

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 (figura 2).

Figura 2. Hidrografia e Estrutura viária da Microrregião de Tomé-Açu



Fonte: IBGE (elaboração do autor).

No último Censo Demográfico, em de 2010 a microrregião de Tomé-Açu possuía uma população de 287.618 habitantes e uma densidade demográfica de 12,1 habitantes/km², com metade das pessoas vivendo na zona rural (IBGE, 2012a). Esta concentração de pessoas é muito expressiva para os padrões da Região Norte, que apresentava na época uma densidade demográfica de 4,1 habitantes/km². No mesmo ano, a microrregião de Tomé-Açu gerou um Produto Interno Bruto de R\$ 1,7 bilhões, e uma renda per capita de R\$ 6.029,78 por habitante, muito baixa se comparada com a renda per capita da Região Norte que é de R\$13.053,94 por habitante, e do Brasil que é de R\$20.370,79 por habitante (tabela 1).

A baixa de Desenvolvimento Humano (IDH) da microrregião de Tomé-Açu. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, todos os municípios da microrregião de Tomé-Açu apresentam em 2010 um IDH classificado como baixo, Tailândia com um índice de 0,588, Tomé-Açu com 0,586, Concórdia do Pará com 0,566, Moju com 0,547 e Acará com 0,506. Tal situação coloca os municípios da microrregião entre os últimos lugares

no ranking do IDH no Brasil, com o município de Tailândia ocupando o 4444º lugar e município de Acará o 5510º lugar, concorrendo com um total de 5565 municípios brasileiros (PNUD, 2013).

Tabela 1. Área, demografia e renda per capita da Microrregião de Tomé-Açu (2010)

Regiões e municípios	Área (Km ²)	População (habitantes)	Densidade (hab./km ²)	Taxa de Urbanização	PIB (Milhões de Reais)	PIB per Capita (Reais)
Brasil	8.515.767	190.755.799	22,4	84,4%	3.885.847,00	20.370,79
Região Norte	3.853.677	15.864.454	4,1	73,5%	207.093,65	13.053,94
Estado do Pará	1.247.955	7.581.051	6,1	68,5%	82.684,52	10.906,74
Mesorregião Nordeste Paraense	83.316	1.789.387	21,5	48,8%	8.916,64	4.983,07
Microrregião de Tomé-Açu	23.704	287.618	12,1	49,8%	1.734,27	6.029,78
Município de Acará	4.344	53.569	12,3	23,6%	440,77	8.228,02
Municíp. Concórdia do Pará	691	28.216	40,8	53,5%	136,69	4.844,24
Município de Moju	9.094	70.018	7,7	35,9%	398,71	5.694,34
Município de Tailândia	4.430	79.297	17,9	74,0%	422,20	5.324,30
Município de Tomé-Açu	5.145	56.518	11,0	55,8%	335,91	5.943,47

Fonte: IBGE (2012a).

Para compreender esta situação, deve-se analisar a história de ocupação da mesorregião onde se situa a microrregião de Tomé-Açu, a estrutura produtiva da mesorregião na configuração da economia regional, as contribuições da agropecuária e as mudanças que vêm ocorrendo no uso da terra nas últimas décadas. Vejamos então a evolução da estrutura produtiva da mesorregião, analisando as contribuições da agropecuária, da indústria e dos serviços de 1999 a 2010, ao PIB das diversas microrregiões do Nordeste Paraense (tabela 2).

Em 1999, o valor real corrigido pelo Índice Geral de Preços da Fundação Getúlio Vargas com base no ano 2010, adicionado ao PIB da mesorregião do Nordeste Paraense pela agropecuária, indústria e serviços somava R\$4,64 bilhões, com o setor de serviços responsável por mais da metade deste valor. Em 2005, o valor corrigido dos setores produtivos adicionado ao PIB da mesorregião era de R\$ 3,92 bilhões, indicando um decréscimo de 15% em função da diminuição na metade do valor real da contribuição do setor de serviços. Desta maneira, entre os anos 1999 e 2005 a decadência do PIB na mesorregião do Nordeste Paraense só não foi maior, graças ao notável aumento da contribuição do setor agrícola em valores reais, notadamente na microrregião de Tomé-Açu.

Tabela 2. Evolução das contribuições dos setores produtivos ao PIB das microrregiões da mesorregião do Nordeste Paraense (1999, 2005, 2010)

Setores produtivos e microrregiões	Preços reais ajustados (R\$1.000,00) *			
	1.999	2.005	2.010	Evolução PIB (%)
AGROPECUÁRIA	1.123.913	1.769.372	2.408.077	114,3%
Bragantina	161.188	234.427	344.001	113,4%
Cametá	290.105	400.673	606.940	109,2%
Guamá	332.148	519.671	747.739	125,1%
Salgado	126.155	174.872	194.036	53,8%
Tomé-Açu	214.318	439.729	515.361	140,5%
INDÚSTRIA	581.665	683.691	885.837	52,3%
Bragantina	176.220	157.672	241.675	37,1%
Cametá	73.085	81.969	78.248	7,1%
Guamá	105.478	157.365	280.464	165,9%
Salgado	52.945	68.616	43.218	-18,4%
Tomé-Açu	173.938	218.068	242.232	39,3%
SERVIÇOS	2.940.630	1.475.677	1.987.070	-32,4%
Bragantina	746.080	386.968	593.295	-20,5%
Cametá	671.268	305.348	400.373	-40,4%
Guamá	619.790	302.067	411.679	-33,6%
Salgado	452.748	192.532	252.919	-44,1%
Tomé-Açu	450.745	288.763	328.804	-27,1%
TOTAL	4.646.208	3.928.740	5.280.984	13,7%

Fonte: IBGE (2017). Preços reais ajustados pelo IGP-FGV ano base 2010 (FGV, 2010).

Em 2010, o valor adicionado ao PIB dos setores produtivos na mesorregião do Nordeste Paraense somava R\$5,28 bilhões, com a agropecuária mantendo a posição de liderança nas contribuições, seguida pelos setores de serviços e indústria. Comparando os valores reais corrigidos pelo Índice Geral de Preços da Fundação Getúlio Vargas (IGP-FGV), verifica-se a importância das contribuições da agropecuária na elevação do PIB regional, compensando o decréscimo de 32,4% nas contribuições do setor de serviços no período de 1999 para 2010. Confirmando a posição de destaque, a microrregião de Tomé-Açu se destaca no período, com um crescimento de 140% nas contribuições da agropecuária para o PIB mesorregional.

A despeito do notável desempenho econômico da agropecuária, como vimos todos os municípios microrregião de Tomé-Açu apresentam um baixo IDH em 2010. A situação é intrigante, quando se verifica que Tomé-Açu tem um histórico de desenvolvimento agrícola diferenciado na Amazônia, em função da colonização pela imigração japonesa a partir de 1929, do boom da pimenta-do-reino na década de 1960 que levou o estado do Pará à posição de primeiro exportador mundial do produto, da criação de sistemas agroflorestais com a

valorização de frutas amazônicas no mercado em resposta a queda nos preços da pimenta na década de 1970, e do crescimento da agroindústria do dendê a partir da década de 1980, que tornou a região responsável por 92% da produção nacional.

2.1. Da Pimenta-do-reino aos Sistemas Agroflorestais

Os japoneses começaram a trabalhar na área que mais tarde viria a se tornar o município de Tomé-Açu a partir 1929, depois que o governo do estado do Pará disponibilizou 600.000 hectares de terras no município de Acará, para a empresa de migração japonesa *Nabey Takushoku Kabushiki Kaisha*, que ficaria conhecida como Companhia Nipônica de Plantação do Brasil.

Inicialmente, os migrantes plantaram arroz e cacau, mas tiveram dificuldade para se estabelecer somente com esses plantios. Para melhorar a situação, eles recorreram ao sistema de cooperativismo que já conheciam em sua terra natal, e diversificaram suas atividades com plantio de hortaliças. Para isso, em 1931 os japoneses fundaram a *Cooperativa de Hortaliças* e montaram um entreposto para vender verduras em Belém, mas não tiveram sucesso pela falta de hábito da população local com este tipo de alimentação. Mesmo com as dificuldades, eles continuaram experimentando diferentes culturas, como cereais, frutas locais, pimenta-do-reino, e outras, conseguindo estabilizar a cooperativa que passou a se chamar Cooperativa Agrícola do Acará (LEANDRO e TAFNER JUNIOR, 2008).

Mas, a dificuldade maior veio com a Segunda Guerra Mundial, quando os e japoneses foram declarados inimigos do Brasil. Em consequência os bens dos japoneses em Tomé-Açu foram confiscados e a Cooperativa do Acará transformada em Colônia Estadual, onde os colonos ficaram confinados com os meios de produção transporte controlados pelo governo. Ao final da guerra a colônia japonesa estava totalmente desorganizada, mas os japoneses fundaram a União dos Lavradores, que se encarregava de todas as etapas da produção até o consumidor. Reestabelecendo a autonomia da produção e aumentando o número de associados, a União dos Lavradores passou a se chamar CAMTA – Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (LEANDRO e TAFNER JUNIOR, 2008).

Contudo, se a Segunda Guerra Mundial causou tantos prejuízos para os japoneses em Tomé-Açu, também foi a razão da prosperidade que veio depois. Com a destruição das plantações da pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) pelas tropas de ocupação japonesa na Malásia e Indonésia, a produção mundial caiu de 93 mil toneladas para 43 mil toneladas entre os anos 1939 e 1952, levando um aumento de até 3600% no preço do mercado internacional. Isto

provocou um verdadeiro boom da pimenta-do-reino em Tomé-Açu e no Pará de 1952 até meados da década de 1980, quando a CAMTA conhece o seu período de ouro com o chamado “diamante negro” da Amazônia (HOMMA, 2016, p. 145-146).

A ascensão e queda da pimenta-do-reino no mercado internacional, seus impactos na economia agrária regional, e a reação dos agricultores japoneses associados à CAMTA é relatada nos próximos parágrafos, tendo por base principal as informações e dados da extensa pesquisa de Homma (2016) sobre a imigração japonesa na Amazônia além de outras publicações.

Somente entre os colonos de Tomé-Açu, o número de pimenteiras plantadas aumentou de 1 milhão de pés em 1960, para 2 milhões em 1965 e 3 milhões em 1974. Em consequência, a produção de pimenta-do-reino aumentou de 21 toneladas em 1947 para 2,3 mil toneladas em 1960. A notável expansão dos plantios levou o Brasil à posição de primeiro produtor e exportador mundial de pimenta-do-reino em 1982, desbancando tradicionais países produtores desta cultura.

A pimenta-do-reino trouxe grande prosperidade para os japoneses em Tomé-Açu, e para todos que se dedicaram ao plantio da cultura no estado do Pará, nos anos de ouro do chamado “diamante negro”. Como sinal de opulência construiu-se um aeroporto na cidade de Tomé-Açu, inaugurado em 15/11/1954 pelo governador do estado, o general Alexandre Zacarias de Assunção, no qual os principais clientes foram os japoneses plantadores de pimenta-do-reino. Como símbolo de ostentação, os mais ricos possuíam automóveis de luxo estacionados nas suas boas casas de alvenaria, ou percorrendo as estradas rurais entre os plantios de pimenta.

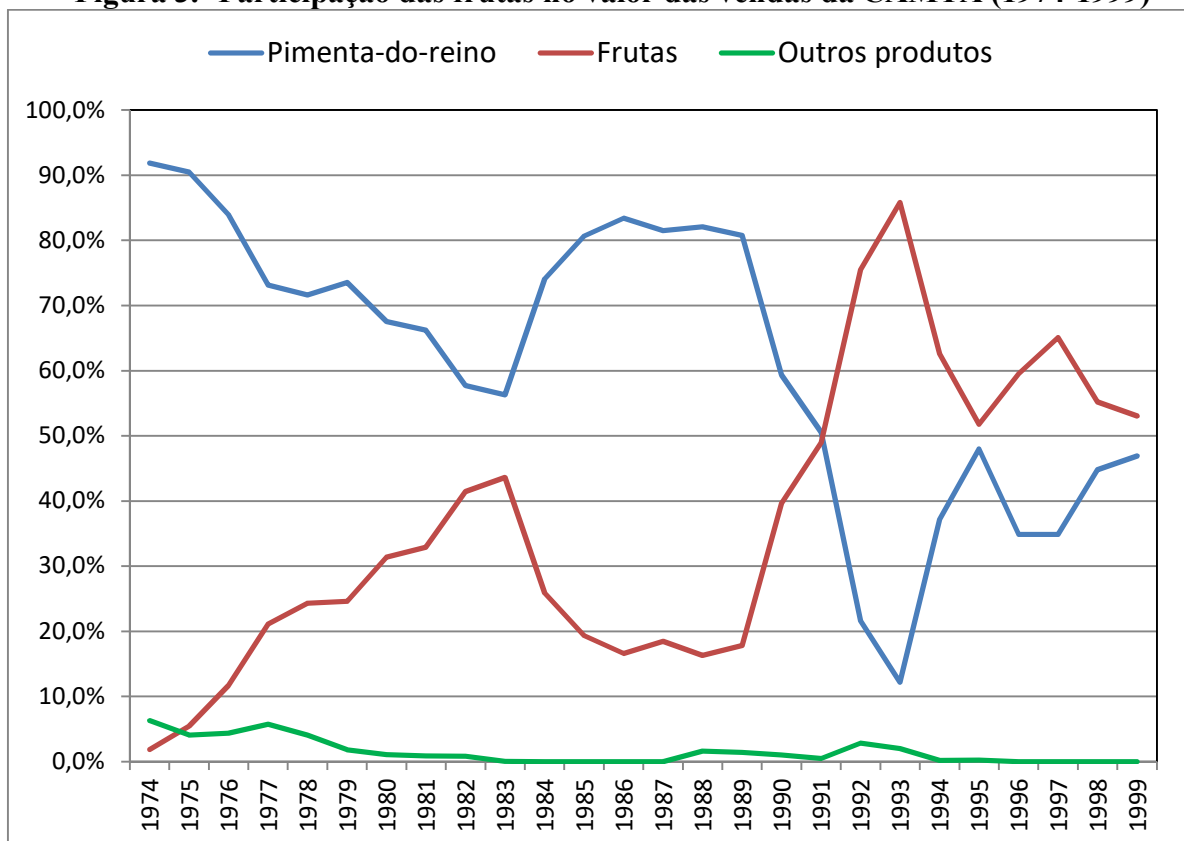
A prosperidade durou até meados da década de 1980, quando a doença causada pelo fungo *Fusarium solani* – a fusariose – levou a perdas drásticas nas plantações de pimenta. Por outro lado, com o reestabelecimento dos plantios na Malásia e Indonésia, o preço da pimenta voltou a um patamar de equilíbrio na década de 1970, diminuindo as vantagens comparativas da produção no Pará. Como alternativa, os produtores da CAMTA passaram a aproveitar as áreas de pimenta-do-reino combinando culturas de ciclo curto – como acerola, mamão, maracujá, melão – com culturas de ciclo longo – como açaí, cacau, cupuaçu, dendê, coco e outras. A ideia básica era aproveitar o espaço das culturas de ciclo longo enquanto elas cresciam, custeando a manutenção dos plantios e produzindo renda com as espécies de ciclo rápido.

As experiências de consórcios com diversas combinações de culturas nativas e exóticas deram origem a inúmeros sistemas agroflorestais (SAFs). Alguns SAFs não se mostraram

viáveis, como os que utilizavam plantas arbóreas para o sombreamento do cacau sem finalidade econômica. Já os consórcios de espécies frutíferas locais, como açaí, cupuaçu, acerola, maracujá, taperebá, e exóticas, como o mangostão e o rambotã, mostraram-se promissores (HOMMA, 2016, p. 202), alçando a CAMTA a uma posição de pioneira na valorização de polpas de frutas, geleias, doces e sorvetes com sabores da Amazônia.

A fábrica de beneficiamento de polpa de frutas da CAMTA entrou em operação em 1991, quando as frutas passaram a ter um papel de destaque na cooperativa, ultrapassando o faturamento da pimenta-do-reino na década de 1990 (figura 3). Inicialmente, as frutas que se destacaram economicamente no processo de beneficiamento foram o maracujá, contribuindo com 49% do faturamento da cooperativa em 1993, a acerola, contribuindo com 26% em 1994, e o cupuaçu, contribuindo com 22% em 1995. Posteriormente, foram incluídas no processamento industrial outras frutas, como o açaí, a graviola, a goiaba, o taperebá, o bacuri, o muruci, o abacaxi, o cacau, o mamão, e outras.

Figura 3. Participação das frutas no valor das vendas da CAMTA (1974-1999)



Fonte: Homma, 2016, p. 195-198 (elaboração do autor).

Assim, a CAMTA chega ao ano de 2000 com um faturamento de R\$5,00 milhões, com as polpas de frutas respondendo por 53% das vendas, destacando-se a produção de 1.150 ton. de polpa de cupuaçu e 850 ton. de outras frutas (acerola, cupuaçu, açaí, graviola, maracujá, goiaba, abacaxi, carambola, caju, muruci e taperebá). De 30 a 40% desta produção é vendida para grandes clientes, como a Kibon Sorvane, Jandaia e Maisa – Mossoró Agroindustrial S.A (HOMMA, 2001, p. 54, apud NINNI, 2000 e PEREIRA FILHO, 2001).

O sucesso da colônia japonesa em Tomé-Açu se deve em parte à elevação do preço da pimenta-do-reino no mercado internacional depois da segunda Guerra Mundial. Contudo, se não fosse a elevada experiência dos agricultores japoneses, e o espírito associativista que estimulou o processo de organização da produção até chegar a CAMTA, não teria sido possível aproveitar a oportunidade de mercado com o volume e a qualidade exigidos. Por outro lado, se não fosse a persistência em experimentar inúmeras culturas nativas e exóticas para a criação de SAFs, a cooperativa não teria conseguido manter sua trajetória de sucesso, com a queda dos preços da pimenta-do-reino no mercado internacional na década de 1970.

Desta maneira, com base na acumulação que se tornou possível com o aproveitamento da oportunidade de bom preço da pimenta-do-reino, e a estratégia de diversificação com culturas permanentes para a criação de SAFs, a Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu chega em 2007 com faturamento de R\$30,2 milhões, graças à entrada das frutas amazônicas no mercado internacional, e mais de 20 produtos de derivados de frutas contribuindo com 75% do faturamento, como podemos observar na tabela 3.

É notável a variedade de produtos vendidos pela CAMTA, refletindo a biodiversidade praticada nos estabelecimentos rurais dos produtores ligados à cooperativa. Segundo Homma (2016, p. 203), são estimadas cerca de 500 espécies de plantas e animais nas propriedades dos agricultores nipo-brasileiros. Entre as plantas, destacam-se as culturas anuais, como hortaliças, grãos, ornamentais, medicinais, etc., e as culturas perenes, como frutas, plantas industriais, e essências florestais entre outras. A sobrevivência agrônômica dos SAFs depende de fatores como a competição por luz, água e nutrientes; da ocupação do espaço aéreo, da compatibilidade entre as plantas e da sintonia quanto à época de plantio. Contudo, a sobrevivência econômica dos consórcios agroflorestais depende da viabilidade das espécies com valor de mercado. Assim, a coincidência da época de colheita ou de tratamentos culturais das plantas consorciadas, particularmente entre as que demandam muita mão de obra, faz com que os mais lucrativos sejam privilegiados.

Entre os consórcios mais lucrativos estudados pela CEPLAC – Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira em Tomé-Açu (MENDES, 2003) destacam-se os que combinam

cacau (*Theobroma cacao*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), pimenta-do-reino (*Piper nigrum*), açaí (*Euterpe oleracea*), maracujá (*Passiflora edulis*), acerola (*Malpighia emarginata*), mogno (*Swietenia macrophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*), e andiroba

Tabela 3. Vendas da CAMTA no mercado interno e externo em 2007

Produtos	Quantidade (Kg)	Valor (R\$)	%
<i>Vendas de Polpas de Frutas</i>	3.555.039	14.891.133,05	49,2%
Polpa Maracujá	163.422	582.185,66	1,9%
Polpa Acerola	429.170	1.050.442,38	3,5%
Geleia Cupuaçu	1.193	3.246,35	0,0%
Polpa Cupuaçu	364.139	1.312.415,59	4,3%
Polpa Açaí	1.637.632	8.413.657,54	27,8%
Geleia de Cupuaçu	1.342	3.811,90	0,0%
Polpa Mix Açaí	238	1.146,80	0,0%
Polpa Açaí Mix Guaraná	100.978	615.062,19	2,0%
Geleia de Goiaba	1.351	3.834,05	0,0%
Polpa Abacaxi	181.497	449.495,56	1,5%
Polpa Carambola	21.030	41.917,19	0,1%
Polpa Graviola	95.351	562.202,22	1,9%
Polpa Muruci	45.007	133.413,48	0,4%
Polpa Taperebá	159.226	650.446,48	2,1%
Polpa Caju	103.765	297.883,34	1,0%
Polpa Goiaba	245.531	757.410,99	2,5%
Caducam	716	930,8	0,0%
Polpa Cacau	2.060	7.812,03	0,0%
Geleia de Maracujá	1.261	3.442,50	0,0%
Outras	130	376	0,0%
<i>Exportações de Polpas de Frutas</i>	1.458.012	7.710.322,90	25,5%
Polpas de frutas p/ Austrália	21.906	59.538,26	0,2%
Polpas e frutas p/ Japão	592.658	3.302.725,06	10,9%
Polpas de frutas p/ USA	843.448	4.348.059,58	14,4%
<i>Vendas de Produtos Secos</i>	704.442	4.615.468,30	15,3%
Pimenta Branca	219.730	1.972.569,30	6,5%
Pimenta Preta	193.952	1.224.672,00	4,0%
Cacau	290.760	1.418.227,00	4,7%
<i>Exportação de Produtos Secos</i>	387.500	3.037.480,00	10,0%
Pimenta Branca p/ Alemanha	50.000	362.175,00	1,2%
Pimenta Preta p/ Alemanha	25.000	243.375,00	0,8%
Pimenta Preta p/ Japão	20.000	129.210,00	0,4%
Cacau p/ USA	15.000	76.590,00	0,3%
Pimenta Preta p/ USA	25.000	176.625,00	0,6%
Pimenta Preta p/ Argentina	73.000	433.755,00	1,4%
Pimenta Branca p/ Argentina	179.500	1.615.750,00	5,3%

Total Geral	6.104.993	30.254.404,25	100,0%
--------------------	------------------	----------------------	---------------

Fonte: relatório CAMTA 2007 (TAFNER JUNIOR e SILVA, 2011, p. 19-20).

(*Carapa guianensis*), além de cultivos exóticos como a baunilha (*Vanilla planifolia*), o mangostão (*Garcinia mangostana*), e o rambutan (*Nephelium lappaceum*).

É interessante notar que mesmo com o preço estabilizado e o ciclo de vida reduzido há seis anos no máximo (MENDES, 2009, p. 159), em função da fusariose que se estabeleceu como doença endêmica, a pimenta-do-reino mantém sua importância no portfólio de produtos que viabilizam os SAFs em Tomé-Açu, como demonstra o levantamento de preços pagos aos produtores, realizado pela CEPLAC em 2001 (tabela 4). Como sugere Mendes (2003, p. 18) “fatores relacionados à tradição com a cultura e altos rendimentos financeiros no curto prazo”, explicam a permanência da pimenta-do-reino nos SAFs em Tomé-Açu.

Tabela 4. Preços pagos aos produtores no município de Tomé-Açu em 2001

Produto	Unidade	Preço	Rendimento (kg/ha)
Pimenta-do-Reino	kg	R\$ 3,00	3.200 kg/ha/ano
Cacau	kg	R\$ 2,00	800 kg/ha/ano
Cupuaçu (fruto)	kg	R\$ 0,45	10 kg/pé
Cupuaçu (polpa)	kg	R\$ 3,00	600 kg/ano/ha
Castanha-do-brasil	kg	R\$ 0,30	40 kg/pé
Açaí (fruto)	lata	R\$ 2,50	200 latas/ha/ano
Limão	sc/60kg	R\$ 6,00	150.000 frutos/ha
Milho	sc/60kg	R\$ 14,00	1.268 kg/ha
Arroz (com casca)	sc/60kg	R\$ 15,00	1.418 kg/ha
Feijão da colônia	kg	R\$ 0,60	655 kg/ha
Maracujá (fruto)	1000 frutos	R\$ 140,00	72.000 frutos/ha
Andiroba	litro	R\$ 2,50	3 litros/pé
Mogno	m3	R\$ 200,00	75 m ³ /ha
Paricá	m3	R\$ 20,00	200 m ³ /ha

Fonte: Mendes (2003).

Pesquisas desenvolvidas pela EMBRAPA Amazônia Oriental identificaram 69 consórcios distintos de culturas perenes entre os agricultores de Tomé-Açu, destacando-se a pimenta do reino em 40% desses consórcios (RIBAS, 2005). Outra pesquisa, financiada pelo Banco da Amazônia com participação de técnicos da CAMTA, da EMBRAPA e da Universidade do Estado do Pará, identificou 174 sistemas agroflorestais onde a pimenta-do-reino é a cultura principal, 142 onde o cacau é a cultura principal e 88 onde o cupuaçu é a cultura principal (BARROS, HOMMA, *et al.*, 2009, p. 137-140).

Pesquisas de campo entre agricultores acompanhados pela CEPLAC nos municípios de Tomé-Açu e Acará apontam uma grande diversidade de SAFs, com mais de 40 espécies e dezenas de combinações diferentes. Entre as espécies utilizadas nos consórcios destacam-se o cacau, cupuaçu e a pimenta-do-reino como culturas principais. A tendência à diversificação de espécies nos consórcios agroflorestais se justifica pela possibilidade de produzir em diferentes épocas do ano, e comercializar produtos mensalmente. Nos estabelecimentos estudados pela CEPLAC, 36% dos produtores comercializam seus produtos todos os meses do ano, e 64% vendem seus produtos por 8 ou 9 meses no ano (MENDES, 2003, p. 9-7).

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 pelos diversos segmentos de agricultores.

Por sua vez, as culturas introduzidas pelos imigrantes não ficaram confinadas à colônia japonesa, mas foram rapidamente democratizadas entre os agricultores familiares brasileiros. A diversificação dos consórcios com espécies locais e exóticas estruturou novos mercados e tornou os Sistemas Agroflorestais (SAFs) imitados em toda Amazônia, gerando emprego e renda no período que se sucedeu ao declínio nos preços da pimenta-do-reino. E, no que diz respeito aos benefícios econômicos da influência japonesa, apesar da estabilização do preço exportação de pimenta-do-reino, em 2014 superou a casa dos 294 milhões de dólares, sendo 52% dessa produção proveniente de plantios inferiores a 2 hectares (HOMMA, 2016) .

2.2. O boom da agroindústria do Dendê

Na década de 1980 emerge no Nordeste Paraense uma nova tendência agrícola de grande importância, com um significativo crescimento da agroindústria do dendê (*Elaeis guineensis*) que torna o Pará responsável por 88% da produção do óleo de Palma no Brasil em 1997 (HOMMA, 2001). Esta tendência se reforça na década de 2000, com o Programa Nacional da Produção de Biodiesel e o Programa Federal de Produção Sustentável de Óleo de Palma, incentivando a produção do dendê com subsídios para grandes empresas e crédito para agricultores familiares. Esses programas governamentais e os investimentos privados nos levam a entender a agroindústria do dendê como um evento que reconfigura o uso da terra, e afirmar que estamos diante de um novo período da economia rural na região.

Como resultado de todos esses incentivos, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em 2016 a área plantada com dendê no estado do Pará alcança um total de 207.252 hectares, com pequenos e médios produtores responsáveis por 20% da área plantada (MAPA, 2018). Nesse contexto, conforme o Censo Agropecuário de 2017, o estado do Pará concentra 97% do total de dendê em coco produzida no Brasil, a mesorregião do Nordeste Paraense 96% e a microrregião de Tomé-Açu 73% (IBGE, 2019).

Deve-se esclarecer, entretanto, que esses resultados não foram produzidos exclusivamente pelos programas governamentais de apoio ao Biodiesel. As iniciativas de industrialização do dendê no Pará remontam a década de 1970, tendo como marco a instalação da primeira fábrica de beneficiamento de óleo de palma em 1976 pela empresa DENPASA – Dendê do Pará S/A. Em 1980, a DENPASA efetuou a primeira exportação paraense de óleo de palma para a Holanda (REBELLO, 2012, p. 225). No mesmo ano, o governo federal lançou o PROOLEO – Programa Nacional de Óleos Vegetais para Fins Energéticos, tendo por objetivo efetuar a mistura do dendê em motores de combustão. Infelizmente, o programa não foi em frente em razão da queda nos preços internacionais do petróleo (HOMMA, 2003, p. 172).

Antes disso, em 1964 o Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará (IDESP) elaborou um projeto lançando a ideia de realizar o plantio de 3.000 hectares de dendê e a implantação de uma usina de beneficiamento do óleo da palma. Um projeto semelhante veio a se consolidar em 1967, através da SPVEA – Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (atual SUDAM), em convênio com o IRHO – Institut de Recherches pour lês Huiles et Oléagineux da França, no qual foram cultivados 3.000 hectares, 1.500 ha no município de Benevides, (REBELLO, 2012, p. 225, apud PANDOLFO, 1981 e SANTOS et al., 1998) na área que viria a se tornar propriedade da DENPASA em 1974, e a outra metade por pequenos produtores em áreas próximas à sede do projeto.

Mas, uma maior escala do plantio de dendê no Pará só veio a ocorrer nas décadas de 1980 e 1990, com o surgimento de diversas empresas que fizeram importantes investimentos no Nordeste Paraense. Entre essas empresas, na microrregião de Tomé-Açu encontramos a REASA – Reflorestadora da Amazônia S/A – empresa paulista de cultivo de eucalipto; a DENPASA, que ampliou seus plantios para outros municípios; a Marborges Agroindustrial Ltda. Com sede em Belém; a Agromendes, de propriedade da empreiteira Mendes Junior; e a Companhia Real Agroindustrial S.A (CRAI), de propriedade do Banco Real, que deu origem a Agropalma, a maior empresa de óleo de palma da América Latina.

O projeto da REASA iniciou-se em 1980 no município de Moju, com o plantio de 3.000 hectares e uma usina para extração de óleo. Em 1990 este empreendimento foi adquirido pela Marborges, instalando-se em 1992 a usina com capacidade para processar 9 ton./hora de cachos de dendê. Em 1981, a DENPASA adquiriu de 27.500 hectares no município de Acará, para ampliar o plantio de dendê através da Companhia Agrícola do Acará (Coacará). Em novembro de mesmo ano o projeto da Mendes Júnior Agrícola do Pará S.A. (Agromendes) foi financiado pela SUDAM, para implantar 3.000 hectares de dendê e uma usina de beneficiamento no município de Acará. Mais tarde a Coacará e a Agromendes foram incorporadas pelo Grupo Agropalma (MÜLLER, JÚNIOR e FILHO, 2006, p. 13-14).

Em 1982, iniciou-se o projeto da Companhia Real Agro-Industrial (CRAI), de propriedade do Banco Real, para implantar 5.000 hectares de dendê e uma usina beneficiamento no Município de Acará. Desta empresa formou-se o Grupo Agropalma, hoje o maior produtor de óleo de palma da América Latina, que atua em todas as áreas do ciclo produtivo, da produção de mudas ao óleo refinado, gorduras vegetais e margarinas. Em 1984, a Companhia Universal Agro-Industrial S.A. teve o seu projeto financiado pela SUDAM, para o plantio de 2.040 hectares de dendê no Município de Moju. Em 1985, deu-se o início da plantação de dendezeiros da Companhia Agroindustrial do Pará (Agropar) no Município de Moju, pertencente ao Grupo Agropalma (MONTEIRO, 2017, p. 168-168).

Somando-se aos investimentos em outros municípios entre os anos 1985 e 1999, tais como da Dentauá em Santo Antonio do Tauá, da Agroindustrial Palmasa em Igarapé-Açu, e da Yossan em Santa Isabel e Bonito, em 2006 o estado do Pará se torna responsável por mais de 90 % da produção nacional de óleo de palma em 2006, com 55.066 hectares plantados de dendê (AGRIANUAL, 2006), 10 unidades de processamento com capacidade para processar 240 toneladas de cachos por hora, um terminal de exportação de óleo, três refinarias de óleo com capacidade para 330 toneladas por dia, uma fábrica de margarina e creme vegetal e uma unidade de produção de biodiesel com capacidade de produção de 200 mil litros mensais (MÜLLER, JÚNIOR e FILHO, 2006, p. 20).

Uma ampliação ainda maior na agroindústria do dendê viria a ocorrer na década de 2000 no Nordeste Paraense, impulsionada pelo Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) lançado em 2004, que tinha como objetivo introduzir o biodiesel na matriz energética brasileira. Para competir com o diesel do petróleo, o programa definiu um modelo tributário com um mecanismo para incentivar a participação da agricultura familiar no cultivo do dendê. Com este mecanismo, as empresas poderiam obter a redução parcial ou total de

tributos federais, se adquirirem dos agricultores familiares percentuais mínimos de matéria-prima, celebrando contratos e prestando assistência técnica aos agricultores (MAPA, 2011).

Para garantir mercado para o biodiesel, o governo instituiu em todo território nacional a obrigatoriedade da mistura do biodiesel com o diesel do petróleo. O uso de biodiesel adicionado ao combustível fóssil no país teve início com a lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005, com a mistura facultativa de 2%. A partir de 2008, ela passou a ser compulsória e o percentual foi evoluindo até alcançar 10% em 2018, prevendo-se atingir 15% em 2023 (MAPA, 2019).

No estado do Pará este programa teve um incentivo ainda maior para a expansão da agroindústria do dendê, com o lançamento do Programa Federal de Produção Sustentável de Óleo de Palma (PSOP) em 2010, cujo objetivo era financiar com crédito subsidiado grandes empresas e agricultores familiares. Para divulgar este programa no estado do Pará o presidente Lula visitou Tomé-Açu em 6 de maio de 2010, proferindo em discurso que estavam sendo financiados 900 agricultores familiares para o plantio de dendê, mas a meta era alcançar 13 mil agricultores até 2014 (SECOM-PA, 2010).

Considerando que o biodiesel se justifica ambientalmente com o argumento de substituição do combustível fóssil, junto ao PNPB foi lançado um conjunto de ações para disciplinar a expansão do cultivo de óleo de dendê no território brasileiro, que inclui medidas de contenção da expansão desordenada do dendê por meio de um zoneamento agroecológico e controle por satélite sobre o plantio, incluindo a determinação de só permitir o plantio de dendê em áreas desmatadas legalmente após 2008.

O “Zoneamento Agroecológico do Dendzeiro para as Áreas Desmatadas da Amazônia Legal” (ZAE-Dendê) foi realizado pela EMBRAPA por encomenda do governo federal e financiado pelo MCT-FINEP, tendo por objetivo a criação de mecanismos de orientação à implementação da cadeia de produção de óleo de dendê. A orientação foi direcionada particularmente para a Amazônia Legal, pretendendo constituir a “base técnico-científica para se buscar a sustentabilidade em bases social, econômica e ambiental, pela indicação das terras mais adequadas à produção agrícola da cultura do dendzeiro” (EMBRAPA, 2010, p. 6).

Como resultado dos levantamentos do ZAE-Dendê, a EMBRAPA identificou uma área 58,5 milhões de hectares de terras aptas para o cultivo do dendê nos dez estados do Amazônia Legal. Para metade dessas terras é indicado o emprego de um alto nível tecnológico; caracterizando-se pela aplicação intensiva de capital e de tecnologias para manejo, com a motomecanização presente nas diversas fases da operação agrícola. O Pará se destaca no

ZAE-Dendê com o estado com a maior área apta ao plantio de dendê, totalizando 12, 8 milhões de hectares, seguido pelos estados de Rondônia com 5,5 milhões de hectares, e do Amazonas com 2,4 milhões de hectares (EMBRAPA, 2010, p. 39).

Nas conclusões do ZAE-Dendê, destaca-se que a dendeicultura na Amazônia enseja relevantes impactos ambientais e socioeconômicos para a região. Do ponto de vista ambiental, segundo a EMBRAPA, o dendê tem potencial para gerar renda com produção ecologicamente limpa; protege o solo contra a erosão e previne a degradação das terras; oferece alta taxa de sequestro de Carbono e é uma opção de recuperação de áreas em avançado grau de esgotamento. Do ponto de vista socioeconômico, a cultura do dendê facilita a fixação da mão de obra hoje itinerante, e fornece ao produtor uma alternativa econômica sustentável, facilitando o acesso ao crédito agrícola e reais perspectivas para a agricultura em grande e pequena escala (EMBRAPA, 2010, p. 42).

Com todos os incentivos e bons conselhos, a área plantada com dendê no Pará ampliou-se em 2016 para de 207.252 hectares, representando 88% da área plantada a nível nacional, de acordo com o Diagnóstico da Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil realizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. No mesmo ano, como reflexo dos mecanismos de inclusão da agricultura familiar, segundo os dados da Associação Brasileira de Produtores de Óleo de Palma (ABRAPALMA), mais de 1.500 famílias de agricultores cultivam dendê no estado do Pará, contribuindo com pequenos e médios produtores em cerca de 20% da área plantada (MAPA, 2018).

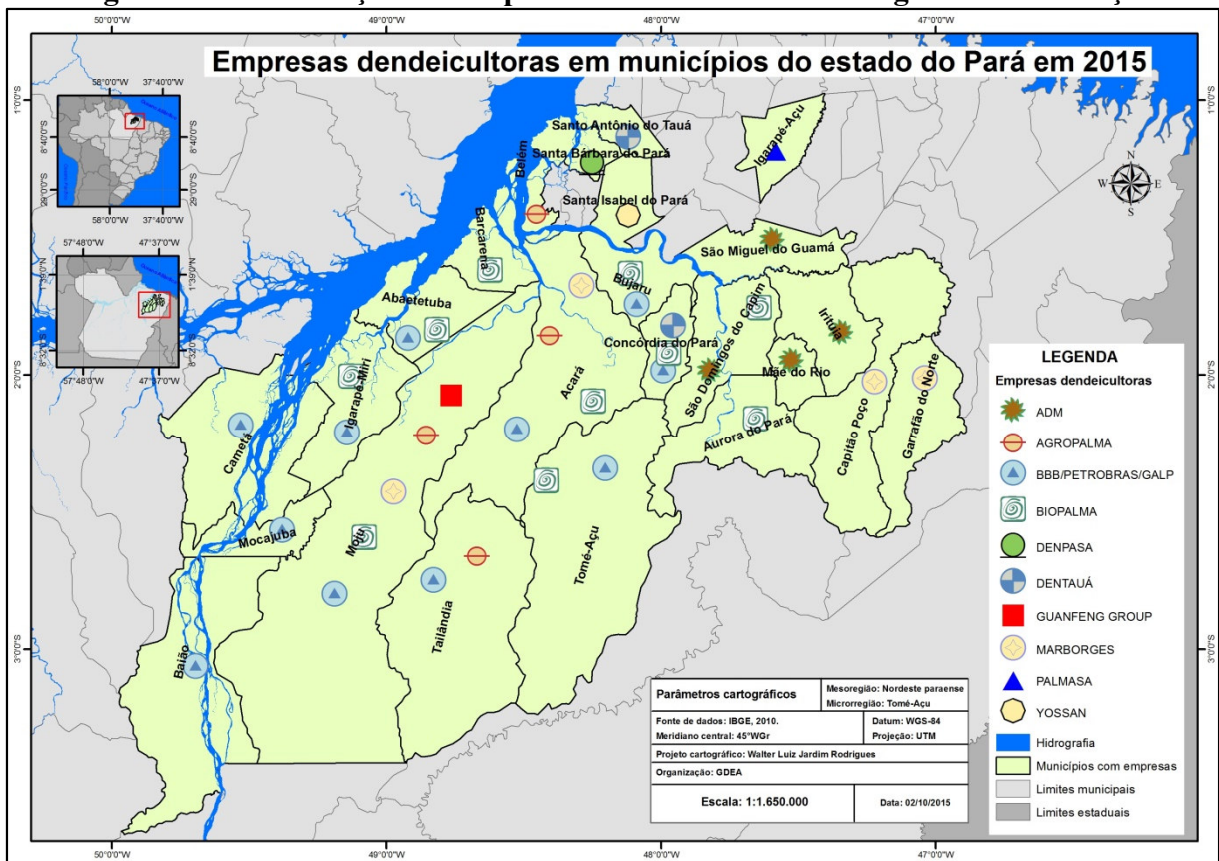
Os agricultores familiares envolvidos na produção de dendê beneficiaram-se com o Programa da Palma de Óleo, através de financiamento do Pronaf Eco – Dendê, com valores que ultrapassam 100 milhões de reais no Banco da Amazônia. Além disso, o programa do Biodiesel atraiu varias empresas grande porte ao Pará, destacando-se entre elas a Vale do Rio Doce, a Petrobrás, a petrolífera portuguesa GALP Energia, e outras que se estabelecem na região (MAPA, 2018), projetando para 2019 uma área plantada com dendê de 316.000 hectares (NAHUM e MALCHER, 2012, p. 6-7).

Atualmente, o mercado do dendê encontra-se dividido entre dez empresas dendeicultoras que se instalaram no Nordeste Paraense, com os incentivos dos Programas Nacionais de Produção do Biodiesel e de Produção Sustentável de Óleo de Palma. Mas a microrregião de Tomé-Açu continua concentrando boa parte dos plantios e usinas de processamento do dendê, com 7 das maiores empresas do setor instaladas nos seus municípios (figura 4). Nesse contexto de expansão do dendê no estado do Pará, a microrregião de Tomé-

Açu contribui com 72% da área plantada com a palmeira e com 78% do valor bruto da produção do óleo de palma no Brasil segundo o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019).

Com todos os investimentos que ocorreram na microrregião de Tomé-Açu, a inclusão dos agricultores familiares no complexo agroindustrial do dendê, um histórico de sucesso como maior exportador mundial de pimenta-do-reino, a criação e disseminação de sistemas agroflorestais com significativa participação de pequenos produtores, como explicar o baixo nível de desenvolvimento humano registrado em todos os municípios da microrregião?

Figura 4. Concentração das empresas de dendê na microrregião de Tomé-Açu



Fonte: Nahum e Santos (2015, p. 5).

O paradoxo pode ser explicado pela alta concentração de renda, e a consequente desigualdade social registrada em 2010 nos municípios da microrregião de Tomé-Açu. O coeficiente de Gini é o indicador mais utilizado para avaliar a concentração de renda nos países do mundo. Numericamente, o coeficiente de Gini varia de 0 (zero) a 1 (um), com 0 representando uma situação hipotética de total igualdade, onde todos teriam a mesma renda, e

1 representando a situação hipotética oposta, onde uma só pessoa detém toda a renda do lugar. Assim, quanto mais próximo de 1, o coeficiente de Gini indica maior concentração de renda.

O IDH não consegue captar plenamente as desigualdades sociais provocadas pela concentração de renda. Por isso, foi criado um índice que cruza os dados do IDH com o coeficiente de Gini da concentração de renda, para calcular o IDH ajustado à desigualdade social (ALKIRE e FOSTER, 2010). Segundo o relatório do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), em 2010 o Brasil é o terceiro país que mais perde posições no ranking quando o IDH é ajustado às desigualdades sociais. Naquele ano, o ajuste às desigualdades sociais fez IDH do Brasil cair 27%, regredindo da posição de desenvolvimento humano médio para a faixa de desenvolvimento humano baixo. Assim, o Brasil ficou entre os dez países do mundo com maior desigualdade social, melhor apenas do que países africanos como Angola e Namíbia, ou países da América central como Belize e Haiti (PNUD, 2010).

Entre os municípios da microrregião de Tomé-Açu, o que apresenta a menor concentração de renda é Concórdia do Pará, com um coeficiente de Gini de 0,500, o qual indica que 50% renda do município está concentrada na mão dos mais ricos. A maior concentração de renda é encontrada no município de Moju, com um índice de Gini de 0,630, indicando que 63% da renda do município está na mão dos mais ricos. Os outros municípios apresentam índices de Gini na faixa de 0,530 a 0,540 (PNUD, IPEA, FJP, 2013).

Assim, segundo os dados do PNUD do ano de 2010, os coeficientes de Gini de rendimento da microrregião de Tomé-Açu são comparáveis aos coeficientes de países da África como Botswana (0,610) Comores (0,640) Zimbabwe (0,501), Zâmbia (0,507), classificados na faixa de IDH muito baixo (PNUD, 2010). Isso explica porque apesar da microrregião apresentar um aumento real de 114% no valor adicionado da agropecuária e de 13,7% no valor total das contribuições dos setores produtivos ao PIB no período de 1999 a 2010 (rever tabela 2, p. 25), todos os municípios da microrregião apresentam um baixo nível de desenvolvimento humano (rever tabela 1, p. 24).

Passados mais de 15 anos do lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), os levantamentos e pesquisas realizadas sobre os resultados do programa apresentam questionamentos ao discurso que prometia sustentabilidade ambiental, rentabilidade econômica, e inclusão social de agricultores familiares com o desenvolvimento da agroindústria do dendê no estado do Pará.

A primeira crítica que se faz é que o número de agricultores familiares integrados na agroindústria do dendê ficou muito abaixo do planejado. Considerando os dados do BASA sobre as operações financiadas para a agricultura familiar de Dendê, as metas de inclusão

social das unidades familiares ficaram muito distantes das 13.000 famílias que Lula colocava como meta até o ano de 2014, no discurso de lançamento do PNPB em Tomé-Açu. Segundo levantamento realizado pelo setor competente do BASA, no período de 2005 a 2013 foram contratados 706 projetos no PRONAF-ECO para a cultura do dendê, e financiados R\$48 milhões distribuídos em 15 municípios do estado do Pará (BASA GESOP-COASC, 2013, apud NAHUM e BASTOS, 2014, p. 477).

Outra crítica que se faz à expansão do dendê no Nordeste Paraense refere-se ao impacto na concentração fundiária da região. Como a partir do artigo 4º do PNPB o plantio do dendê ficou vetado por lei em áreas de floresta nativa, comerciantes locais promoveram uma verdadeira varredura na região do Nordeste Paraense a procura de imóveis rurais aptos para a revenda aos empreendedores da dendeicultura. De acordo com levantamento realizado pelo Grupo de Pesquisa Dinâmicas Territoriais do Espaço Agrário na Amazônia, a BIOPALMA adquiriu 116 propriedades de tamanhos diversos, agrupadas nos polos de Moju, Acará, Tomé-Açu e Concórdia, perfazendo aproximadamente 60 mil hectares (NAHUM e BASTOS, 2014, p. 475).

A Agropalma, por sua vez, adquiriu 107 mil hectares de terras para abrigar 39 mil ha de plantio de dendê, 64 mil ha de reservas florestais, 5 indústrias de extração de óleo bruto; 2 indústrias de refino, e 2 indústrias de gorduras vegetais (AGROPALMA, 2015). A Petrobrás Biocombustível tinha dois grandes projetos na região, um de 50 mil ha em parceria com a GALP energia para produzir óleo para Portugal, e outro de 48 mil ha para abastecer a região Norte. Como a empresa não pretendia comprar terras, esses projetos seriam realizados em terras arrendadas ou com agricultores familiares e produtores integrados. Assim, mesmo sem a propriedade da terra, Petrobrás Biocombustível iria monopolizar 196 mil há, considerando a exigência da Reserva Legal (BASA, 2012).

Como as empresas dendeicultoras projetam para 2019 uma área plantada com dendê de 316.000 hectares, e precisam dispor de 50% da área na forma de Reserva Legal com a vegetação natural, é de se esperar uma demanda mínima de compra de 600.000 hectares de terras para ao plantio de dendê, aumentando significativamente a concentração fundiária já existente e, conseqüentemente, os conflitos pela posse da terra.

Outra consequência decorrente da concentração de terras para a agroindústria de dendê é o declínio da área plantada com a mandioca no período de 2005 a 2019. De acordo com os dados do IBGE, a área plantada com mandioca na microrregião de Tomé-Açu sofre quedas sucessivas a partir de 2005, na medida em que cresce a área plantada com dendê. Nesse período a área plantada com mandioca decresce de 58.900 para 30.350 hectares, enquanto a

área plantada com dendê cresce de 32.652 para 136.273 hectares, ultrapassando em 2011 a área plantada com mandioca na área de estudo (IBGE, 2019).

Mais do que a simples substituição da área de mandioca pelo dendê, Monteiro (2017, p. 181-182) defende que a diminuição da área plantada com mandioca tem origem na captura de mão de obra jovem para os serviços do dendê. Segundo o autor, entre os anos 2000 e 2014 houve uma mudança significativa nos setores de ocupação da mão de obra. Em 2000, a indústria da madeira detinha 33% da participação dos empregos, mas sua participação na composição dos empregos cai para 10%, em 2014. O inverso ocorre na área agrícola no mesmo período, que aumenta de 13% para 38% sua participação na composição dos empregos, tendo forte contribuição de empregos gerados pelo dendê (tabela 5).

Tabela 5. Distribuição das principais áreas de emprego nos municípios produtores de dendê (2000-2014)

Setores	2000		2014	
	Empregados	Participação Relativa	Empregados	Participação Relativa
Indústria de Transformação e Extrativa Mineral	4.023	33%	4.926	10%
Construção Civil	409	3%	1.740	4%
Comércio, Serviços Gerais e Serviços de Utilidade Pública	1.764	15%	7.265	15%
Administração Pública	4.336	36%	16.088	33%
Agropecuária, extração vegetal, caça e pesca	1.586	13%	18.029	38%
Total	12.118	100%	48.048	100%

Fonte: Brasil (2014b) MTE/RAIS, apud MONTEIRO, 2017, p. 182.

O quadro acima sugere a absorção de um número expressivo de mão de obra jovem e masculina pelas empresas de dendê na região no ano de 2014, que pode ter reduzido a força de trabalho nas atividades produtivas da agricultura familiar, e contribuído para a diminuição da produção da mandioca (MONTEIRO, 2017, p. 189). Como a cultura da mandioca é muito exigente em mão de obra, especialmente na fase de processamento da farinha, é bastante verossímil a hipótese de influencia do dendê na diminuição da mão de obra familiar, o que pode ter ocasionado as curvas de depleção da área plantada de mandioca.

Tal percepção nos leva a outro patamar de análise dos impactos estruturais da agroindústria do dendê na microrregião de Tomé-Açu, dentro do processo que Nahum chama de *descampenização*, onde se muda a paisagem, “a configuração espacial e a dinâmica social, enfim a relação com o território, que antes era o quadro da vida, usado para reprodução da unidade familiar camponesa, isto é, satisfação de sua condição de existência” (NAHUM e BASTOS, 2014, p. 479).

Nesse contexto de desestruturação das famílias pela redistribuição força de trabalho familiar, visualiza-se a formação de um novo campo sem camponeses, onde predominam moradores rurais, assalariados rurais, trabalhadores volantes e diaristas. Para atingir suas metas a Agropalma mantém mais de quatro mil empregos diretos, a Biopalma precisa de aproximadamente 8.000 trabalhadores, e a Petrobrás Combustível prevê a integração de 98 mil estabelecimentos entre familiares e arrendatários (NAHUM e BASTOS, 2014, p. 476). Para que se tenha uma ideia do impacto que essas demandas podem gerar, somente a previsão da Petrobrás exigiria uma população maior que a registrada no Censo demográfico de 2010, considerando o tamanho médio de 3,6 pessoas por familiar rural no Brasil (IBGE, 2008).

No caso das unidades familiares integradas a agroindústria, os camponeses não perdem a posse da terra nem se tornam assalariados das empresas. Continuam com a posse da terra enquanto meio de produção e de sua força de trabalho. Mas, quem comanda o uso da terra e da força de trabalho são as empresas, por meio de contratos entre partes “juridicamente iguais” e em comum acordo. Assim, delinea-se o território do dendê em um campo sem camponeses, onde a força de trabalho de todos é treinada, comandada e utilizada exclusivamente para a cultura da palma africana (NAHUM e BASTOS, 2014, p. 479).

Nessas circunstâncias, Nahum e Bastos (2014, p. 476) aconselham desconfiar do discurso ufanista do boom do dendê, que promete rentabilidade econômica, inclusão social de agricultores familiares e sustentabilidade ambiental, sem que se esclareça para quem e como. Para eles, “é preciso perguntar quem ganha com a dendeicultura, pois tão importante quanto ressaltar as potencialidades econômicas, ambientais e sociais do dendê, faz-se necessário refletir sobre quem usufrui dos dividendos dessas potencialidades, ou seja, quem fica com a renda da terra e se beneficia do território” (NAHUM e BASTOS, 2014, p. 484).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Mapas de pixels, acurácia e entropia da informação.

Uma imagem de satélite é um arquivo digital obtido a partir de um satélite artificial a quilômetros da superfície da terra. Esse processo poderia ser explicado de maneira simples como a obtenção de uma fotografia da Terra de uma máquina localizada no espaço dentro de um satélite. No entanto, não se deve confundir fotografia com imagem de satélite. Uma fotografia é uma simples representação pictórica, que não considera os comprimentos de ondas da luz que se reflete dos objetos enfocados. Já uma imagem de satélite é uma medida das propriedades dos materiais, que reflete a interação energia-matéria a partir da energia incidente, cuja composição é feita pelo valor da reflectância em números digitais.

O elemento básico de composição da imagem de satélite é o *pixel*, termo que tem origem na língua inglesa pela contração das palavras *picture element*. Um pixel varia de tamanho conforme a quantidade de pixels encontrada na imagem. Quanto maior a quantidade de pixels por área, maior a resolução e melhor a qualidade da imagem. Por exemplo, se uma imagem tem o tamanho de 20 x 10 centímetros (cm) e uma resolução de 100 pixels/cm, esta imagem é formada por 2.000 x 1.000 pixels, totalizando dois milhões de pixels. Se outra imagem com o mesmo tamanho tem uma resolução de 1.000 pixels/cm, esta imagem tem 200 milhões de pixels, apresentando uma resolução 100 vezes maior que a primeira, o que permite uma melhor qualidade e nitidez da imagem.

Nas imagens de satélite o pixel se apresenta como um pacote constituído de pontos, os quais representam no espaço real da superfície da terra as coordenadas geográficas – latitude e longitude – que indicam a localização precisa das feições geográficas e dos objetos observado. Assim, uma imagem de satélite com referências geográficas que associam pontos do espaço real com pixels da imagem, é matéria prima para a elaboração de um mapa representativo do que se pretende identificar na superfície terrestre.

A leitura da imagem digital se faz pela interpretação das feições terrestres retratadas na cena, definida por uma função bidimensional $I(x, y)$ onde os valores de I representam a intensidade da imagem em cada coordenada espacial. Essa intensidade é representada por um valor inteiro, positivo e finito, chamado nível de cinza, que representa a intensidade de energia eletromagnética refletida pela superfície da terra. Cada ponto da imagem corresponde a um ponto na terra geograficamente identificado, e para o qual são registrados valores

digitais relacionados à intensidade de energia refletida em faixas bem definidas do espectro eletromagnético (INPE, 2007).

Dessa maneira, para fazer a leitura correta de uma imagem de satélite é fundamental compreender as características dos alvos que estão sendo analisados, e ter em mente que a assinatura espectral de um pixel é uma média das assinaturas espectrais de todos os objetos que estão contidos na área correspondente na superfície da terra. A comunicação da leitura de imagens de satélite para os usuários se faz através de mapas resultantes da interpretação das assinaturas espectrais e da geometria dos arranjos de pixels na cena enfocada. Assim, um mapa elaborado a partir da leitura de uma imagem de satélite é um mapa de pixels, e parte de um processo de comunicação que envolve a interação entre agentes, recursos e métodos de produção cartográficos.

Até meados do século XX, o mapa não era pensado como um produto de comunicação social. A preocupação com a comunicação cartográfica aparece com maior intensidade após a Segunda Guerra Mundial com o surgimento da Teoria de Comunicação Cartográfica, na qual o termo comunicação está sempre relacionado à eficiência da estrutura e funcionamento do sistema onde ocorre a comunicação, no momento em que uma fonte de mensagem transmite sinais por meio de um canal (o mapa) para um receptor na destinação (KENT, 2018).

A Teoria da Informação de Claude Elwood Shannon (1948) teve influência fundamental na formulação do papel da Cartografia, abrindo caminho para a Comunicação Cartográfica. Sob este enfoque, o mapa é considerado um veículo de informação (ARCHELA e ARCHELA, 2002) onde os sinais transmitidos no processo de comunicação têm uma função meramente representativa, cuja organização segue regras previamente estabelecidas entre a fonte e o destino.

Em sua apresentação da Teoria da Informação, Weaver (1964) destaca que a temática da comunicação pode ser tratada de maneira ampla em três níveis: a) no nível técnico ou sintático, que se ocupa com a precisão da transferência da mensagem de um agente transmissor para um agente receptor; b) no nível semântico, que se debruça sobre a interpretação do significado pelo receptor, em comparação com o significado pretendido pelo remetente; e c) no nível da eficácia, que se preocupa se o significado da mensagem afeta a conduta do receptor, da maneira desejada pelo transmissor.

Mas, para Shannon, a Teoria da Informação se refere exclusivamente ao nível técnico, já que o problema fundamental da comunicação é reproduzir a mensagem de um ponto para outro, da maneira mais precisa possível. Para ele as mensagens frequentemente têm um significado, mas os aspectos semânticos são irrelevantes para a engenharia da comunicação. A

faceta mais importante é que a mensagem é selecionada entre um grupo de possíveis mensagens, mas como a mensagem escolhida é desconhecida quando se projeta o sistema, o mesmo deverá ser projetado de modo a operar com qualquer das possíveis seleções, e não somente com aquela que foi realmente escolhida (SHANNON, 1948, p. 1).

O fato da Teoria da Informação limitar-se ao nível técnico da comunicação pode parecer decepcionante à primeira vista, levando a pensar que o aspecto técnico da comunicação é relativamente superficial, envolvendo apenas detalhes da engenharia do bom design de um sistema de comunicação, enquanto o aspecto semântico parece conter todo conteúdo filosófico e os resultados práticos do problema geral da comunicação.

Weaver contesta esta impressão, argumentando que a Teoria de Shannon tem um significado mais profundo, pelo fato de que os aspectos semânticos da comunicação só podem fazer uso da precisão na transferência dos sinais quando se tornam possíveis no nível técnico. Desta maneira, qualquer limitação a nível técnico aplica-se também ao nível da semântica. Assim, a teoria do nível sintático da comunicação é também uma teoria dos níveis da semântica e da eficácia (WEAVER, 1964, p. 6).

Na mesma perspectiva, a teoria da comunicação cartográfica entende que se o fenômeno estudado for mapeado adequadamente e representado no mapa com o código da linguagem do usuário, os objetivos de transmissão da informação serão alcançados em sua plenitude. Assim, a comunicação cartográfica como produção teórica e metodológica está ligada à Teoria da Informação, razão porque a produção de mapas pode ser analisada a partir da dimensão sintática. Assim, a comunicação pelo mapa compreende em saber como construir mensagens em condições ótimas para, quando veiculadas pelo canal, atinjam da forma mais eficiente possível o receptor (GOMES, SILVA, *et al.*, 2013, p. 3-4).

Para que as condições ótimas sejam atendidas, é necessário que o canal de comunicação tenha capacidade de transmitir a quantidade e o tipo de informações contido na mensagem. Neste ponto se compreende a verdadeira razão pela qual a análise de Shannon trata de um conceito de informação que caracteriza toda a natureza estatística da fonte de informação e não está preocupado com as mensagens individuais nem com o seu significado. É que, do ponto de vista da engenharia, um sistema de comunicação deve estar preparado para lidar com todo tipo de comunicação que a fonte possa produzir. Para isso, é necessário mensurar a quantidade de informação das mensagens possíveis, a fim de dimensionar o canal de comunicação adequado.

Considerando que a melhor maneira de medir a quantidade de informação de um sistema é através da função logarítmica, para calcular a entropia Shannon utilizou o logaritmo

binário, introduzindo a noção do bit como unidade de medida da informação (SHANNON, 1948, p. 1-2). Tal escolha é justificada em função da tecnologia da época, pelo fato de que um bit determina se um relé¹ está aberto ou fechado e um telégrafo emite um bip curto ou um longo. Hoje em dia, os bits se manifestam na sequência de 0s e 1s que compõem os arquivos de computador, seja texto, vídeo, som, ou qualquer tipo de informação digital. Ao assumir o bit como unidade de medida, Shannon estabelece a fórmula da quantificação da informação:

$$h = \log_2 n \quad (1)$$

Shannon argumenta que um processo de comunicação deve ser analisado de maneira probabilística, considerando em conjunto as possibilidades de ocorrência das mensagens possíveis. Sendo assim, a quantidade de informação gerada por um processo de comunicação deve somar as probabilidades p de ocorrência de mensagens, multiplicadas pelo logaritmo que mede a quantidade de informação das mensagens (SHANNON e WEAVER, 1949, p. 14). Esta medida é expressa matematicamente na expressão que se desenvolve em seguida.

$$H = -[p_1 \log p_1 + p_2 \log p_2 + \dots + p_n \log p_n] \quad (2)$$

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (3)$$

Analisando o enunciado geral da equação da entropia, Costa (2014, p. 10) explica que a quantidade de informação será tanto maior quanto melhor forem distribuídas as probabilidades de ocorrência das mensagens possíveis. Se houver perfeita distribuição das probabilidades dos fluxos de informação, a entropia será máxima. Assim, a entropia dos sistemas de informação cresce com o número de fluxos de mensagens. Numa perspectiva evolucionária, o processo indica que um sistema amplia sua capacidade de produzir informação com diversificação e complexificação.

Costa (2014, p. 9) observa que a Teoria da Informação se baseia na ideia de que a quantidade de informação de uma mensagem, a sua entropia, varia diretamente com a incerteza do evento informado e inversamente com a probabilidade de sua ocorrência. Desta maneira, quanto maior a probabilidade de um evento ocorrer, menor a carga de informações, ou entropia, do seu comunicado. Então, se o mesmo evento ocorre em todos os casos, a carga

¹ Um relé é um interruptor eletromecânico que serve para ligar e desligar dispositivos elétricos, além de outras inúmeras aplicações na comutação de contatos elétricos (COULSON, 1950).

de informação de seu comunicado é zero. Se um evento ocorre muito raramente, e por isso, há muita incerteza em torno dele, a quantidade de informação de sua ocorrência é muito elevada.

No que diz respeito à questão da incerteza na Teoria da Informação, uma observação esclarecedora é a de Isaac Epstein (1986, p. 35), de que a "informação é uma redução da incerteza, oferecida quando se obtém resposta a uma pergunta". Também é esclarecedora a proposta de uma teoria unificada da informação de Fenzl e Hofkirchnerb (2005, p. 6), na qual o conceito da informação se relaciona com a diversidade, a ideia da transformação e emergência da novidade. Para esses autores, a quantidade de informação de uma mensagem está ligada à emergência da novidade, ou seja, a entropia da informação é maior para fenômenos pouco frequentes, o que corrobora com as observações de Costa, acima mencionadas.

De fato, quando o evento é corriqueiro, desperta pouca atenção. Mas, quando o evento é raro, se torna alvo de grande atenção e curiosidade. Neste sentido, Epstein faz uma análise abrangente deste tipo de fenômeno, considerando as particularidades da ciência e do jornalismo. Quando um fato se transforma em notícia no jornalismo e na ciência

“Um fato pode se transformar em notícia quando é raro e, portanto, inesperado, e este atributo da notícia é comum ao conceito de ‘quantidade de informação’ oriundo da teoria da informação (TI). Trata-se de um atributo sintático tanto da notícia como da quantidade de informação (TI), porque concerne à sua frequência relativa e não ao seu significado” (EPSTEIN, 2007, p. 166).

Sob a ótica do falsificacionismo popperiano, Epstein sugere que fenômenos usuais têm baixo poder explanatório, uma vez que apenas confirmam o conhecimento tido como verdadeiro. Desta maneira, um enunciado com alta probabilidade de ocorrência seria desinteressante do ponto de vista científico, porque diz pouco e não tem poder explanatório. “A consequência deste fato é que o crescimento do conhecimento implica em operar teorias com grande poder explanatório e conteúdo e, conseqüentemente, com pequena probabilidade de ocorrência” (EPSTEIN, 2007, p. 172).

Pelo exposto, podemos concluir que há um arcabouço teórico robusto para avaliar o potencial de comunicação da integração de informações sócias em imagens de satélite, e um instrumental matemático para calcular a quantidade de informação que este tipo de interação pode gerar. Ou seja, existem recursos teóricos e metodológicos adequados para testar as hipóteses formuladas nesta pesquisa, tendo o mapa como canal de comunicação dos resultados da integração das informações sociais com imagens de satélite. Devemos lembrar,

entretanto, que a entropia da informação cartográfica na formulação de Shannon refere-se exclusivamente aos aspectos sintáticos da comunicação, independente dos significados semânticos que o mapa de pixels possa vir a ter.

Mas, a comunicação das imagens de satélite não depende somente de recursos técnicos e sinais codificados na linguagem do destinatário. Para que a eficácia da comunicação seja efetiva, é exigida uma boa qualidade no produto da classificação das imagens digitais. Assim, antes do processo de comunicação, é necessário saber qual a exatidão do mapa em relação à realidade. Quão confiáveis são os dados provenientes da classificação das imagens digitais? Por outro lado, com a integração dos vetores sociais nas imagens de satélite, como saber se a distribuição das probabilidades de uso do solo na cena da imagem retrata fielmente os cultivos agrícolas? Enfim, em que medida a reinterpretação da imagem de satélite integrada com vetores sociais corresponde à realidade concreta?

No sensoriamento remoto, a proximidade entre o resultado da leitura da imagem e a verdade terrestre é aferida pela *acurácia de classificação*, termo que comporta a precisão da interpretação na temática investigada, da localização dos objetos, e da época de aquisição dos dados (IBGE, 2017). A acurácia da classificação é aferida com visitas de campo, em pontos selecionados aleatoriamente nas coordenadas geográficas da imagem, para verificar se o resultado da classificação corresponde à realidade. Entretanto, este processo é pouco frequente no sensoriamento remoto pelas dificuldades logísticas e, quando se vai a campo, na maioria das vezes não é possível validar toda extensão da cena das imagens. Desta maneira, é comum utilizar processos complementares para avaliar a acurácia.

Uma alternativa muito usada para aferir a acurácia da classificação de imagens de satélite é o processo de tabulação cruzada, onde se verifica o nível de acerto da classificação em relação a outro mapeamento considerado de boa qualidade ou em relação à interpretação visual de imagens de alta e média resolução. Diversos testes realizados nas imagens disponíveis na plataforma Google Earth², indicam que essas imagens apresentam fidelidade geométrica com verdade terrestre (LOPES, 2006), e permitem a produção mapas temáticos de boa qualidade que podem ser usados para aferir a acurácia de mapas temáticos produzidos por outras fontes (QUEIROZ, SOUZA, *et al.*, 2017), ressalvadas as limitações posicionais para aplicações que exigem precisão centimétrica (RIBAS, 2007).

² Google Earth é um programa de computador da empresa Google, que pode ser acessado gratuitamente pela rede mundial de computadores, para visualizar um modelo tridimensional do globo terrestre, desenvolvido a partir de um mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas.

Estudo da Embrapa Florestal (ROSOT, DLUGOSZ, *et al.*, 2010) confirma que as imagens de alta resolução do Google Earth fornecem um bom suporte para aferir a acurácia de classificação das imagens de satélite. O informe da Embrapa indica que a partir da versão 5 do programa Google Earth foi incorporada uma nova ferramenta denominada *Imagens históricas*, que permite navegar em imagens obtidas no passado. Havendo imagens disponíveis nas datas adequadas, esta ferramenta torna possível aferir a acurácia de classificação em imagens antigas. Desta maneira, o estudo conclui que o programa Google Earth é eficiente para monitorar as mudanças de uso e cobertura da terra, e os eventuais erros existentes entre mapas temáticos e a verdade terrestre em datas pretéritas.

Com a versão *Google Earth Pro* disponibilizada gratuitamente a partir de 2015, uma atualização do programa tornou possível visualizar e extrair imagens com maior resolução de aproximadamente 4800 x 3020 pixels, o que influencia na qualidade dos resultados quando se necessita observar uma área em um alto nível de detalhamento, potencializando a possibilidade de utilização do aplicativo para a realização de trabalhos acadêmicos.

A matriz de confusão, ou matriz de erro, tem sido o método mais usado para aplicar a estatística de tabulação cruzada a fim de avaliar a acurácia da classificação de imagens de sensoriamento remoto, derivando diversas medidas para descrever a precisão da classificação e caracterizar os erros, ajudando a refinar a classificação. Da matriz de confusão podem ser extraídos vários índices de precisão da classificação, destacando-se entre eles o índice de exatidão global e coeficiente de Kappa (FOODY, 1992).

Uma matriz de confusão é formada por um arranjo de números dispostos em linhas e colunas, que apresenta o número de amostras aleatórias dos valores de uma classificação, comparado com a verdade terrestre verificada em campo. Nas colunas são apresentados os dados de referência, e nas linhas os dados da classificação. A diagonal principal da matriz indica (em negrito) os pixels classificados corretamente, ou seja, o nível de acerto ou concordância entre os dois conjuntos de dados. A tabela 6 mostra a representação de uma matriz de confusão.

A partir da matriz de confusão, pode-se calcular uma série de medidas estatísticas de exatidão da classificação, que são descritas por (FOODY, 1992; BANKO, 1998; BERNARDES, 2006). Os índices derivados da matriz de confusão mais conhecidos são a exatidão global, a precisão de classe individual, que se expressa pela acurácia do produtor e acurácia do usuário, e o índice Kappa.

Tabela 6. Representação matemática da matriz de confusão

Dados de Referência

Classificação	1	2	c	Total das linhas n_{i+}	Acurácia do usuário (%)
1	X_{11}	X_{12}	X_{1c}	X_{1+}	X_{11}/X_{1+}
2	X_{21}	X_{22}	X_{2c}	X_{2+}	X_{21}/X_{2+}
C	X_{31}	X_{32}	X_{3c}	X_{c+}	X_{21}/X_{2+}
Total das colunas n_{+i}	X_{+1}	X_{+2}	X_{+3}	n	
Acurácia do produtor (%)	X_{11}/X_{+1}	X_{12}/X_{+2}	X_{1c}/X_{+3}		

Fonte: Adaptada de Bernardes (2006).

Entre esses índices, a exatidão global é a medida mais simples e relaciona os elementos da diagonal com o total de pontos amostrados, sendo calculada pela divisão da soma dos valores da diagonal principal da matriz de confusão, pelo número total de amostras coletadas, obtido no total das linhas ou colunas, como formulado abaixo.

$$G = \frac{\sum_{i=1}^c x_{ii}}{n} \quad (4)$$

A acurácia do produtor e a acurácia do usuário são maneiras de avaliar a precisão individual de uma categoria ou classe. A acurácia do produtor refere-se às amostras classificadas de maneira incorreta em determinadas classes, sendo, portanto, omitidas nas suas classes corretas. A acurácia do usuário indica a probabilidade que um pixel classificado na imagem de fato representa aquela categoria no campo. Os dois indicadores são calculados na forma de percentagem. Para calcular a acurácia do produtor, se divide o valor da classe na diagonal principal da matriz de erros pelo total da coluna referente. A acurácia do usuário é calculada dividindo o valor da classe na diagonal principal da matriz de erros pelo total da linha referente (BANKO, 1998).

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 temática. 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 à classificação dos pixels está de acordo com a verdade terrestre, e pode ser calculado através da seguinte equação:

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}} \quad (5)$$

Onde 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.

Proposto por Jacob Cohen (1960), o coeficiente de Kappa é utilizado na medicina para avaliar o grau de concordância no diagnóstico de doenças, considerando que um mesmo exame clínico pode ser avaliado por dois médicos sem obter o mesmo resultado. Assim, para saber se um diagnóstico é confiável, é necessário que ele seja repetido no mínimo por dois médicos distintos. Desta maneira, o coeficiente Kappa pode ser considerado como uma medida de concordância entre observadores, que permite avaliar o grau dessa concordância (SILVA e PAES, 2012).

Considerando essa perspectiva, Costa (2014, p. 11) observa que o Coeficiente Kappa é uma forma de estabelecer graus de concordância entre juízes, na validação de um processo de significação. Posto que as unidades em análise são independentes assim como as categorias da classificação, e os juízes agem independentemente, o coeficiente Kappa pode ser definido como a proporção de acordo entre os juízes (P_0) após ser retirada a proporção de acordo devido ao acaso (P_a), como na fórmula abaixo.

$$K = \frac{P_0 - P_a}{1 - P_a} \quad (6)$$

Prosseguindo sua análise, Costa (2014, p. 11) sugere que o coeficiente Kappa pode ser entendido como o grau de acerto de uma regra, ou teoria, de significação de um mapa de pixels. Tal sugestão nos leva a inferir que o coeficiente Kappa pode ser usado para avaliar o que há de mais fundamental no aspecto semântico da comunicação, que é o grau de

veracidade da informação. No nosso caso mapa temático resultante da leitura de uma imagem digital, o grau de concordância dos signos cartográficos com a verdade terrestre.

Desta maneira, para validar um mapa de pixels de maneira que seja considerado como mapa de realidade, é necessário dimensionar o volume de informações que ele carrega através do coeficiente de entropia da informação de Shannon, e verificar o grau de veracidade dessas informações através do índice Kappa de Cohen. Podemos concluir então, que temos suporte teórico para avaliar o potencial de informação da integração de vetores sociais em imagens de satélite, tanto do ponto de vista sintático quanto do ponto de vista semântico.

3.2. Inserindo dados sociais em imagens de satélite

Nas duas 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 aplicado às ciências da terra, 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.

Diversos autores argumentam que vale a pena responder a essa pergunta, porque ela tem valor científico para os estudos sobre as interações do homem com meio ambiente, especialmente nas questões que dizem respeito às mudanças de uso da terra (MORAN e BRONDIZIO, 1994; WOOD e SKOLE, 1998; CODJOE, 2007), migração e demografia (PEBLEY, 1998), dinâmicas urbanas (COWEN e JENSEN, 1998), além de fornecer informações sobre eventos socialmente significativos, como fome e epidemias de doenças (EPSTEIN, 1998).

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 McCracken et al (2000; 1999) e de Vanwey, D'Antona e Brondízio (2007), realizadas em escala menor a nível domiciliar, demonstram que mais importante que a densidade demográfica para o uso da terra, são os fatores econômicos externos (por exemplo, crédito, preços), as características ambientais (por exemplo, solos, topografia e disponibilidade de água) e a distâncias aos mercados urbanos. Por outro lado, o uso da terra pode estar mais vinculado à dinâmica interna das famílias, tais como o aumento do número de crianças e idosos, ou a disponibilidade de mão de obra familiar apta para o trabalho.

O estudo de Codjoe (2007) sobre população e uso da terra na África Ocidental pela integração de sensoriamento remoto com dados socioeconômicos, demonstra que as tendências de mudanças no uso da terra podem ser avaliadas e vinculadas aos dados da população se a unidade de análise for o nível nacional, regional, distrital ou municipal. No entanto, para uma compreensão dos fatores reais que influenciam o uso da terra no nível das propriedades, é necessário pesquisa domiciliar. Neste caso, quando a escala de análise é muito pequena, é muito difícil a ligação entre os dois conjuntos de dados. Os sistemas de posicionamento global (GPS) foram usados para contornar esse problema, mas isso só permite tamanhos de amostra menores devido a restrições de tempo.

Pelo que se depreende desses estudos, a compatibilidade das escalas é um grande desafio para a integração de dados censitários com imagens de satélite. Como os dados censitários são coletados segundo as divisões político-administrativas, a integração com dados de sensoriamento remoto fica condicionada a esses limites, definindo compulsoriamente a escala em que dados terão que ser agregados ou desagregados. O setor censitário, por exemplo, é a menor unidade territorial de divulgação de dados do Censo Agropecuário de 2006, definida para fins de controle cadastral como uma área contínua situada em um único quadro urbano ou rural, com uma extensão máxima de 600 km² e um limite de duzentos estabelecimentos rurais (IBGE, 2009).

Tal definição implica que as pesquisas que utilizarem os dados do censo agropecuário de 2006 terão como limite inferior 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 sociais e econômicas. As limitações se ampliam quando o acesso aos dados censitários é realizado através do *Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA*³, porque a menor escala de divulgação das informações neste sistema é o município.

Esta pesquisa equaciona o problema da limitação de escala dos dados estatísticos, utilizando a malha fundiária das propriedades rurais da microrregião de Tomé-Açu para intermediar a integração dos dados censitários com as imagens de satélite da região. Esta intermediação se viabiliza com o Sistema Geográfico de Informações Fundiárias – SIG Fundiário⁴, que foi desenvolvido pela Universidade Federal do Pará com o Ministério Público Estadual, associando informações dos registros de imóveis em cartórios com os dados cartográficos dos processos de origem nos órgãos fundiários, permitindo a localização georreferenciada das propriedades na microrregião de Tomé-Açu.

Com as informações cartográficas do SIG Fundiário é possível espacializar as propriedades rurais nas imagens de satélite da microrregião de Tomé-Açu, e integrar os dados censitários no interior dos estabelecimentos. A integração se viabiliza com a distribuição dos dados estatísticos pelo tamanho das propriedades na malha fundiária, utilizando como chave primária os estratos de área dos censos agropecuários, através dos quais são divulgados os dados estatísticos por faixas de área dos estabelecimentos rurais. Desta maneira, é possível reagregar os dados do censo numa escala mais adequada, para fazer inferências sobre as mudanças no uso da terra no nível das propriedades, onde os produtores rurais se relacionam diretamente com o meio ambiente onde vivem.

3.3. 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.

³ O Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) é uma ferramenta digital que pode ser acessada pela internet, e permite consultar de forma simples e rápida, dados de estudos e pesquisas realizados pelo Instituto. A aplicação também dispõe de uma API (Interface de Programação de Aplicação), que permite a extração dos dados utilizando programas e aplicativos web, pelo endereço <http://api.sidra.ibge.gov.br>.

⁴ O projeto SIG Fundiário será tratado com mais detalhes adiante, na seção de metodologia desta pesquisa.

Mas será que é possível relacionar os dados de pixels das imagens de satélite com os dados de estatísticas sociais e econômicas, de maneira a acrescentar novas informações ao processo de interpretação das imagens de satélite? Será que é possível integrar informações de natureza tão diversa como dados espectrais e informações econômicas? Não seria incompatível mesclar em uma mesma base de dados, informações de natureza tão dispare como reflectância e valor da produção, níveis de cinza e força de trabalho, clusterização de pixels e produtividade por hectare?

Defendemos que é possível integrar pixels com estatísticas censitárias, considerando que a disponibilidade da malha fundiária na área de estudo possibilita a reorganização dos dados censitários na escala das propriedades, e permite a distribuição das probabilidades de uso da terra por faixa de reflectância e extrato de áreas, 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). Reproduzimos essas formulações nas próximas páginas.

A primeira descrição de uma imagem de satélite A_F pode ser feita pelo conjunto A_α , que representa uma área real na superfície terrestre A_R , composta por Z_R pontos de coordenadas geográficas x e y , que formam um conjunto A_F de z_F pixels a_{ij} .

$$A_\alpha = \{a_{ij} \mid (a_{ij} = l^2) \in A_F \wedge (i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J) : \Leftrightarrow (x, y) \in A_R\} \quad (7)$$

O conjunto A_α é composto por $n_{A_\alpha} = I \cdot J$ pixels $a_{ij} = l^2$, em que i, j equivalem às coordenadas geográficas x e y no plano real da superfície terrestre, e indicam a posição do “ponto” de reflectância e forma regular que representa a área quadrada do pixel no espaço real com l de largura e altura. A área de A_R que corresponde à descrição feita em A_α comporá um conjunto unitário, como formulado abaixo.

$$\hat{A}_R = \{a_R \mid a_R = \sum_{i,j=1}^{I,J} a_{ij} = n_{A_\alpha} \cdot l^2; n_{\hat{A}_R} = 1\} \quad (8)$$

A cada pixel a_{ij} correspondem atributos tais como reflectância, vizinhança, etc., que podem ser distribuídos em diferentes subconjuntos dentro do conjunto de elementos da imagem digital A_α , em função de regras aplicadas aos atributos. Por exemplo, em função dos valores de reflectância, contidos no conjunto:

$$A_{\alpha r} = \{r_{ij} | r_{ij} = \text{reflect\~{a}ncia de } a_{ij} \in A_{\alpha}\} \quad (9)$$

Estabelecidas as regras e definidas as classes $s = 1, \dots, S$ em faixas de valores de reflet\~{a}ncia que variam entre $\{(s-1)/S \cdot \max(r)\}$ e $\{(s/S) \cdot \max(r)\} - 1$, se formar\~{a}o conjuntos A_s contendo os pixels a_{ij} das classes respectivas, como segue:

$$A_s = \{a_{ij} | a_{ij} \in A_{\alpha} \wedge \left[\frac{s-1}{S} \cdot \max(r_{ij}) \right] < r_{ij} < \left[\frac{s}{S} \cdot \max(r_{ij}) \right], r_{ij} \in A_{\alpha r}, \forall s = 1, \dots, S\} \quad (10)$$

Os elementos de A_s se apresentam com uma determinada frequ\~{e}ncia n_{A_s} , em um conjunto composto por S subconjuntos A_s , que corresponde a um conjunto \mathring{A}_S com S elementos equivalentes \~{a}s \~{a}reas de cada subconjunto, como formulado abaixo.

$$A_s = U_{s=1}^S A_s \leftrightarrow \mathring{A}_S = \{a_s | a_s = n_{A_s} \cdot l^2; \forall s = 1, \dots, S\} \quad (11)$$

Al\~{e}m da somat\~{o}ria de pixels em A_{α} , o espa\~{c}o de total de A_R pode resultar da agrega\~{c}\~{a}o de classes, de maneira que:

$$\mathring{A}_R = \{a_R | a_R = \sum_{i,j=1}^{I,J} a_{ij} = \sum_{s=1}^S a_s = n_{A_{\alpha}} \cdot l^2; n_{\mathring{A}_R} = 1\} \quad (12)$$

Os conjuntos A_s agregam pixels em classes, mas pixels da mesma classe n\~{a}o ocorrem de maneira cont\~{i}nua na imagem digital A_{α} , j\~{a} que as classes s\~{a}o fen\~{o}menos espaciais descont\~{i}nuos no espa\~{c}o real da superf\~{i}cie terrestre A_r . As diferen\~{c}as entre classes e dentro das classes, particularmente as distin\~{c}\~{o}es espaciais, configuram o mapa de pixels. As descont\~{i}nuidades espaciais da mesma classe s\~{a}o controladas estabelecendo a contiguidade entre os pixels como crit\~{e}rio de forma\~{c}\~{a}o de conjuntos de pixels A_{sc} .

Considerando o conjunto de pixels que pertencem a uma classe s agrupada num subconjunto A_s , em qualquer circunst\~{a}ncia, este conjunto seria a uni\~{a}o dos conjuntos A_{sc} nele contidos com seus complementos, como formulado abaixo.

$$A_s = A_{sc} \cup \overline{A_{sc}} \quad (13)$$

Quando não houver nenhum A_{sc} , apresenta-se um conjunto vazio de A_{sc} , cujo complemento é A_S . Ao se observar um pixel de coordenadas menores em A_S , como estabelecido em (13), e se verificar que os pixels em torno dele se encontram em cadeia ininterrupta de vizinhança até que ocorra um pixel a_{ij} que não pertença ao conjunto A_S , ou seja, $a_{ij} \notin A_S$ como formulado em (14), dispõe-se dos elementos que formam um primeiro A_{sc} .

$$A_r = \{a_{kp} | a_{kp} = a_{ij} \in \overline{A_{sc}} \wedge [k = \min(i); p = \min(j); n_{A_r} = 1]\} \quad (14)$$

O complemento de A_{sc} , agora, de onde se elegerá o elemento de coordenadas menores, conterà apenas os elementos de A_S que não compuseram o objeto descrito pelos elementos de A_{sc} . Assim, se formarão sucessivos subconjuntos A_{sc} , até que o complemento de A_{sc} seja um conjunto vazio.

$$A_{sc} = A_T \bigcup_{\substack{i=k+t(t=1,\dots,n_{A_S}) \\ j=p+t(t=1,\dots,n_{A_S})}}^{a_{ij} \notin A_S} A_t = \{a_{ij} | a_{ij} \in A_S\} \quad (15)$$

$$A_S = \bigcup_{c=1}^C A_{sc} \leftrightarrow \hat{A}_S = \{a_{sc} | a_{sc} = n_{A_{sc}} \cdot l^2; \forall c = 1, \dots, C\} \quad (16)$$

Desta maneira, além das formas de agregação apresentadas em (8), o espaço total de A_R poderá ser o somatório dos objetos contidos em cada classe de pixels. De modo que:

$$\hat{A}_R = \{a_R | a_R = \sum_{i,j}^{I,J} a_{ij} = \sum_{s=1}^S a_s = \sum_{s,c=1}^{S,C} a_{sc} = n_{A_{sc}} \cdot l^2; n_{\hat{A}_R} = 1\} \quad (17)$$

Poderíamos prosseguir com a lógica das formulações de Costa (2014, p. 11-14), trabalhando na estruturação de classes a partir de outros atributos além da reflectância, tais como geometria, vizinhança, borda, etc. Isto permitiria decodificar outras formas de interpretação da realidade através do pixel, passíveis de descrição como conjuntos A_S – cada um deles coleção de A_S , por sua vez coleção de A_{sc} e assim por diante – as quais conformam mapas de pixels em diversas formas e composição.

Mas, o que esses mapas comunicam aos usuários? O que as classes construídas sob as regras de classificação dos pixels informam em relação à verdade terrestre? A qualidade desta informação depende da estrutura conceitual que decodifica a realidade a partir da leitura do pixel. Ou seja, a estrutura de decodificação da realidade especifica os seus problemas, e a

partir deles elege os aspectos que serão relevantes ou ignorados na definição das classes de pixels. Nessa estrutura, as decisões obedecem às regras definidas pelos atributos de pixels, sem nenhuma inferência direta com a vida real.

Digamos, por exemplo, que uma determinada classe s abriga M aspectos m da vida real, entendidos como fenômenos relevantes para uma teoria que considerada essencial identificar todas as culturas agrícolas de uma região, para determinar as trajetórias tecnológicas dominantes nos sistema agrários. Como as regras de classificação dos pixels sabem pouco sobre os possíveis aspectos m na realidade, e consideram apenas os eventos mutuamente exclusivos, qualquer um deles pode ocorrer com exclusividade (probabilidade 1), ou todos podem ocorrer com probabilidades desconhecidas cuja soma é igual a 1. Desta maneira, a classe s só pode se associar aos aspectos m da realidade como classe genérica, de modo que s será $m1$, ou $m2$, etc., ou, por fim, mM , levando a configuração de um mapa de pixels que resulta de um conjunto de recodificações, como formulado abaixo.

$$C_s = \{s | s = \sum_{i=1}^M m_i; n_{C_s} = 1; p(m_i) = \emptyset; p(s) = 1; \} \quad (18)$$

Um processo como este, de recodificação generalizante por ignorância da realidade, pode levar a uma maximização do teor de verdade formal da classificação, à custa da redução de sua eficácia comunicativa. Um exemplo que ocorre com frequência na classificação de imagens de satélite de média resolução espacial, são classes genéricas que englobam numa mesma denominação, diferentes tipos de vegetação com reflectância semelhante, como por exemplo, as culturas agrícolas temporárias, as pastagens plantadas e as pastagens naturais. Como não é possível distinguir pelo pixel esses tipos de vegetação, os diferentes aspectos m da realidade são fundidos em uma denominação genérica que pode ser, eventualmente, *agropecuária*, abrigoando em uma só classe as culturas temporárias as pastagens plantadas e as pastagens naturais.

Com este recurso se garante uma alta probabilidade de acerto na classificação, e um elevado grau de acurácia. Mesmo que três juízes identifiquem os diferentes tipos de vegetação na realidade, o primeiro identificando as culturas agrícolas, o segundo as pastagens plantadas e o terceiro as pastagens naturais, todos concordarão que se trata de agropecuária. Se, por um lado, este recurso viabiliza um Coeficiente Kappa com tendência ao máximo, por outro, a entropia da informação será contida pela redução no número de classes. Desta maneira, o grau de verdade que o coeficiente de Kappa expressa para o mapa em questão será contra-arrestado

pela redução da entropia da informação, em prejuízo da sua eficácia de comunicação (COSTA, 2014, p. 15).

3.4. Espacializando informações sociais

Neste trabalho, informações estatísticas são entendidas como dados que se referem a uma determinada delimitação espacial A_R com pelo menos três pontos, sem que esses pontos tenham uma referência espacial explícita. Essas informações estão organizadas em uma estrutura bem diferente da anterior, em que a imagem digital A_α é uma coleção de dados que 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 A_R , mas sem nele se situar com referências espaciais explícitas. Assim, a referência que A_R representa para B é real, mas não é concreta no sentido metodológico. É real, porque toda informação de B existe de fato em A_R , mas o espaço real A_R é uma abstração para B porque os elementos descritivos de B prescindem, ou abstraem, os elementos do espaço real A_R . 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 A_R , podem ser feitas associações probalísticas entre as duas bases de dados. Desta maneira, podem-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 A_R .

$$B_m = \{m | m = \text{usos de } a_R\} \quad (19)$$

$$B_{em} = \{e_m | e_m = \text{extensão de uso de } a_R \text{ associado a } m \in B_m, a_e = \sum e_m\} \quad (20)$$

$$B_{rm} = \{R_m | R_m = \text{expectativa de reflectância do uso de } a_R \text{ associado a } m \in B_m\} \quad (21)$$

Pelas formulações acima, a partir das estatísticas agropecuárias B_m pode-se obter informações sobre os diversos tipos de uso m da terra (19) e a extensão e_m desses usos (20). 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 (21). 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 A_R .

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

$$B_{ms} = \{m_s | m_s \in B_m \wedge \left[\frac{s-1}{s} \cdot \max(r_{ij}) \right] < r_m < \left[\frac{s}{s} \cdot \max(r_{ij}) \right] \cdot r_m \in B_m, r_{ij} \in A_{\alpha r}, \forall_s = 1, \dots, S\} \quad (22)$$

$$B_{mse} = \{e_{ms} | e_{ms} \in B_{em} \wedge \left[\frac{s-1}{s} \cdot \max(r_{ij}) \right] < r_m < \left[\frac{s}{s} \cdot \max(r_{ij}) \right] \cdot r_m \in B_{rm}, r_{ij} \in A_{\alpha r}, \forall_s = 1, \dots, S, a_{mes} = \sum e_{ms}\} \quad (23)$$

Nessas formulações de Costa (2014, p. 17), pode-se observar que o conjunto de informações estatísticas por classe B_{ms} (22) contém os tipos de uso da terra m por classe s , utilizando os mesmos critérios de classificação dos pixels da imagem digital A_α 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} (23): 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 $Bmsp$, como se demonstra abaixo na formulação (24).

$$Bmsp = \{p_{ms} \mid p_{ms} = \frac{e_{ms}}{\sum e_{ms}}; \sum p_{ms} = 1\} \quad (24)$$

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

$$A_{sm} = \{a_{sm} \mid a_{sm} = p_{sm} \cdot a_s, p_{sm} \in Bmsp; a_s \in \mathring{A}_s\} \quad (25)$$

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

$$n_{Asm} = \frac{a_{sm}}{l^2} \quad (26)$$

Tendo conhecimento do número de pixels de cada conjunto Asm , e que a união de todos os conjuntos Asm resulta no conjunto As , é possível fazer o reconhecimento dos elementos de Asm em As . Desta maneira, pode-se proceder recodificações de As imputando nos seus elementos os significados de m . Assim, o conjunto de pixels de uma classe s se agrupa em um conjunto As , resultado da união dos conjuntos Asm , nele contidos, com seus complementos, como formulado em (27).

$$A_s = A_{sm} \cup \overline{A_{sm}} \quad (27)$$

No momento em não houver nenhum A_{sm} , emerge um conjunto vazio A_{sm} cujo complemento de A_{sm} é As . Quando se toma um elemento com coordenadas menores no complemento de A_{sm} como em (28), e se verificam os elementos em torno dele em cadeia ininterrupta de vizinhança até que se contém n_{Asm} pixels como formulado em (29), dispõe-se dos elementos que formam um primeiro Asm . Agora, o complemento de Asm onde se elegerá o elemento de coordenadas menores, conterá apenas os elementos restantes de As . Assim, se

formarão os sucessivos subconjuntos A_{sm} de A_s (30) até que o complemento de A_{sc} seja um conjunto vazio.

$$A_r = \{a_{kp} | a_{kp} = a_{ij} \in \overline{A_{sm}} \wedge [k = \min(i); p = \min(j); n_{AT} = 1]\} \quad (28)$$

$$A_{sm} = A_T \bigcup_{\substack{i=k+t(t=1,\dots,n_{A_s}) \\ j=p+t(t=1,\dots,n_{A_s})}}^{n_{A_{sm}}-1} A_t = \{a_{ij} | a_{ij} \in A_s\} \quad (29)$$

$$A_s = \bigcup_{m=1}^M A_{sm} \leftrightarrow \mathring{A}_{sm} = \{a_{sm} | a_{sm} = n_{A_{sm}} \cdot l^2; \forall m = 1, \dots, M\} \quad (30)$$

No balanço do espaço total de A_R , além das formas de agregação apresentadas, acrescente-se as formas de agregações por tipo de uso m nas diferentes classes s . De modo que:

$$\mathring{A}_R = \{a_R | a_R = \sum_{i,j=1}^{I,J} a_{ij} = \sum_{s=1}^S a_s = \sum_{s.c=1}^{S.C} a_{sc} = \sum_{s.m=1}^{S.M} a_{sm} = n_{A_s} \cdot l^2; n_{\mathring{A}_R} = 1\} \quad (31)$$

À guisa de conclusão para 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. Nesses casos, podem-se analisar os significados estruturais das estatísticas no espaço real de referência do conjunto A_r .

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 índice de entropia de Shannon (h), para avaliar o volume de informações que o mapa oferece, e 2) pelo coeficiente de kappa de Cohen (k) grau de veracidade dessas informações, este medido.

Deve-se sublinhar que os objetos tratados nas operações de (28) a (31), quer sejam, fotografias aéreas, imagens de satélite, ou referências geográficas do espaço real que se associem estatísticas, não se revelam de imediato para a realidade social e, portanto não se transformam automaticamente um mapa de pixels em um mapa de realidade. Esses objetos “carecem de significação, isto é, de atribuição de sentidos por interpretações à luz de teorias e experiências” (COSTA, 2014, p. 8).

3.5. Paradigmas e Trajetórias tecnológicas

O desmatamento e as mudanças no uso da terra tem atraído o interesse de pesquisadores para modelar padrões espaciais e temporais da conversão da terra, e entender as causas e consequências dessas mudanças. Geógrafos e cientistas da terra assumiram a liderança no desenvolvimento de modelos espacialmente explícitos, utilizando imagens de sensoriamento remoto para estudar as mudanças no uso da terra em escalas altamente desagregadas, seja com parcelas individuais de terra ou células da paisagem. No entanto, pouca atenção tem sido dada no desenvolvimento desses modelos para compreender os processos econômicos subjacentes às mudanças no uso da terra.

Na medida em que os pesquisadores estão interessados em explicar as relações causais entre escolhas individuais e resultados da mudança no uso da terra, são necessários modelos econômicos mais articulados de mudança no uso da terra. A heurística de uma teoria deve particularmente indicar os caminhos e possibilidades a serem aprofundadas na tentativa de torná-la uma teoria progressiva, isto é, capaz de garantir um desenvolvimento empírico ao objeto de pesquisa, prevendo fatos novos não percebidos no momento da elaboração das hipóteses.

Neste sentido, as formulações acima expostas exigem capacidade teórica para compreender o sentido de integrar estatísticas sociais e econômicas em imagens de satélite, descobrindo a melhor maneira de articular teoria econômica na compreensão das mudanças no uso da terra. As noções articuladas de paradigmas e trajetórias tecnológicos possibilitam perspectivas de compreensão dinâmicas e complexas, oferecendo oportunidades para operacionalizar um passo avançado na construção da pesquisa, pela compreensão das razões e

impulsos que levaram os sistemas de produção da região estudada a evoluírem na direção observada.

O conceito de mudança de paradigma tecnológico foi desenvolvido no trabalho seminal de Dosi (1982) sobre paradigmas e trajetórias tecnológicas, apontando os determinantes e a direção das mudanças técnicas. A fim de definir paradigma tecnológico, Dosi toma emprestado o conceito de paradigma científico de Thomas Kuhn (1997), considerando paradigma tecnológico como um modelo e um padrão de soluções de problemas tecnológicos, baseados em princípios selecionados das ciências naturais. Associada ao conceito de paradigma tecnológico, Dosi define trajetória tecnológica como um padrão das atividades normais 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.

Uma questão crucial que se coloca, então, é como surge um paradigma tecnológico. Dosi, ao examinar a sequência ciência-tecnologia-produção, formula a hipótese de que forças econômicas associadas a fatores institucionais e sociais operam como um dispositivo seletor, identificando entre as diversas direções possíveis de desenvolvimento especulativo permitidas pela ciência, aquelas em que se possa conceber alguma aplicação prática e esta ser comercializável. Uma vez que um paradigma é escolhido, a trajetória natural de progresso técnico estará definida. A fronteira tecnológica pode ser definida como o maior nível possível de ser alcançado numa dada trajetória e o progresso dentro dela é cumulativo. É muito difícil “saltar” de uma trajetória tecnológica para outra, pois na maioria das vezes volta-se ao princípio da nova trajetória, e também muito difícil comparar diferentes trajetórias.

Inicialmente a seleção de determinado paradigma (o início da sequência dinâmica do processo de mudança técnica) é realizada de forma tal que a ação dos mecanismos de mercado é fraca. As inovações radicais que estão na origem de um novo paradigma, dependem muito das novas oportunidades abertas pelos avanços científicos ou por fortes obstáculos encontrados no desenvolvimento de determinadas trajetórias tecnológicas (esse conceito sugere que as mudanças nas inovações tecnológicas possuem uma lógica própria). Essas trajetórias oferecem caminhos mais ou menos delimitados para a operação dos mecanismos de seleção. A ação das forças econômicas encontraria seu espaço delimitado pelas trajetórias possíveis. Há aí uma formulação onde se configura um espaço para atuação das forças econômicas, mas sobre um leque de opções de certa forma limitado pelas possibilidades tecnológicas. As trajetórias tecnológicas, nesse contexto, se confundiriam com a opção dos processos, não totalmente aleatórios, de busca e seleção, pois, em geral, os agentes

econômicos buscam determinadas estratégias definidas dentro dos contornos de um paradigma estável.

Um exemplo do processo de seleção na conformação de trajetórias tecnológicas pode ser encontrada na história de formação do paradigma mecânico-químico, atualmente dominante na agricultura a nível global. Para aumentar a produção e a produtividade, foram encaminhadas estratégias de expansão de fronteiras agrícolas, estabelecimento de monoculturas, utilização de variedades melhoradas, insumos químicos e mecanização (GOODMAN, SORJ e WILKINSON, 1980; ROMEIRO, 1998). Essas técnicas foram produzidas para conviver com o desequilíbrio, combatendo os fatores responsáveis pela diminuição da capacidade produtiva dos sistemas agrícolas, e não necessariamente eliminando suas causas.

Partindo dos países industrializados para os países do terceiro mundo, esta trajetória tecnológica se difundiu a nível global em consonância com o contexto institucional, particularmente com as trajetórias das indústrias de insumos e equipamentos agrícolas, dos institutos públicos de pesquisa agrícola, das organizações de assistência técnica aos agricultores, assim como com as medidas regulatórias e as oportunidades no comércio agrícola mundial. Destaca-se ainda, que esse ambiente passou a delinear quais os problemas a serem solucionados dentro do universo da agricultura, assim como o modo de solução desses problemas e definitivamente a questão dos riscos e impactos ambientais não se colocava com forte influência em nenhuma dessas duas instâncias.

Analisando a realidade agrária da Amazônia, Costa (2009b, p. 6) observa que o paradigma global se faz presente tanto na produção de bens controlados pelos agentes produtivos, como nas áreas governamentais responsáveis pela criação e gestão das políticas públicas, incluindo aquelas que condicionam a produção e 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 daqueles 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 o que o que ele chama “paradigma extrativista”, derivado de uma perspectiva particular do uso social dos recursos, que existia antes da introdução do paradigma mecânico-químico na região.

Assim, o paradigma mecânico-químico, como perspectiva de progresso e conjunto de procedimentos que pressupõem a transformação industrial da natureza originária no atendimento de necessidades reprodutivas da sociedade, se desenvolve na Amazônia por um antagonismo de fundo com o “paradigma extrativista”, que pressupõe a manutenção dessa mesma natureza originária. No interior de cada paradigma, confrontam-se trajetórias em concorrência materializada no embate entre as estruturas que geram os processos produtivos e suas instituições de suporte, em particular as que lhes são fonte de conhecimento e inovação.

Para visualizar as trajetórias que competem no espaço rural Amazônico, Costa (2009b, p. 7) propõe que sejam analisadas as estruturas produtivas que operam o conhecimento tecnológico e os espaços institucionais que o elaboram, de maneira a visualizar os resultados dessas trajetórias no julgamento da convergência com o ideário moderno de desenvolvimento sustentável. Para isto, o autor sugere que se aplique uma análise multivariada na evolução dos Valores Brutos da Produção de todos artigos obtidos nas séries estatísticas do IBGE em anos sequenciados (senso agropecuário e estatísticas anuais), agrupando os produtos por ordem de valor e pelos agentes responsáveis, para compreender as trajetórias das estruturas de produção que lhes deram origem.

Para verificar a interdependência ou concorrência entre os grupos de produtos e avaliar o significado no delineamento das trajetórias, é necessário observar as estruturas de correlações existentes entre os dados de produção dos grupos de produtos. A análise fatorial constitui ferramenta importante para esse tipo de tarefa, visando identificar estruturas subjacentes em um conjunto de variáveis observadas, para alcançar dois tipos de resultados: a sumarização e a redução de dados (COSTA, 2009b, p. 53).

Como meio de avaliar a importância das trajetórias tecnológicas na economia agrária regional, Costa (*idem*) 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. Se deve 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.

Partindo desses princípios o autor desenvolve uma metodologia de classificação dos arranjos produtivos configuradas no Censo Agropecuário de 1995-96, que expressa para todos estados da Região Norte as seguintes grandes trajetórias tecnológicas (COSTA, 2009b, p. 81):

I. No contexto de um Paradigma Agropecuário, em que as soluções tecnológicas supõem transformação profunda da natureza originária (agropecuária) se distinguem:

1) Trajetória Patronal T4: conduzida por agentes patronais, marcada por uso extensivo do solo, homogeneização da paisagem (alto impacto na biodiversidade) e formação intensa de dejetos: na forma de emissões poluentes (pela queima da floresta na formação de plantações e pastagens) e na forma de áreas degradadas.

2) Trajetória Patronal T6: conduzida por agentes patronais, marcada por uso extensivo do solo, com homogeneização da paisagem (alto impacto na biodiversidade) e baixa formação de dejetos/impacto poluidor.

3) Trajetória Patronal T5: conduzida por agentes patronais, marcada por uso intensivo do solo, com homogeneização da paisagem (alto impacto na biodiversidade) e baixa formação de dejetos/impacto poluidor.

4) Trajetória Camponês T3: conduzida por agentes camponeses, marcada por uso extensivo do solo, homogeneização da paisagem (alto impacto na biodiversidade) e formação intensa de dejetos: na forma de emissões poluentes (pela queima da floresta na formação de plantações e pastagens) e na forma de áreas degradadas.

5) Trajetória Camponês T1: conduzida por agentes camponeses, marcada por uso intensivo do solo, com sistemas diversificados (baixo impacto na biodiversidade) e baixa formação de dejetos/impacto poluidor.

II. No contexto de um Paradigma Extrativista, no qual as soluções tecnológicas supõem integridade da natureza originária, distinguimos:

6) Trajetória Camponês T2: conduzida por agentes camponeses, marcada por uso altamente diverso das disponibilidades naturais, com baixíssimo impacto na biodiversidade e baixíssima formação de dejetos/impacto poluidor.

4. 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.

A validade dos resultados da interpretação das imagens de satélite será dimensionada com a Matriz de Confusão e a estatística de Kappa, que fornecem índices para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e os mapas temáticos obtidos na classificação das imagens de satélite dos anos 1996 e 2006. Neste período, a evolução do uso da terra e cobertura do solo será analisada através de estatística para detecção das mudanças.

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 (2009b), no seu estudo sobre as trajetórias tecnológicas que determinam os sistema 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 com a integração dos vetores sociais nas imagens de satélite, serão utilizados o índice de

Kappa e a matriz de confusão. Em complemento, 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. Retomando a avaliação da primeira classificação das imagens de satélite, também será realizada uma avaliação da entropia da informação nos mapas temáticos produzidos exclusivamente com a interpretação da reflectância da imagem, para dimensionar a quantidade de informação produzida na leitura das imagens de satélite antes da integração com os vetores sociais.

À guisa de conclusão, todos os mapas temáticos produzidos nesta pesquisa serão comparados através da matriz de confusão, com os índices de exatidão global e de Kappa, e com o grau de entropia, para analisar a quantidade e a qualidade da informação dos métodos empregados na classificação das imagens de satélite estudadas, e avaliar o potencial da metodologia desenvolvida para integrar vetores sociais em imagens de satélite, visando contribuir com os estudos sobre mudanças no uso da terra e cobertura do solo em florestas tropicais.

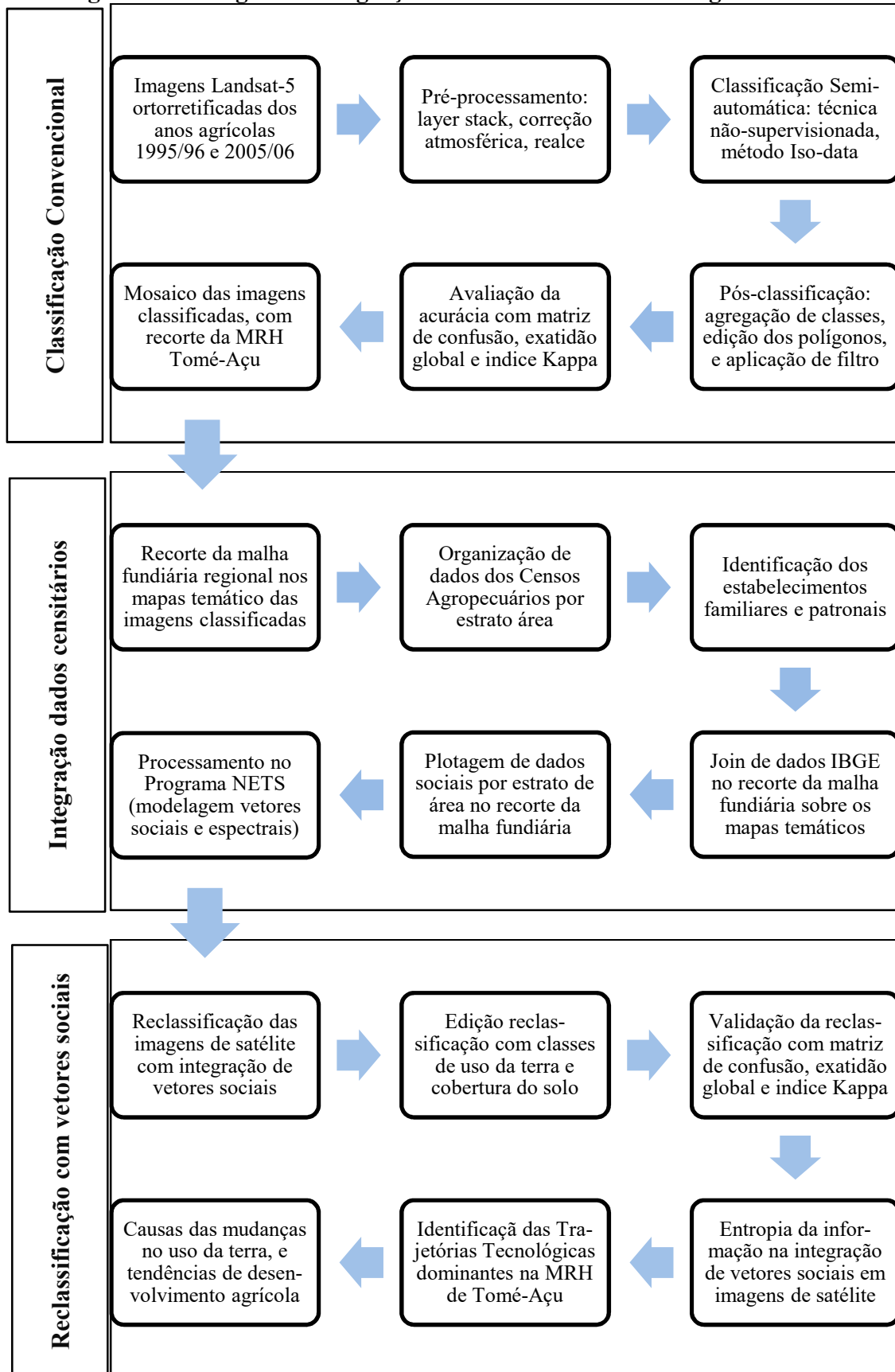
Um fluxograma sistêmico que resume as etapas de desenvolvimento da metodologia empregada nesta tese pode ser observado na figura 5, detalhando a operação e indicando as técnicas empregadas.

4.1. Classificação das imagens de satélite

Uma primeira medida para entender as mudanças no uso da terra e cobertura do solo que vêm ocorrendo na microrregião de Tomé-Açu, é buscar uma visão geral das alterações que se manifestam no perfil da vegetação nas duas últimas décadas, como consequência da evolução dos sistemas de produção agrícolas. Uma visão sinóptica dessas mudanças pode ser obtida através da leitura de imagens de satélite, as quais possibilitam localizar e dimensionar com muita aproximação da realidade, áreas desflorestadas e mudanças no uso da terra em grandes extensões, que sem o recurso do sensoriamento remoto não seria possível fazer.

Para atender os mesmos objetivos na área de pesquisa, utilizamos imagens produzidas pelo Programa LANDSAT (“Land Remote Sensing Satellite”), o primeiro programa de satélites desenvolvido para atuar diretamente em pesquisas sobre os recursos naturais na superfície da Terra. Com seu primeiro satélite lançado em 1972 e o último em 2013, se mantendo em atividade até hoje, o LANDSAT é o programa de coleta de imagens da superfície da terra mais duradouro que se tem notícia, tomando imagens do mesmo ponto do globo na frequência de 16 em 16 dias (NASA, 2013).

Figura 5. Fluxograma Integração de vetores sociais em imagens de satélite



Esses atributos dos satélites do Programa LANDSAT permitem a montagem de sequências de dados multitemporais por períodos de trinta anos ou mais, possibilitando o acompanhamento *pari passu* das mudanças no uso da terra, desde o desmatamento até a rebrotação e regeneração da floresta em áreas abandonadas. Estudos desta natureza despertam interesse pelo fato de que a vegetação secundária é habitat de um grande número de espécies, acumula significativa quantidade de biomassa nos primeiros 15 anos de formação e contribui para minimizar efeitos do desmatamento, tais como a perda da vegetação e nutrientes no solo (BROWN e LUGO, 1990) e outros efeitos de interesse desta pesquisa.

A leitura de imagens de satélites tem sido feita com grande frequência no Brasil através de técnicas de interpretação visual, na execução de projetos de mapeamento de grandes áreas. Este tipo de tratamento da imagem não permite utilizar técnicas de processamento digital das mais simples, como o realce de feições, às mais sofisticadas, como a classificação automática. Além disso, a elaboração de mapas digitais a partir dos resultados da interpretação visual é uma operação de certa forma subjetiva, complexa e cara, além de ser fonte adicional de erros (ALVES, MOREIRA, *et al.*, 1996, p. 71).

Neste trabalho utilizamos uma abordagem de classificação semi-automática, tendo por objetivo evitar a interferência do analista na interpretação visual de imagens, e maximizar a extração de informações de forma mais rápida e precisa, pela aplicação de regras de decisão computacional baseadas nos parâmetros estatísticos das imagens. Para atingir esses objetivos, realizou-se uma classificação híbrida, definindo as regras de decisão dos algoritmos de classificação automática com o conhecimento do analista sobre a vegetação em campo, para avaliar a confiabilidade da técnica de classificação não-supervisionada com o método Iso-data.

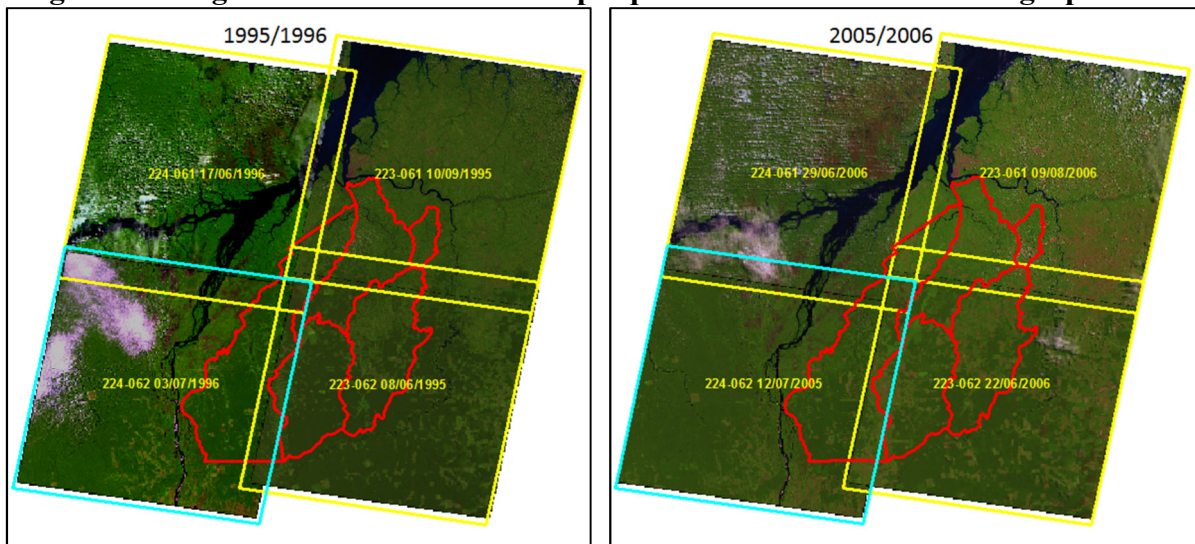
O procedimento da classificação não-supervisionada é altamente automatizado por computador, mas permite o analista especificar os parâmetros que o computador deve usar como diretrizes para descobrir padrões estatísticos dos dados. Em uma classificação não-supervisionada, o software divide automaticamente o intervalo de valores espectrais, contido em um arquivo de imagem, em classes. No caso em questão definiu-se em 16 o número de classes que o software deveria sistematizar pixels de características semelhantes. Os resultados classificados relatam as proporções dos valores espectrais na imagem e, portanto, podem indicar a prevalência das coberturas de solo específicas.

Para elaborar os mapas de vegetação e mudanças no uso da terra exigidas nesta pesquisa, foram utilizadas oito imagens óticas do satélite Landsat-5, obtidas com o sensor Thematic Mapper nas orbitas-ponto 223-061, 223-062, 224-061 e 224-062, respectivamente

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/>) com todas bandas, previamente georreferenciadas e ortoretificadas com excelente acurácia e precisão. Procurou-se a melhor coincidência possível entre a data da obtenção das imagens e o ano agrícola na microrregião de Tomé-Açu, e alcançar uma melhor aproximação com os períodos dos Censos Agropecuários do IBGE de 1995/1996 e 2006. Como se pode observar na figura 6, obteve-se uma excelente visualização da área de interesse da pesquisa, com uma cobertura de nuvens menor que 1% da área total nos períodos de seleção.

Figura 6. Imagens Landsat-5 da área de pesquisa nas datas dos Censos Agropecuários



Fonte: Elaboração do autor.

O procedimento de classificação das imagens digitais utilizadas neste trabalho foi executado em três etapas, a saber: pré-processamento, classificação, e pós-classificação.

O pré-processamento das imagens envolveu diversos procedimentos, começando pela composição das bandas na seqüência 1, 2, 3, 4, 5 e 7 através da função “Composite Bands”, na caixa de funções “ArcToolbox” do software ArcGIS 9.3.1 e, posteriormente salvo o arquivo, no formato TIF.

Após o empilhamento das bandas, foi feita a correção radiográfica das imagens usando os valores de ganho e “offset” para cada banda (CHANDER, MARKHAM e BARSÍ, 2007). Para conversão dos valores digitais em valores físicos de reflectância foi aplicada correção atmosférica utilizando o módulo FLAASH (Atmospheric Correction Model Input Parameters)

do software ENVI 4.5 (Environmental for Visualizing Images), que transforma valores de radiância para reflectância de superfície.

Posteriormente, aplicou-se o Modelo de Mistura Espectral, que simula o processo físico de medição da mistura da radiação para cada elemento contido no IFOV (Instantaneous Field of View) a partir de um modelo linear de mistura. Os dados de reflectância de cada pixel das imagens foram decompostos nas frações Nuvem, Solo, Vegetação Verde e Vegetação Não Fotossinteticamente Ativa, a partir da análise de mistura espectral (GILLESPIE, 1992). O objetivo deste processamento foi realçar as feições de alteração do uso do solo, já que as imagens LANDSAT possuem resolução espacial média, o que dificulta a identificação dessas feições.

O segundo passo do processo foi a realização dos procedimentos de classificação em cada uma das imagens selecionadas, utilizando o módulo Focus do software PCI Geomatics, com a técnica automática não-supervisionada e o método Ioseg (ISODATA), definido em 16 classes e aplicado nas bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do Landsat-5.

Preparando o próximo passo considerando que o foco temático da pesquisa são as mudanças de uso da terra e cobertura do solo, as classes de interesse foram definidas tendo como alvo principal áreas que já sofreram a ação antrópica, e se encontram em diversas fases de uso ou sucessão secundária, como se descreve a seguir:

1. *Agropecuária*: mosaico de áreas em produção agropecuária, representadas pela associação de diversas modalidades de uso da terra, onde 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 natural, esta conhecida popularmente como “capoeirinha” (IBGE, 2012b, 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 propriamente dita” (IBGE, 2012b, p. 151), caracterizadas pela vegetação mais

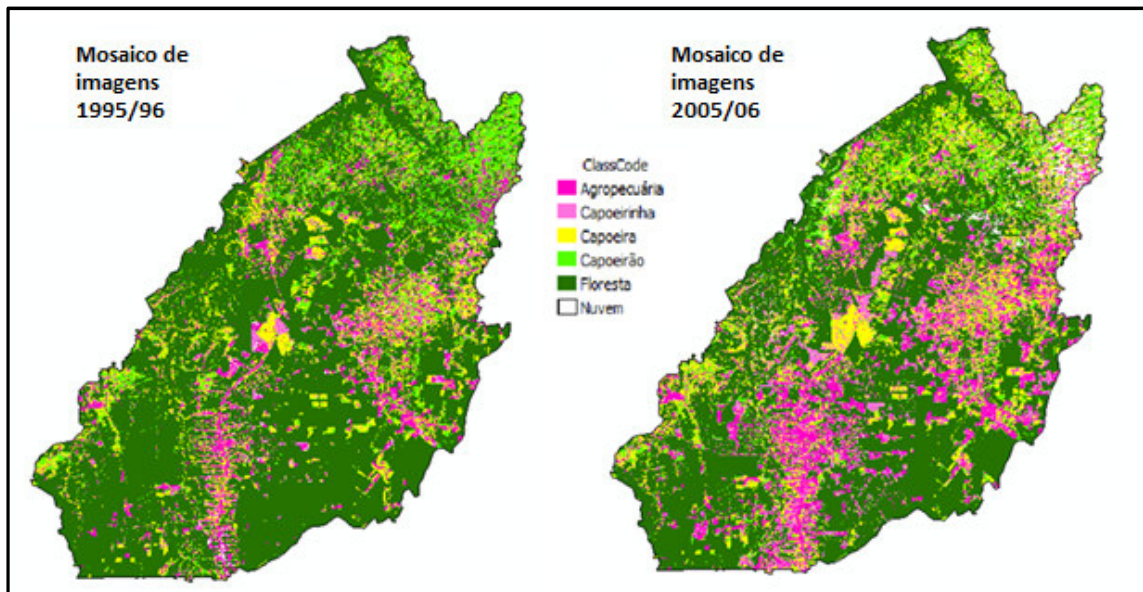
desenvolvida dominada por plantas lenhosas de médio porte, que atingem a altura de até 3 metros, mas bastante espaçadas entre si, e promovem um significativo sombreamento.

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 natural, conhecida como “capoeirão” (IBGE, 2012b, 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. Nas imagens do ano agrícola 1995/1996, as áreas classificadas como não antropizadas foram adicionadas ao shapefile recortado do PRODES.
6. *Nuvem*: áreas cobertas com nuvens ou sombras de nuvens

O terceiro passo no processo de classificação das imagens foi a realização da pós-classificação, redistribuindo as 16 classes geradas automaticamente de maneira agregada às 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 nos 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 1995-1996 e 2005-2006. Esses procedimentos permitiram uma primeira visão das mudanças no uso da terra na área de estudo no período em foco, como se pode observar na figura 7.

Figura 7. Mudanças no Uso da Terra na Microrregião de Tomé Açu (1995-2006)



Fonte: processamento do autor.

O processo de classificação automática está sujeito a erros, devido à qualidade dos dados usados e dos métodos empregados. Por isso, após a terceira etapa do processo de classificação foi realizada com uma avaliação da acurácia do mapeamento, procurando quantificar os erros, valorizando assim, a qualidade da classificação, justificando a confiabilidade e praticidade do método.

Como não podemos verificar a verdade de campo em datas pretéritas, empregamos o processo de tabulação cruzada comparando o resultado da classificação das imagens deste trabalho com o mapa do desmatamento da região elaborado nas datas mais próximas pelo Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – PRODES, e a interpretação visual da composição colorida das imagens. Tal comparação permite verificar o nível de concordância da nossa classificação com um mapa de referência elaborado pelo INPE para o monitoramento do desmatamento da Amazônia, um mapa de pixels com reconhecida qualidade no meio acadêmico e na comunidade de sensoriamento remoto.

A avaliação de precisão da classificação foi realizada com o Software PCI, distribuindo aleatoriamente 100 pontos nos mosaicos das imagens classificadas, e comparando os resultados da classificação nesses pontos com os pontos correspondentes na composição colorida (R5-G4-B3) das imagens originais, contando com o apoio dos mapas de desmatamento do PRODES e a experiência do analista na interpretação visual. Com a checagem dos pontos nos mosaicos de classificação das imagens nos anos inicial e final, foram calculadas as matrizes de confusão da classificação nos mosaicos, indicando o

percentual de pixels que foram mapeados de forma correta, na avaliação da concordância entre os mapas temáticos da classificação e as imagens originais (tabelas 7 e 8).

Tabela 7. Matriz de confusão para a classificação das imagens LANDSAT que compõem o mosaico da microrregião de Tomé-Açu no ano agrícola 1995/1996

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

Exatidão global = 82%; Índice Kappa = 0.754.

Na matriz de confusão calculada para a classificação das imagens que compõem o mosaico do ano agrícola 1995/1996, os componentes da diagonal principal da tabela 2 (em negrito) representam os pixels que foram classificados corretamente. Para a classe Floresta, por exemplo, 24 pixels foram classificados de maneira correta. No entanto, observando-se os dados de referência da coluna Floresta, verifica-se que 4 pixels foram classificados equivocadamente nesta classe, quando na verdade 2 pertencem à classe Regeneração em estágio avançado, 1 pertence à classe agropecuária e outro à classe Regeneração em estágio intermediário. Portanto, dos 28 pixels classificados como Floresta, 24 pixels (87%) foram bem classificados de acordo com os dados de referência, enquanto que 4 pixels foram mal classificados (14%). Este tipo de erro é conhecido como erro de omissão, pelo fato de que se deixou de mapear corretamente 4 pixels da classe Floresta.

Tabela 8. Matriz de confusão para a classificação das imagens LANDSAT que compõem o mosaico da microrregião de Tomé-Açu no ano agrícola 2005/2006

<i>Dados de Referência</i>								Acurácia usuário	Erro de comissão
Classificação	Floresta	Agropecuária	Regen. inicial	Regen. interm.	Regen. avanç.	Nuvem	Totais		
Floresta	20	2	0	0	2	0	24	83%	17%
Agropecuária	1	23	0	1	0	0	25	92%	8%
Regeneração inicial	0	1	8	0	0	0	9	89%	11%
Regeneração intermediária	1	1	0	17	0	0	19	89%	11%
Regeneração avançada	1	0	1	1	19	0	22	86%	14%
Nuvem	0	0	0	0	0	1	1	100,0%	0,0%
Totais	23	27	9	19	21	1	100		
Acurácia do produtor	87%	85%	89%	89%	91%	100%			
Erro de omissão	13%	15%	11%	11%	9%	0,0%			

Exatidão global = 88%; Índice Kappa = 0.841.

Por sua vez, na matriz de confusão da classificação do mosaico de imagens do ano agrícola 2005/2006 (tabela 8) verifica-se que a 23 pixels foram classificados de maneira correta na classe agropecuária, indicando uma acurácia do produtor de 87%, enquanto 4 pixels foram classificados de maneira equivocada, sendo 2 na classe floresta, 1 na classe Regeneração em estágio inicial e outro na classe Regeneração em estágio intermediário, indicando um erro de omissão de 15%. Por outro lado, se observarmos na linha da classe agropecuária, verificamos que 2 pixels foram classificados de maneira errada, 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 existiam de fato nos pixels selecionados.

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, em uma avaliação geral, importa destacar aqui que quantificação dos erros não condena os resultados da classificação nos dois mosaicos, já que os resultados da avaliação de acurácia apontam uma exatidão global de 82% e um índice de Kappa de 0,754 para a classificação no mosaico de 1995/96 (tabela 7), e uma exatidão global de 88% e um índice de Kappa de 0,841 para a classificação no mosaico de 2005/2006 (tabela 8), indicando um resultado muito bom no primeiro caso e excelente no segundo, para a classificação automática realizada.

Por outro lado, no que diz respeito à acurácia do produtor e do usuário para as classes individuais, todos os índices de precisão se apresentam acima de 80% na classificação das imagens do ano agrícola 2005/2006, e acima de 69% nas imagens do ano agrícola 1995/1996.

Os menores índices de precisão da classificação ocorreram nas classes de regeneração da vegetação no ano agrícola inicial, provavelmente porque os shapefiles do PRODES estão disponíveis somente a partir de 1997, o que obrigou à edição da classe floresta para ajustar a máscara utilizada na classificação das imagens do ano agrícola 1995/1996. Por fim, como as classes de regeneração da vegetação não existem no PRODES, isto levou a dependência da interpretação visual do analista, mais susceptível ao erro sem o suporte de referência do INPE.

Contudo, a estatística de contingência aponta bons resultados para a técnica de classificação automática utilizada neste trabalho, o que nos permite aferir a exatidão do processo de classificação e corroborar a confiabilidade do método. Esta conclusão, por sua vez, nos autoriza uma primeira avaliação das alterações que ocorreram na cobertura vegetal na área de estudo entre os anos 1995/96 e 2005/06, perscrutando as principais mudanças no uso da terra nas duas últimas décadas, e como elas se refletem na reprodução das áreas desmatadas, nas áreas em produção, e nas áreas abandonadas sob o processo de regeneração natural.

4.2. Estatística de detecção de mudança

Para alcançar o objetivo almejado, 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, para efetuar uma comparação entre o perfil da vegetação no estágio inicial e no estágio final do período estudado, a fim de mensurar as alterações no uso da terra no período em questão.

Este procedimento foi realizado como o software ENVI (Environment for Visualizing Images) versão 4.2, através da função *Estatística de Detecção de Mudança*, a qual é usada para estruturar planilhas detalhadas que descrevem as diferenças entre duas imagens classificadas numa mesma região em períodos diferentes. Essa estatística difere significativamente da simples subtração entre duas imagens, já que o relatório estatístico apresenta valores da imagem de diferença classe por classe. Concentrando-se primeiramente na análise do estado inicial da imagem classificada, a análise identifica as classes dentro das quais os seus respectivos pixels mudaram para o estado final. As mudanças podem ser reportadas pela contagem de pixels, percentagens ou áreas (RSI, 2004, p. 492).

Para os objetivos deste estudo, as planilhas foram elaboradas pela contagem de pixels e, depois, convertidas em hectares, visando o dimensionamento das alterações que ocorreram

do período inicial (1995/96) para o período final (2005/06), para facilitar uma visão sinóptica das mudanças no uso da terra nas últimas duas décadas na microrregião de Tomé-Açu.

Antes de apresentar os resultados, é necessário esclarecer que as tabelas de detecção de mudanças geradas pelo software ENVI apresentam as classes do estado inicial nas colunas, e as classes do estado final nas linhas. Para cada classe do estado inicial (ou seja, para cada coluna), a tabela indica como os pixels foram classificados no estado final de imagem. Assim, a linha *Total Classe Inicial* indica o número total de pixels de cada classe no estado inicial, e a coluna *Total Classe Final* indica o número total de pixels em cada classe no estado Final. Como o pixel da imagem LANDSAT-5 tem um tamanho de 30 x 30 m, um pixel corresponde a uma área de 900 m² ou 0,09 hectares, é possível calcular a área correspondente em hectares para um determinado número de pixels.

Por exemplo, na tabela de detecção de mudanças na vegetação da área de estudo no período estudado (tabela 9), a classe Floresta tinha 1.593.439 ha no estado inicial (1995/1996), e terminou o período com 1.275.573 ha no estado final (2005/2006), ou seja, com 80% da área inicial. A coluna Floresta explica como a diminuição da área de floresta ocorreu no período estudado, pela leitura das linhas no estágio final (lado esquerdo da tabela), indicando que 1.265.116 ha se mantiveram como floresta até o final do período, enquanto a área restante foi convertida em outras classes, a saber, 77.106 ha em Agropecuária, 95.772 ha em capoeirinha, 79.314 ha em capoeira, 67.127 em capoeirão⁵, além dos 9.002 ha que se apresentaram encobertos por nuvens no estado final.

A coluna *Total Classe Final* resulta da somatória das áreas das classes no estado final, ou seja, da somatória das áreas que se mantiveram no estado inicial, somadas com as áreas que foram convertidas no período estudado. Assim, a coluna *Total Classe Final* registra uma área total de 1.275.573 ha de floresta no final do período analisado, área esta formada pela floresta que se manteve como tal desde o estado inicial até o estado final, somada às áreas que se converteram em florestas, a partir das classes agropecuárias (1.316 ha), capoeirinha (916 ha), capoeira (4.018 ha) e capoeirão (3.989 ha), além dos 219 ha que ficaram livres de nuvens, revelando florestas no estado final.

Tabela 9. Estatística de detecção de mudanças no uso da terra entre os anos agrícolas 1995-1996 e 2005-2006

⁵ A partir daqui, para facilitar a redação, em alguns momentos podemos chamar de *capoeirinhas* as áreas de regeneração em estágio inicial, *capoeiras* as áreas de regeneração em estágio intermediário e *capoeirões* as áreas de regeneração em estágio avançado.

Área em hectares		Estágio Inicial (ano agrícola 1995-1996)						
Estágio final (ano agrícola 2005-2006)	Classes	Floresta	Agropecuária	Regen. inicial	Regen. interm.	Regener. avançada	Nuvem	Total Classe Final
	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 estágio inicial	95.772	46.651	21.303	45.536	26.362	6.912	242.536
	Regeneração est. intermediário	79.314	31.247	24.069	129.489	78.706	4.901	347.726
	Regeneração est. 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	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	

Fonte: Elaboração do autor.

Com o mesmo procedimento de leitura pode-se observar interessantes mudanças que ocorreram na área ocupada com a agropecuária, a qual aumenta de 176.341 ha no estado inicial para 250.374 ha no estado final, representando um incremento de 42% na área ocupada com a classe, um indicador de significativo crescimento da agropecuária da microrregião. Pela leitura de linha da classe agropecuária, pode-se observar que o crescimento da área ocupada com a agropecuária ocorre com a manutenção de 81.404 ha na classe em apreço por todo o período, e a conversão para atividades agropecuárias, de 77.106 ha de floresta, 23.205 ha de capoeirinha, 40.071 ha de capoeira e 19.282 ha de capoeirão.

A conversão das capoeiras para a agropecuária indica um significativo reaproveitamento das áreas abandonadas com atividades produtivas. Por outro lado, tal movimento indica uma importante mudança no perfil da vegetação secundária tradicionalmente utilizada para a recuperação do solo na agricultura de subsistência, já que a área coberta com capoeiras jovens (capoeirinha e capoeira) aumenta em 73%, ao passo que a área coberta com vegetação secundária avançada (capoeirão) diminui em 10%.

A penúltima linha da tabela, denominada *Mudança Classes*, indica a área total do estado inicial que mudou de classe no período estudado. Por exemplo, 328.323 ha de floresta do estado inicial mudaram para outras classes no estado final. Para calcular esta mudança, subtrai-se a área total da classe inicial pela área de floresta que se manteve no estado final. Por sua vez, a última linha da tabela, rotulada como *Diferença na Imagem*, retrata a diferença entre a área total classificada na mesma classe nas duas imagens, calculada pela subtração do total da classe no estado inicial pelo total da classe no estado final. Uma diferença positiva indica que a classe aumentou sua área no período estudado, e uma diferença negativa indica que a classe diminuiu sua área. Por exemplo, na área estudada a área total da classe floresta diminuiu em 317.866 ha, ao passo que a área com agropecuária aumentou 74.033 ha.

Da leitura realizada na estatística de detecção de mudanças nas imagens Landsat da MRH de Tomé-Açu para o período de 1996 a 2006, podemos extrair as seguintes conclusões gerais:

1. No período analisado verifica-se uma perda bruta 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), enquanto 9.002 ha encontravam-se cobertos por nuvens no estado final. Isto não significa que toda área de floresta suprimida tenha sido submetida ao corte raso, já que é possível a conversão direta da floresta para o capoeirão, ou mesmo para a capoeira, pela degradação da floresta através da extração seletiva de madeira e outros produtos florestais, sem que seja necessário o desmatamento e a queima. De qualquer forma, esta supressão da floresta significa um incremento de 43% na área antropizada em apenas 10 anos de estudo, o que pode ser considerado como ponto de partida de 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 na quebra do ciclo de regeneração da vegetação secundária.
3. No que diz respeito à regeneração da vegetação ao 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, 4.934 ha de capoeiras

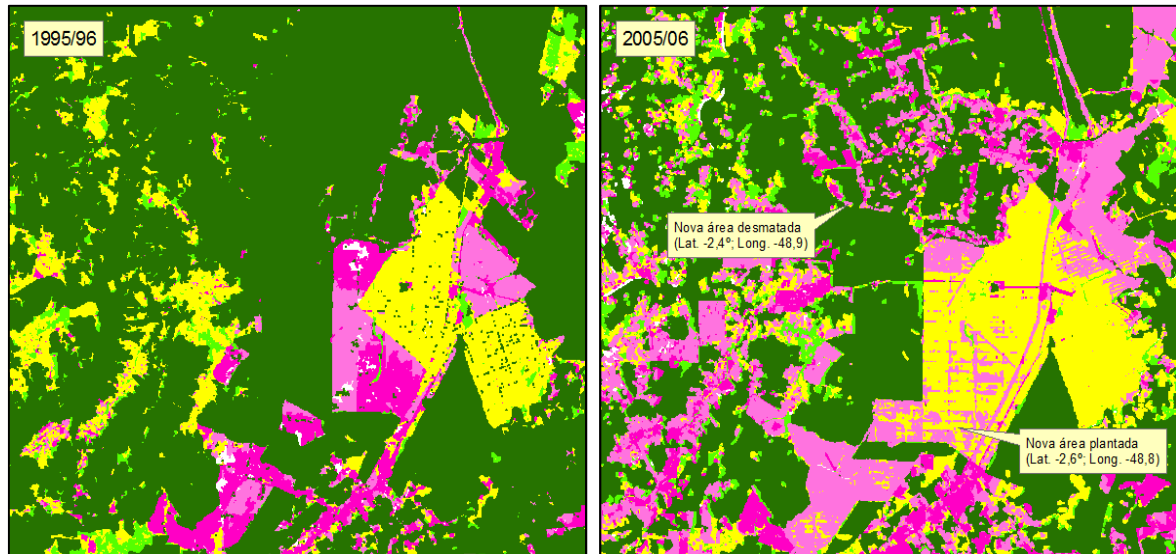
jovens (capoeiras e capoeirinhas), e 3.989 ha de capoeiras maduras (capoeirão). É claro que a regeneração de 10.239 ha de florestas secundárias é absolutamente insuficiente para compensar a perda de 328.322 ha de florestas. Contudo, é uma área significativa para um evento raro, que deveria ser estudado para entender como recuperar a biomassa de uma área desflorestada na amazônica, utilizando o potencial de regeneração espontâneo como força principal no desenvolvimento de florestas secundárias.

4. As mudanças observadas na dinâmica das capoeiras na área de estudo estimulam as pesquisas nesta direção, já que a somatória das áreas de capoeiras convertidas para a agropecuária totaliza 82.556 ha, área esta maior que a área de floresta convertida para atividades produtivas (77.106 ha), o que pode indicar um bloqueio para o crescimento da vegetação secundária. Deve-se destacar que a dinâmica da produção agropecuária resulta no incremento de 214% na área coberta com capoeirinhas e de 32% na área coberta com capoeiras, ao passo que a área coberta com capoeirões sofre uma queda de 9,4%. Como as capoeiras jovens são rapidamente reabsorvidas para a produção, o dado reforça a hipótese de bloqueio da vegetação secundária pelo aumento exacerbado da área ocupada com a produção agropecuária.

Como se pôde ver, a classificação das imagens de satélite acompanhada da estatística de detecção de mudanças é muito útil no estudo da evolução no uso da terra e cobertura do solo que ocorreram na área de pesquisa, dimensionando o desflorestamento e as áreas convertidas para a produção agropecuária no período enfocado, indicando as mudanças que ocorrem na vegetação, e revelando indícios dos processos sociais que levaram a essas mudanças. Em complemento, essas mudanças podem ser localizadas com precisão e melhor avaliadas na comparação das imagens no estágio inicial e final do período estudado (ver figura 8), o que facilita o planejamento de ações de fomento agrícola e de proteção ambiental, assim com outras políticas públicas.

Entretanto, como a resolução espacial das imagens LANDSAT-5 só permite identificar objetos com dimensão igual ou superior a 30 x 30 metros, não é possível identificar as culturas agrícolas nem os sistemas de produção que as impulsionam. Por outro lado, como a classificação das imagens se baseia exclusivamente nos atributos físicos das imagens de satélite, não oferece qualquer explicação sobre os atores e os processos decisórios que definem as ações econômicas e, menos ainda, as forças motrizes do desmatamento e das mudanças no uso da terra, já que estas têm fundamento humano e, portanto, causas sociais.

Figura 8. Mudanças no uso da terra entre os anos agrícolas 1995/96-2005/06



Fonte: Elaboração do autor.

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.

Existe atualmente na Amazônia uma grande diversidade de agentes que causam mudanças no uso da terra e cobertura do solo, incluindo grandes produtores, criadores de gado, proprietários em pequena escala, extrativistas, agricultores familiares, posseiros e colonos em assentamentos espontâneos ou induzidos pelo governo. Por sua vez, existe uma relação dinâmica entre estes agentes e comportamentos diferenciados em relação às políticas públicas. Os pecuaristas podem expandir suas criações em áreas anteriormente ocupadas por posseiros. Os programas de governo podem confiscar terras de grandes fazendeiros e entregá-las aos posseiros. Assim, as forças de mercado e políticas públicas podem influenciar as mudanças no uso da terra na Amazônia (PERZ e SKOLE, 2003).

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.

4.3. A malha fundiária dos estabelecimentos rurais

Para solucionar a lacuna de indefinição dos agentes envolvidos nas mudanças de uso da terra, utilizou-se a base de dados fundiários desenvolvida pela Universidade Federal do Pará em parceria com o Ministério Público do Estado do Pará, através do Sistema Geográfico de Informações Fundiárias (SIG Fundiário). Este sistema foi desenvolvido na Universidade Federal do Pará no *Laboratório de Integração de Informações Agrárias, Econômicas e Ambientais para Análise Dinâmica da Amazônia*, que tem por objetivo implementar um banco de dados fundiários associado a um Sistema de Informação Geográficas, para subsidiar ações de ordenamento territorial, proteção ambiental, e outras pesquisas na Universidade.

A primeira região mapeada pelo SIG Fundiário foi a microrregião de Tomé-Açu, em projeto executado na primeira metade da década de 2010 (UFPA, 2016) para atender uma demanda do Ministério Público do Estado do Pará, interessado em equacionar conflitos fundiários ocasionados pela dinâmica de compra e venda e 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 foram integrados os imóveis com georreferenciamento certificado pelo Sistema de Gerenciamento Fundiário do INCRA⁶, e os imóveis georreferenciados pelo Programa Terra Legal⁷. Para cobrir o espaço ocupado por estabelecimentos rurais que não possuem documentos, utilizamos 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 fundiário consistente da situação fundiária na microrregião, que serve como moldura para visualizar as ações antrópicas e identificar os atores responsáveis, suas ocupações e propriedades rurais.

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

⁶ O Sistema de Gestão Fundiária – SIGEF foi desenvolvido pelo INCRA/MDA, para a gestão de informações fundiárias do meio rural brasileiro. O sistema é aberto ao público através da Internet, onde são efetuadas a recepção e validação das informações georreferenciadas de limites de imóveis rurais (INCRA, 2013).

⁷ O Programa Terra Legal foi criado em 2009 pelo governo federal, com o objetivo de promover a regularização fundiária de ocupações em terras públicas na Amazônia Legal. Até dezembro de 2018, o Programa Terra Legal emitiu aproximadamente 40 mil documentos, beneficiando 1,5 milhão de pessoas na região (INCRA, 2019).

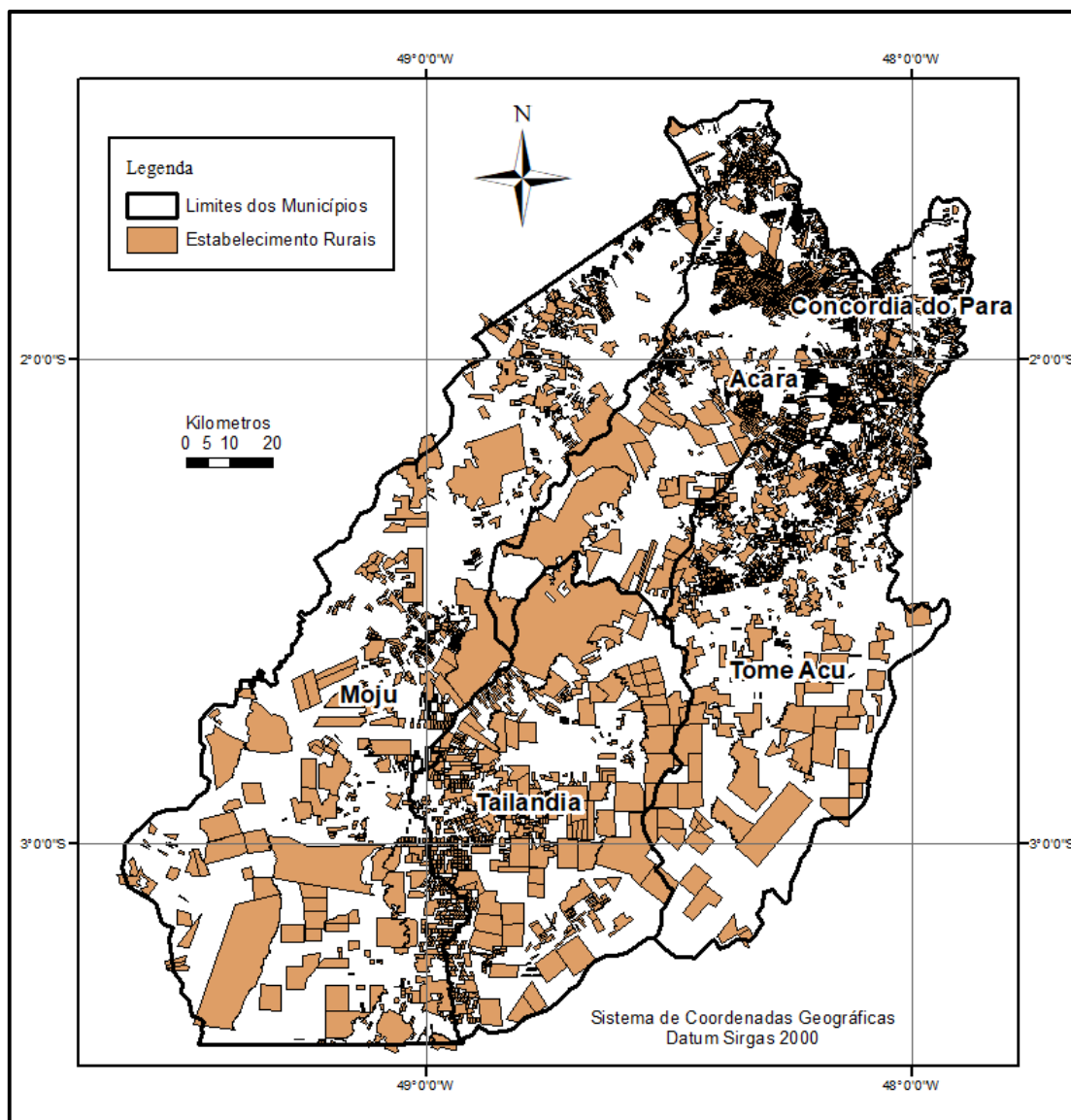
Amazônia Legal do IBGE. As sobreposições e duplicações entre as camadas foram eliminadas, mantendo-se os polígonos de maior precisão e eliminando os outros, obedecendo a seguinte ordem de precisão: 1º) certificado pelo Sistema de Gestão Fundiária do INCRA; 2º) georreferenciado pelo programa Terra Legal; 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 8), 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.

Como se pode observar na figura 9, 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 das informações cartográficas não estarem disponíveis em todos os registros de imóveis nos cartórios, o que dificulta incorporar à base de dados a dinâmica de transferência e incorporação de novas terras à estrutura fundiária microrregional.

Figura 9. Malha fundiária da Microrregião de Tomé-Açu



Fonte: INCRA, ITERPA, Terra Legal, SIG Fundiário e CAR-Pará (elaboração do autor).

Contudo, isto não impede que os contornos da malha fundiária projetada sejam utilizados como molde para recortar as os mapas temáticos das imagens classificadas, abrindo caminho para identificar os atores responsáveis pelas mudanças no uso da terra. Apesar de não se dispor da informação datada de evolução fundiária no período estudado, é perfeitamente possível, e aceitável do ponto de vista metodológico, correlacionar os eventos de antropismo cicatrizados nas imagens de satélite, com a cartografia decorrente da organização do espaço projetada na malha fundiária.

Apesar da malha fundiária projetada não revelar a evolução da estrutura fundiária nas décadas de 1990 e 2000 e não cobrir toda 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. Ademais, com se pode observar na tabela 10, a amostra é bem distribuída em todos os estratos de área do Censo em questão, exceto nas áreas com menos de 1 hectare.

Tabela 10. Correspondência entre os polígonos da malha fundiária projetada e os estratos de área dos estabelecimentos rurais no Censo Agropecuário de 1995/1996

Censo Agropecuário de 1995/1996			Shapefile Malha Fundiária]			
Grupos de Área Total	Nº	Área (ha)	Nº lotes	%/Censo	Área (ha)	%
Menos de 1 ha	149	76		0,0%		0,0%
1 a menos de 2 ha	230	313	37	16,1%	54	17,2%
2 a menos de 5 ha	970	3.108	102	10,5%	374	12,0%
5 a menos de 10 ha	1.186	7.813	276	23,3%	2.058	26,3%
10 a menos de 20 ha	1.971	25.901	1.188	60,3%	18.877	72,9%
20 a menos de 50 ha	7.437	201.887	2.913	39,2%	92.923	46,0%
50 a menos de 100 ha	2.560	149.537	1.375	53,7%	93.662	62,6%
100 a menos de 200 ha	827	94.849	234	28,3%	30.990	32,7%
200 a menos de 500 ha	231	67.757	188	81,4%	63.122	93,2%
500 a menos de 1.000 ha	72	49.639	82	113,9%	60.257	121,4%
1.000 a menos de 2.000 ha	50	66.932	77	154,0%	109.868	164,1%
2.000 a menos de 5.000 ha	60	180.645	98	163,3%	282.948	156,6%
5.000 a menos de 10.000 ha	13	79.619	5	38,5%	34.509	43,3%
10.000 a menos de 100.000	12	246.367	7	58,3%	217.037	88,1%
Total	15.768	1.174.443	6.582	41,7%	1.006.679	85,7%

Fonte: Censo Agropecuário de 1995-1996 (IBGE, 1998).

Na comparação com o Censo Agropecuário de 2006 também se verifica que a malha fundiária projetada da microrregião de Tomé-Açu é uma amostra representativa da estrutura fundiária real, correspondendo a 59,3% dos estabelecimentos rurais registrados no Censo e uma área 34,8% maior que a área total encontrada na estatística (tabela 11). Considerando o tamanho das áreas e número dos estabelecimentos rurais, a malha fundiária projetada é uma amostra bastante representativa da estrutura fundiária indicada nas estatísticas agropecuárias, apresentando uma inferência estatística com menos de 2% de margem de erro e um nível de confiabilidade de 95%, o que permite generalizar os resultados obtidos para toda a população dos estabelecimentos nos Censos Agropecuários em foco.

Tabela 11. Correspondência entre os polígonos da malha fundiária projetada e os estratos de área dos estabelecimentos rurais no Censo Agropecuário de 2006

Censo Agropecuário de 2006			Shapefile Malha Fundiária			
Grupos de Área Total	Nº lotes	Área (ha)	Nº lotes	%/Censo	Área (ha)	% Censo
Menos de 1 ha	415	131		0,0%		0,0%
De 1 a menos de 2 ha	527	669	37	7,0%	54	8,1%
De 2 a menos de 3 ha	385	845	31	8,1%	77	9,1%
De 3 a menos de 4 ha	447	1.384	26	5,8%	89	6,4%
De 4 a menos de 5 ha	222	914	45	20,3%	208	22,7%
De 5 a menos de 10 ha	1.080	6.752	276	25,6%	2.058	30,5%
De 10 a menos de 20 ha	1.559	19.889	1.188	76,2%	18.877	94,9%
De 20 a menos de 50 ha	4.048	108.260	2.913	72,0%	92.923	85,8%
De 50 a menos de 100 ha	1.578	96.266	1.375	87,1%	93.662	97,3%
De 100 a menos de 200 ha	468	57.531	234	50,0%	30.990	53,9%
De 200 a menos de 500 ha	178	49.345	188	105,6%	63.122	127,9%
De 500 a menos de 1000 ha	85	57.430	82	96,5%	60.257	104,9%
De 1000 a menos de 2500 ha	62	94.449	122	196,8%	210.560	222,9%
De 2500 ha e mais	49	252.771	65	132,7%	433.801	171,6%
Total	11.103	746.636	6.582	59,3%	1.006.679	134,8%

Fonte: Elaboração própria, com dados do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2009).

Quanto ao fato da área totalizada na malha fundiária projetada ser maior que a área total levantada no Censo Agropecuário de 2006, a exemplo do que já vinha ocorrendo em menor proporção no Censo de 1995/1996 nos maiores estratos de área, deve-se à subnotação nas estatísticas agropecuárias. Considerando que a malha fundiária foi projetada a partir de uma varredura nos documentos fundiários oficiais, e complementada com as informações declaradas pelos ocupantes de posses sem documentos no Cadastro Ambiental Rural, é provável que retrate com maior fidelidade a situação fundiária da microrregião de Tomé-Açu.

Por outro lado, como indica Costa (2017, p. 53), a subnotação é patente quando comparamos os dados definitivos dos Censos Agropecuários de 2006 e de 1995/1996,

verificando que no período houve um acréscimo de apenas 1.047 estabelecimentos rurais na Região Norte, e uma variação negativa de 2,1 milhões de hectares na área total, sugerindo um arrefecimento na dinâmica de ocupação de terras na região. Esta diminuição na área ocupada com estabelecimentos rurais na região Norte não aparece na versão preliminar do Censo de 2006, a qual registra uma área total de 66,3 milhões de hectares, que representaria um incremento de 12,6 milhões de hectares em relação ao Censo anterior.

O IBGE esclarece a diferença entre a versão preliminar e a definitiva do Censo de 2006, informando que foram excluídos do resultado definitivo 30.022 registros indevidos de estabelecimentos agropecuários que estavam localizados em Terras Indígenas e Unidades de Conservação, que correspondiam a 10.974.133 hectares (IBGE, 2009, p. 100-101). Assim, como observa Costa (2017, p. 54), uma parcela concreta da realidade fundiária da região Norte foi excluída do Censo Agropecuário de 2006 por uma decisão tecnocrática, dificultando sua leitura e compreensão.

Analisando o desmatamento da região Norte calculado pelo PRODES entre os Censos de 1995/1996 e 2006, Costa fundamenta sua observação indicando que o INPE registra um desmatamento de 12 milhões de hectares que não é compatível com a contabilidade fundiária aferida pelos Censos. Segundo Costa há um erro de 5,9 milhões de hectares que corresponde a 11% do acervo fundiário total, como informado pelo IBGE no resultado definitivo do Censo de 2006. Daí a conclusão que os resultados apresentados na versão definitiva do Censo Agropecuário de 2006 não correspondem ao panorama fundiário da região Norte, evidenciando-se uma subnotação muito elevada (COSTA, 2017, p. 53-55).

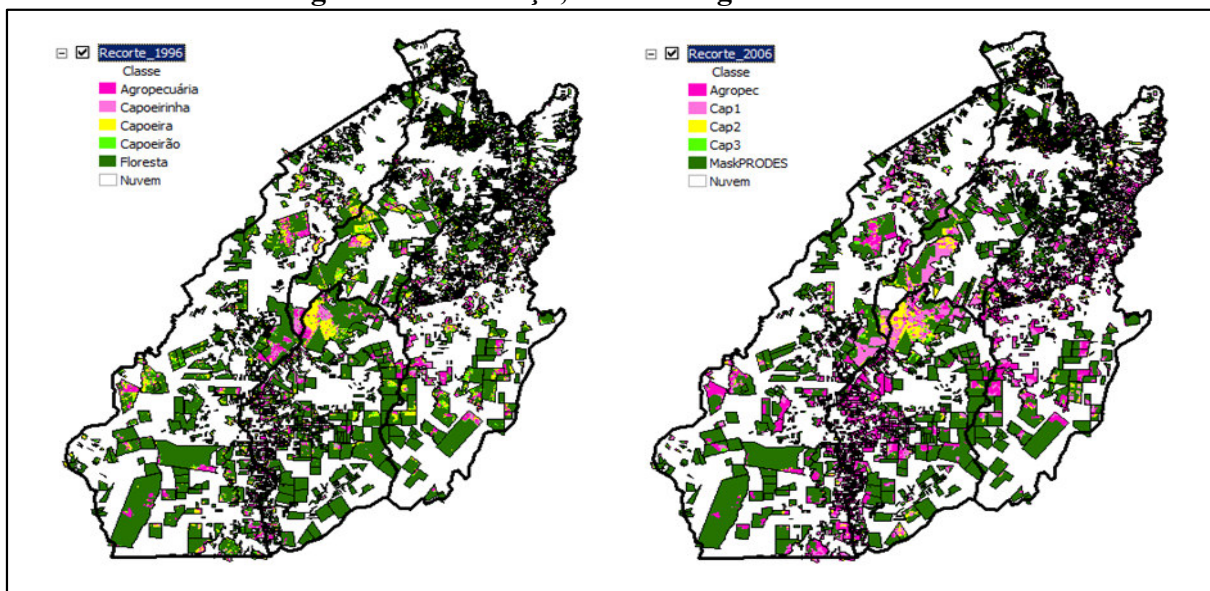
As imagens classificadas neste trabalho também indicam na microrregião de Tomé-Açu uma estrutura fundiária subestimada no Censo Agropecuário de 2006, visto que apontam uma área antropizada de 1.063.689 hectares (rever tabela 9, p. 78), ao passo que no censo a área dos estabelecimentos totaliza 746.636 hectares, implicando uma diferença de 30% em relação à área antropizada. Tudo indica, então, que em 2006 a área ocupada pelos estabelecimentos rurais é ainda maior, já que as áreas antropizadas correspondem apenas aos plantios agrícolas, pasto e vegetação secundária, restando considerar as áreas não alteradas na totalização da superfície ocupada com estabelecimentos rurais.

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. Considerando os pixels das imagens de satélites como população que está sendo amostrada, podemos

concluir que a malha fundiária projetada é uma amostra representativa das mudanças no uso da terra, 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.

O recorte dos mapas temáticos das imagens classificadas como o molde da malha fundiária da microrregião de Tomé-Açu foi realizado com o software ArcGis 9.3, sobrepondo o arquivo vetorial dos polígonos fundiários como molde de recorte dos mapas temáticos resultantes das imagens classificadas. O resultado obtido permite visualizar as feições de antropismo nos polígonos dos diferentes estratos de área informados no modelo de malha fundiária (ver figura 10).

Figura 10. Recorte da malha fundiária nos mapas temáticos das imagens classificadas na microrregião de Tomé-Açu, nos anos agrícolas 1995/96 e 2005/06



Fonte: Elaboração do autor.

Com este resultado é possível identificar os atores responsáveis pelo uso da terra, como se faz usualmente, definindo pequenos, médios e grandes produtores pelo tamanho das propriedades. De acordo com a lei nº 8.629 de 25/02/1993, que trata dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, médias propriedades são imóveis rurais com área compreendida entre 4 e 15 módulos fiscais. Abaixo estão as pequenas e acima as grandes propriedades. Considerando esta divisão e um módulo fiscal médio de 76 hectares para a Amazônia como sugerido por Brito e Cardoso Junior (2015, p. 57), poderíamos situar os pequenos produtores em áreas com menos de 304 hectares, os médios produtores em áreas de 304 até 1.140 hectares, e os grandes produtores em áreas acima de 1.140 hectares.

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 agropecuária com os mapas temáticos de imagens de satélite classificadas e, assim melhor 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 teóricos-metodológicos que orientam a investigação.

4.4. A diversidade dos agentes no contexto de Heterogeneidade Estrutural

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.

Nesses termos, a abordagem que melhor responde às questões suscitadas pelo objeto de pesquisa, é a proposta teórica sugerida por Costa (2000) alertando para a necessidade de se tratar a realidade agrária da Amazônia a partir da diversidade dos agentes econômicos que atuam no setor rural, como consequência da heterogeneidade estrutural que conforma o agrário regional (COSTA, 2008). Procuremos então distinguir esses agentes na economia agrária da região, para compreender de que maneira tomam suas decisões e influenciam a economia regional.

A dinâmica agrária da Amazônia deu origem a dois tipos de agentes econômicos e duas formas de produção que os conformam: a agricultura familiar e a agricultura patronal. Na primeira, a estrutura básica é a unidade de produção camponesa, cuja característica fundamental é o domínio absoluto do trabalho familiar; na segunda, abrigam-se estruturas com características de fazenda e outras com características de grande empresa latifundiária, as duas apresentando como traço comum a predominância do trabalho assalariado no funcionamento das unidades de produção.

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 de realizar. As grandes empresas latifundiárias se diferenciam das fazendas por empregarem exclusivamente o trabalho assalariado e, em geral, serem 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, onde tomam parte no processo decisório como um item do portfólio de investimentos da grande empresa, tendo a propriedade fundiária como um ativo entre outros, o que lhe possibilita uma estratégia de acumulação a longo prazo. Já as fazendas são empreendimentos de menor porte individualizados, que operam em um horizonte de curto prazo, 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 muito 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, ao contrário dos empreendimentos que acumulam para maximizar o lucro, a unidade camponesa acumula para tornar mais eficiente a sua reprodução (COSTA, 2000, p. 117).

Para entender a singularidade da economia camponesa, Costa (2000) propõe uma síntese teórico-metodológica pela categoria eficiência reprodutiva, indicando que as relações entre capitalismo e produção camponesa não se explicam unilateralmente pelas determinações da sociedade envolvente, nem pela natureza peculiar dessa forma de produção. Elas explicam-se pelas dinâmicas adaptativas dessa natureza peculiar aos desafios que a reprodução da sociedade global lhe coloca e pela absorção, também global, dos resultados desta adaptação.

Nesses termos, a eficiência reprodutiva é uma medida da eficiência da unidade camponesa, orientada por uma racionalidade que procura garantir um padrão de consumo, cultural e historicamente estabelecido, com o mínimo de risco e em um nível de esforço regulado pela capacidade de trabalho da família. Tal medida varia diretamente com a média e

inversamente com a variância da renda por unidade de trabalho familiar, e com a percentagem do trabalho total necessário para a sua obtenção. Se a eficiência reprodutiva cai, a razão decisória camponesa exige mudanças, que podem ser radicais ou adaptativas. Se a tensão reprodutiva é baixa e o sistema está próximo do equilíbrio a mudança tende a ser adaptativa e incremental; se a tensão reprodutiva é alta e o sistema está longe do equilíbrio, a mudança tende a ser radical.

Para que se tenha uma ideia da participação dessas formas de produção na economia agrária da Região Norte do Brasil, segundo os dados do Censo Agropecuário de 1995-1996 (IBGE, 1998) nesta região as unidades de produção familiares foram responsáveis por 65% do Valor Bruto da Produção Rural, 87% da mão de obra aplicada, e 33% da terra apropriada na Região. No mesmo ano agrícola a agricultura patronal contribuiu com 35% do Valor Bruto da Produção Rural, 13% da mão de obra ocupada e 67% da terra apropriada.

Destaque-se que os resultados da agricultura familiar foram obtidos com a força de trabalho familiar dominante, com uma menor extensão de terra, escasso uso de capital físico (insumos químicos e recursos mecânicos), e amplo manejo do capital natural (florestas primárias e secundárias). Por sua vez, a agricultura patronal obtém seus resultados a partir de uma lógica inversa à anterior, com a exploração de uma maior extensão de terra, trabalho assalariado dominante, aplicação intensiva de capital físico, e uso claramente destrutivo do capital natural. Por outro lado, os respectivos sistemas de produção divergem radicalmente no que tange à diversidade da produção, apresentando-se o primeiro significativamente diversificado, e o segundo especializado (COSTA, 2007, p. 133-141).

Conclui-se daí, que à heterogeneidade dos agentes corresponde uma heterogeneidade tecnológica, tecnologia aqui entendida como um conjunto de técnicas e procedimentos que fazem a mediação entre o trabalho humano socialmente objetivado e a natureza. Esta mediação é feita por aparatos tangíveis e intangíveis, os primeiros se constituindo como meios de produção disponíveis – terra, trabalho, capital físico e natural – e os segundos como tradição herdada, conhecimento tácito, técnico, informacional, assistência técnica, financiamento, infraestrutura pública, etc., ou seja de origem social e institucional.

Neste ponto revela-se uma questão fundamental da heterogeneidade dos agentes, a qual é suscitada pela teoria evolucionista, na qual a decisão de um agente é influenciada pelas decisões dos outros agentes, considerados os retornos produzidos por externalidades (COSTA, 2004, p. 121). Portanto, o papel das instituições é incorporado na orientação dos procedimentos dos agentes, na forma de objetivação de ações presentes visando necessidades historicamente contextualizadas, necessidades observadas por agentes diferentes, que se

relacionam de modos também diferentes com o ambiente, e na forma de possibilidades futuras em aberto.

Desta maneira, sublinhando as diferenças, explicando as estruturas e os processos que lhe dão origem, o modelo teórico acima esboçado apresenta-se como ideal para distinguir os diferentes agentes e as formas de produção que se pretende analisar. Para operacionalizar a problemática de pesquisa com este enfoque teórico, aplicamos a distinção sugerida por Costa (2009b, p. 48), considerando como “familiar” ou “camponês” todo estabelecimento cuja participação da força de trabalho assalariado é menor que 50% da força de trabalho total, e como “patronal” o estabelecimento que opera com mais de 50% da força de trabalho assalariada.

Esta definição é similar a caracterização 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).

Adicionalmente, foi estabelecida uma área máxima para os estabelecimentos familiares, que pela Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006 ficou limitada a 4 módulos fiscais (IBGE/MDA, 2009). Tal limite teria por fim evitar distorções que poderiam decorrer da inclusão de latifúndios por extensão no universo das unidades familiares. Contudo, tal definição é de caráter administrativo e tem sido mais aplicada na orientação das modalidades de financiamento bancário para a agricultura familiar. Do ponto de vista conceitual a agricultura familiar não se define pelo tamanho do estabelecimento, mas pela capacidade que a família tem de explorar uma extensão máxima, determinada pela sua própria força de trabalho associada à tecnologia de que dispõe.

Nesta pesquisa a identificação dos estabelecimentos familiares e patronais é realizada exclusivamente com base no tipo da força de trabalho empregada na produção, critério este segundo Costa (2009b, p. 48) “necessário e suficiente” para distinguir os casos entre camponeses e patronal, pelas razões apresentadas na caracterização das agricultura camponesa em seus estudos sobre a formação agropecuária da Amazônia (COSTA, 2000, p. 110-130).

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.

O passo seguinte foi criar uma correlação entre a área dos polígonos da malha fundiária de Tomé-Açu e o extratos de área dos estabelecimentos rurais nas estatísticas do IBGE, tendo como chave primária a categoria “Grupos de área total” definido em cada Censo Agropecuário (ver tabelas 5 e 6). Tal procedimento foi realizado criando uma nova coluna na tabela de atributos do shapefile da malha fundiária onde os polígonos foram classificadas de acordo com os extratos de cada Censo, através da qual incorporou-se com a função JOIN no software ArcGis, a distribuição proporcional do cálculo da força de trabalho nos polígonos da malha fundiária.

Este procedimento permitiu a distinção entre os estabelecimentos familiares e patronais de acordo com o tipo de força de trabalho empregada nos estabelecimentos, abrindo caminho para a plotagem do conjunto de dados estatísticos dos Censos Agropecuários no shapefile da malha fundiária da microrregião de Tomé-Açu e, como veremos adiante, para a reclassificação das imagens de satélite considerando fatores sociais e econômicos nas mudanças de uso da terra.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Reclassificação das imagens com vetores sociais

Para completar a análise, realizou-se a plotagem do conjunto de dados estatísticos dos Censos Agropecuários nos mapas temáticos da classificação da 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. Desta maneira, contando com um amplo espectro de informações, tais como áreas de plantio, tipos de cultura, criações de animais, investimentos, volume e valor bruto da produção, entre outras, tornou-se possível delinear os possíveis arranjos produtivos em cada propriedade, e configurar as trajetórias tecnológicas prevalescentes na microregião.

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. Para integrar esta informação na tabela de atributos do shapefile, bastou criar uma chave primária na tabela de atributos com os polígonos classificados de acordo com os estratos de área correspondentes aos grupos de área total dos censos, e fazer um Join (junção) para inserir o cálculo da força de trabalho familiar e patronal empregada nos estabelecimentos, proporcionalmente ao tamanho das áreas dos polígonos da malha fundiária. Já para integrar o conjunto de dados estatísticos dos censos agropecuários nos mapas temáticos das imagens de satélite classificadas e recortadas pelos polígonos da malha fundiária, 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 couna “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.
- 7) Configuração das trajetórias tecnológicas predominantes e tendências de desenvolvimento agrícola na microrregião de Tomé-Açu.

Os cálculos necessários para a consecução dos passos aludidos implicam no desenvolvimento de um grande número de algoritmo, para realizar operações matemáticas em matrizes com até 200 colunas e 120 mil linhas, articulando as tabelas de atributos dos shapefiles das imagens classificadas recortadas pelos polígonos da malha fundiária, com os bancos de dados dos Censos agropecuários. Para construir e operar essas matrizes 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 nesta pesquisa para a modelagem de vetores sociais em imagens de satélite.

Os algoritmos computacionais utilizados nos cálculos para a modelagem de vetores sociais em imagens de satélite seguem o roteiro das formulações de Costa reproduzidas neste trabalho nas páginas 14-16), tendo como função principal obter as áreas ocupadas com culturas agrícolas ou vegetação espontânea e o valor bruto da produção (VBP), a plotagem desses indicadores 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 pela distribuição das probabilidades de ocorrência do uso da terra, relacionando os dados econômicos com os dados espectrais pela distribuição das probabilidades de uso por faixa de reflectância dos pixels e por faixa de tamanho da propriedade, reduzindo as margens de erro e dando à informação significados adicionais derivados de características estruturais do objeto.

Para relacionar os dados estatísticos 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 é realizado através de quatro matrizes empíricas, duas onde estão os dados de produção e preço dos Censos Agropecuários, e duas onde se encontram 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 é nula, não sendo registrado nenhum tipo de exploração extrativista na área. Desta maneira, a informação estatística indica 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 antiga na Amazônia, onde a floresta já foi completamente explorada e não possui mais produtos como 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), a área continua sendo identificando como floresta primária na classificação pelos atributos espectrais. 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 modulo 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 inicial pode ser descrito da seguinte forma: se o VBP da extração vegetal é igual a zero; então, o modulo 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 = "Mata improdutivo"

```

Outro exemplo de script, que ajudou a requalificar áreas classificadas de maneira genérica como “agropecuária” pelos atributos espectrais, pode ser descrito como segue: “se VBP das culturas temporária, somado ao VBP de aves e pequenos animais e ao VBP de animais de pequeno e médio porte, é maior que zero; e o VBP das culturas temporárias. somado ao VBP de aves e pequenos animais e ao VBP de animais de pequeno e médio porte é menor que o VBP da pecuária de grandes animais; então, o modulo deve ser classificado como *Temporárias e pasto com predominância de pecuária de grande porte*”. Na linguagem Visual Basic este script se escreve como indicado abaixo.

```

If          ((Data4.Recordset.Fields("VBPTemp").Value          +
Data4.Recordset.Fields("VBPAvesPeqAn").Value          +
Data4.Recordset.Fields("VBPPeqMédioPorte").Value)          >          0)          And
((Data4.Recordset.Fields("VBPTemp").Value          +
Data4.Recordset.Fields("VBPAvesPeqAn").Value          +
Data4.Recordset.Fields("VBPPeqMédioPorte").Value)          <
Data4.Recordset.Fields("VBPPecGrande").Value) Then
Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Temporárias e pasto com
predominância de pecuária de grande porte"

```

Um 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 a área de floresta plantada e a 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"
```

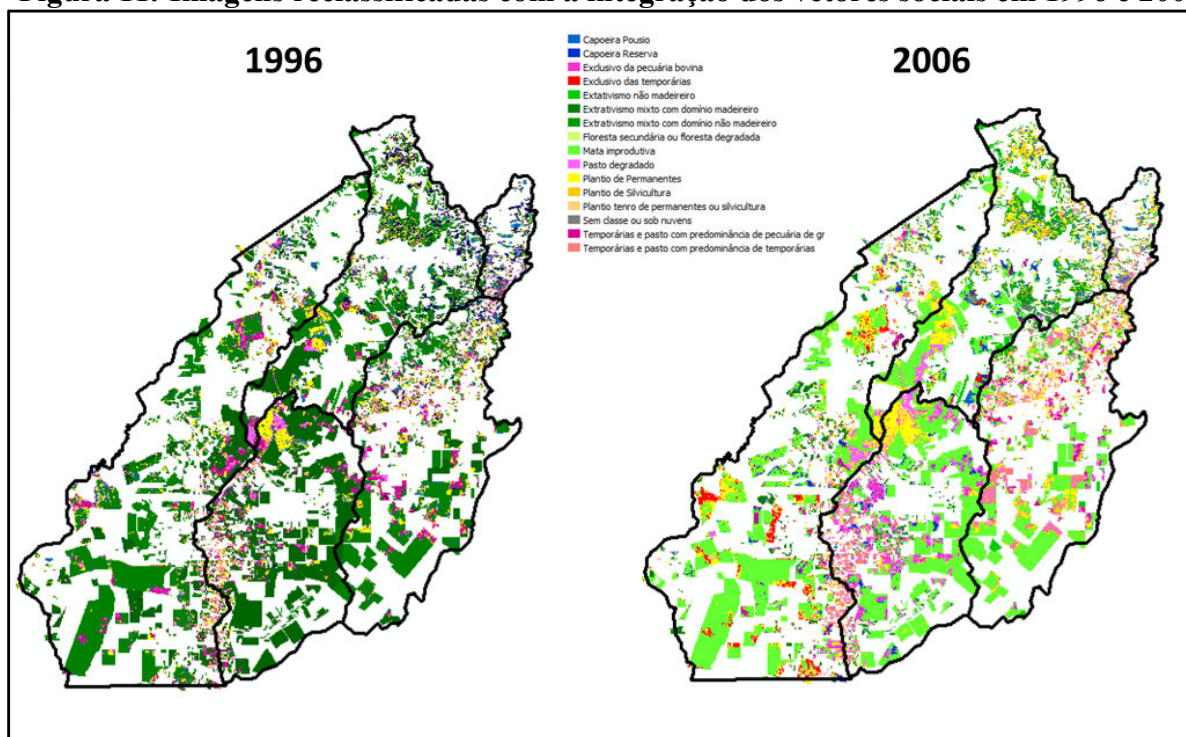
No trabalho de ressignificação das classes obtidas com a classificação das imagens de satélite, foram desenvolvidos 17 scripts que originaram novas classes na releitura dos mapas temáticos da microrregião entre os anos inicial e final do período de estudo. Essa construção foi realizada a partir da correlação 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. Uma visão completa dos scripts desenvolvidos para a releitura dos mapas temáticos pode ser vista no anexo desta tese.

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 improdutiva, 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 domínio 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 1 módulo: 16) Capoeira Reserva; da classe *Nuvem* deriva um módulo: 17) Sem classe ou sob nuvens.

Uma primeira visualização da imagem reclassificada com a integração de vetores sociais pode ser observada na figura 11, onde as 6 classes da primeira classificação se ampliam para 17 módulos. Na comparação das imagens reclassificadas, salta aos olhos a mudança do módulo Extrativismo misto com domínio madeireiro, representado com a coloração verde escuro no ano 1996, para o módulo Mata improdutivo, representado com a cor verde claro no ano 2006. Tal mudança ilustra os resultados operacionalização dos scripts acima mencionados, que produziram as respectivas classes nos anos correspondentes. Mas existem muitas outras mudanças que não podem ser visualizadas facilmente, que serão analisadas adiante.

Figura 11. Imagens reclassificadas com a integração dos vetores sociais em 1996 e 2006



Fonte: Elaboração do autor.

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 possíveis naquele tipo de vegetação. A renda afeta diretamente as decisões dos produtores, e a vegetação se relaciona com o equilíbrio ambiental, dependendo da qualidade da atividade em relação ao meio ambiente. Desta maneira,

procuramos uma denominação para os módulos, que se refere às atividades econômicas como forças motrizes do desmatamento e das mudanças no uso da terra, ao mesmo tempo em que sugere as perspectivas de manutenção ou bloqueio, das matrizes que garantem a sustentabilidade ou a regeneração dos recursos naturais no caso da degradação.

Se a denominação baseada na atividade econômica é interessante para identificar as forças motrizes do desmatamento e das mudanças no uso da terra, por outro lado cria dificuldades para verificar a acurácia da reclassificação das imagens, já que a leitura do pixel não possibilita uma definição precisa da atividade econômica. Neste caso, para checar o grau de acerto da reclassificação, das imagens, seria necessário verificar *in loco* se as atividades produtivas desenvolvidas nas propriedades correspondem a releitura das imagens com o uso das estatísticas agropecuárias, o que no caso desta pesquisa não seria possível por tratar-se de datas pretéritas.

Para verificar atividades econômicas, as visitas de campo teriam que ser realizadas com a maior proximidade possível da data de tomada das imagens. Um estudo desta natureza foi realizado em 499 propriedades dos municípios de Santarém e Paragominas no estado do Pará, com a coleta de dados primários organizada com apoio da Embrapa, INPE e outras instituições no âmbito do projeto *Sustentabilidade dos Usos da Terra na Amazônia Oriental*. Segundo o autor (TANCREDI, 2014), o estudo utiliza o conceito de trajetórias tecnológicas de Costa para integrar dados primários e secundários de diferentes fontes, logrando êxito na definição de classes de uso da terra das atividades de produção desenvolvidas na área investigada, aumentando o poder de leitura do pixel.

Diferente do estudo de Tancredi, a metodologia aqui desenvolvida trabalha com a integração de dados secundários em imagens de satélite numa grande área com extensão regional, aproveitando a coleta de dados dos Censos Agropecuários que se realizam (mais ou menos) de 10 em 10 anos no Brasil. Desta maneira, a checagem da verdade de campo em tempo real dependeria de planejamento e articulação com as instituições que realizam os levantamentos censitários. Mas isso não foi possível nesta pesquisa, já que o último Censo Agropecuário realizou-se em 2017, e um novo censo deve ocorrer somente na próxima década. Assim, verificar *in loco* se as atividades econômicas correspondem à releitura das imagens de satélite a partir dos dados censitários, está para além dos limites deste trabalho.

O objetivo central que se coloca no escopo deste trabalho, é verificar se a metodologia aqui desenvolvida, de integração de dados sociais com imagens de satélite, é capaz de relacionar dados estatísticos com dados espectrais de maneira coerente, para fazer inferências plausíveis 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, para estabelecer o diálogo entre as estatísticas agropecuárias e as imagens de satélite. Assim, verificar se os módulos derivados da classe *Floresta* coincidem de fato com as florestas no censo do ano correspondente, pode ser um bom indicador para avaliar a acurácia da modelagem desenvolvida neste trabalho, para integrar vetores sociais em imagens de satélite.

Partindo deste princípio, a avaliação de precisão da reclassificação das imagens de satélite com a integração das estatísticas censitárias foi realizada com o processo de tabulação cruzada, verificando se os módulos gerados na modelagem dos vetores sociais correspondem às suas classes de origem na primeira classificação, baseada nos atributos espectrais. A operação foi realizada com o Software PCI, em 100 pontos aleatórios distribuídos nas imagens recortadas pelos polígonos da malha fundiária nos anos inicial e final da pesquisa, comparando os resultados da reclassificação nesses pontos com os mesmos pontos na composição colorida (R5-G4-B3) das imagens, contando a experiência do analista na interpretação visual, o apoio dos mapas de desmatamento do PRODES e das imagens pretéritas disponibilizadas no aplicativo Google Earth Pro nos anos correspondentes aos Censos Agropecuários.

Quando o ponto aleatório incide sobre a máscara do PRODES utilizada para definir áreas não antropizadas na primeira classificação, considera-se Floresta como classe originária, Quando o ponto aleatório incide em áreas antropizadas, o primeiro recurso utilizado são as imagens históricas do Google Earth, que foram de grande importância na verificação do uso da área ano a ano, com imagens do satélite LANDSAT e do serviço geológico americano desde 1984. Infelizmente, neste aplicativo não há imagens de alta definição disponíveis na década de 1990, mas elas são abundantes na década de 2000, e foram importantes na verificação da acurácia nas imagens do ano agrícola 2005-2006, Deste modo, o último recurso de verificação é a interpretação visual das imagens na composição colorida.

Com a conferência dos acertos e erros nos mapas temáticos das imagens reclassificadas 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 correlata. Assim, os pontos aleatórios dos módulos que se originaram na classe floresta têm a reclassificação considerada correta se coincidirem com a classe *Floresta*

na imagem original, os pontos aleatórios dos 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 8 e 9).

Na matriz de confusão calculada para avaliar a acurácia da reclassificação nas imagens que compõem o mosaico do ano agrícola 1995/1996, os componentes da diagonal principal da tabela 7 (células cinza) representam os pixels que foram reclassificados corretamente, em relação às classes originárias da primeira classificação. Para os módulos da categoria “Extratativismo madeireiro e não madeireiro”, por exemplo, todos derivados da classe Floresta na primeira classificação, 54 pixels foram reclassificados de maneira correta na classe que lhes deu origem e 6 foram reclassificados de maneira inadequada nesta classe, quando na verdade pertenciam à classe originária Regeneração em estágio avançado, abreviada nos rótulos dos Dados de Referência como *cap3*.

Já nos módulos da categoria “Culturas temporárias, pasto e pecuária”, derivados da classe Agropecuária na primeira classificação, 11 pixels foram reclassificados acertadamente na classe que lhes deu origem, ao passo que 2 pixels foram reclassificados erroneamente na classe Regeneração em estágio inicial (*cap1*). Dentro desta categoria, nos módulos “Exclusivo das temporárias” e “Temporárias e pasto com predominância de pecuária de grande porte”, 5 pixels foram reclassificados de maneira acertada na classe de origem – a classe Agropecuária – enquanto 1 pixel foi reclassificada de maneira incorreta, na classe Regeneração estado inicial (*cap1*). Nesta avaliação, esses módulos alcançaram uma acurácia do usuário correspondente a 83% de acertos.

Os menores índices de acurácia do usuário são encontrados nos módulos que tem origem nas classes de regeneração inicial (*cap1*), intermediária (*cap2*) e avançada (*cap3*), em função das dificuldades de identificação dos limites entre essas classes numa imagem de média resolução. É por isso que os módulos das categorias “Silvicultura e Capoeira Reserva”, “Plantios permanentes e capoeira de pousio” e “Pasto degradado”, apresentam os maiores erros de comissão, que se refletem nos maiores erros de omissão em relação às classes da que lhes deram origem, respectivamente de 44% em relação à classe Regeneração em estágio avançado, de 33% em relação à classe Regeneração em estágio intermediário, e 50% em relação à classe Regeneração em estágio inicial (tabela 12).

Tabela 12. Acurácia dos módulos de reclassificação das imagens do ano agrícola 1995-1996, com a integração das estatísticas agropecuárias

RECLASSIFICAÇÃO	Dados de Referência*						Total	Acurácia
	floresta	agropec	cap1	cap2	cap3	nuvem		Usuário
<i>Extrativismo madeireiro e não madeireiro</i>	54				6		60	90%
Extrativismo madeireiro	25				2		27	93%
Extrativismo misto com domínio madeireiro	28				4		32	88%
Extrativismo misto com domínio não madeireiro	1						1	100%
<i>Culturas temporárias, pasto e pecuária</i>		11	2				13	85%
Exclusivo das temporárias		5	1				6	83%
Temporárias e pasto com predominância de temporárias		1					1	100%
Temporárias e pasto com predominância de pecuária de grande porte		5	1				6	83%
<i>Pasto degradado</i>		1	4				5	80%
Pasto degradado		1	4				5	80%
<i>Plantios permanentes e capoeira de pousio</i>			2	6	1		9	67%
Plantio de permanentes			2	5	1		8	63%
Capoeira Pousio				1			1	100%
<i>Silvicultura e Capoeira Reserva</i>				3	9		12	75%
Capoeira Reserva				3	9		12	75%
<i>Nuvens de sombra de nuvens</i>						1	1	100%
Sem classe ou sob nuvens						1	1	100%
Total Geral	54	12	8	9	16	1	100	
<i>Acurácia do Produtor</i>	100%	92%	50%	67%	56%	100%		
<i>EXATIDÃO GLOBAL</i>	85%							
<i>INDICE DE KAPPA</i>	0,76							

* agropec = Agropecuária, cap1 = Capoeirinha, cap2 = Capoeira, cap3 = Capoeirão.

Na matriz de confusão da reclassificação das imagens do ano agrícola 2005-2006 (tabela 13), 38 pixels foram classificados corretamente na categoria “Extrativismo madeireiro e não madeireiro, floresta degradada e improdutiva” em relação à sua classe originária e 2 pixels foram reclassificados equivocadamente na classe “Regeneração em estágio avançado”. Todos os módulos agrupados nesta categoria apresentam um alto índice de acurácia do usuário evoluindo de 80% para 100% de acerto, provavelmente em função da facilidade de

identificar a classe Floresta, e de contar com uma base de referência confiável no processo de validação, com o mapeamento de áreas não antropizadas pelo PRODES.

Tabela 13. Acurácia dos módulos de reclassificação das imagens do ano agrícola 2005-2006, com a integração das estatísticas agropecuárias

RECLASSIFICAÇÃO (2006)	Dados de Referência*							Acurácia Usuário
	floresta	agropec	cap1	cap2	cap3	nuvem	Total	
<i>Extrativismo madeireiro e não madeireiro, floresta degradada e improdutivo</i>	38				2		40	95%
Extrativismo não madeireiro	4				1		5	80%
Extrativismo misto com domínio madeireiro	3						3	100%
Extrativismo misto com domínio não madeireiro	5						5	100%
Floresta secundária ou floresta degradada	11						11	100%
Mata improdutivo	15				1		16	94%
<i>Culturas temporárias, pasto e pecuária</i>		11	5				16	69%
Exclusivo das temporárias		4	1				5	80%
Temporárias e pasto com predominância de temporárias		2	1				3	67%
Temporárias e pasto com predominância da pecuária de grande porte		2	2				4	50%
Exclusivo da pecuária bovina		3	1				4	75%
<i>Pasto degradado e plantios jovens permanentes e silvicultura</i>		1	14	1			16	88%
Pasto degradado		1	9				10	90%
Plantio jovem de permanentes ou silvicultura			5	1			6	83%
<i>Plantios permanentes e capoeira de pouso</i>			1	13			14	93%
Plantio de Permanentes			1	8			9	89%
Capoeira Reserva				5	1		6	83%
<i>Silvicultura e Capoeira Reserva</i>	1			1	10		12	83%
Capoeira Pouso	1				6		7	86%
Plantio de Silvicultura				1	4		5	80%
<i>Nuvens de sombra de nuvens</i>						2	2	100%
Sem classe ou sob nuvens						2	2	100%
Total Geral	39	12	20	15	12	2	100	
<i>Acurácia do Produtor</i>	97%	92%	70%	87%	83%	100%		
<i>EXATIDÃO GLOBAL</i>	88%							
<i>INDICE DE KAPPA</i>	0,84							

* agropec = Agropecuária, cap1 = Capoeirinha, cap2 = Capoeira, cap3 = Capoeirão.

Na categoria “Culturas temporárias, pasto e pecuária” verificou-se uma queda relativa na acurácia do usuário nos módulos “Temporária e pasto com predominância de temporárias” e “Temporárias e pasto predominância da pecuária de grande porte”, devido às dificuldades na identificação e separação das classes Agropecuária e Regeneração no estágio inicial (*cap1*), sendo a primeira a classe mais adequada para o enquadramento desses módulos. Essas dificuldades levaram à confusão na classificação automática das imagens, baixando a acurácia do usuário na categoria como um todo, no processo de reclassificação que originou os módulos.

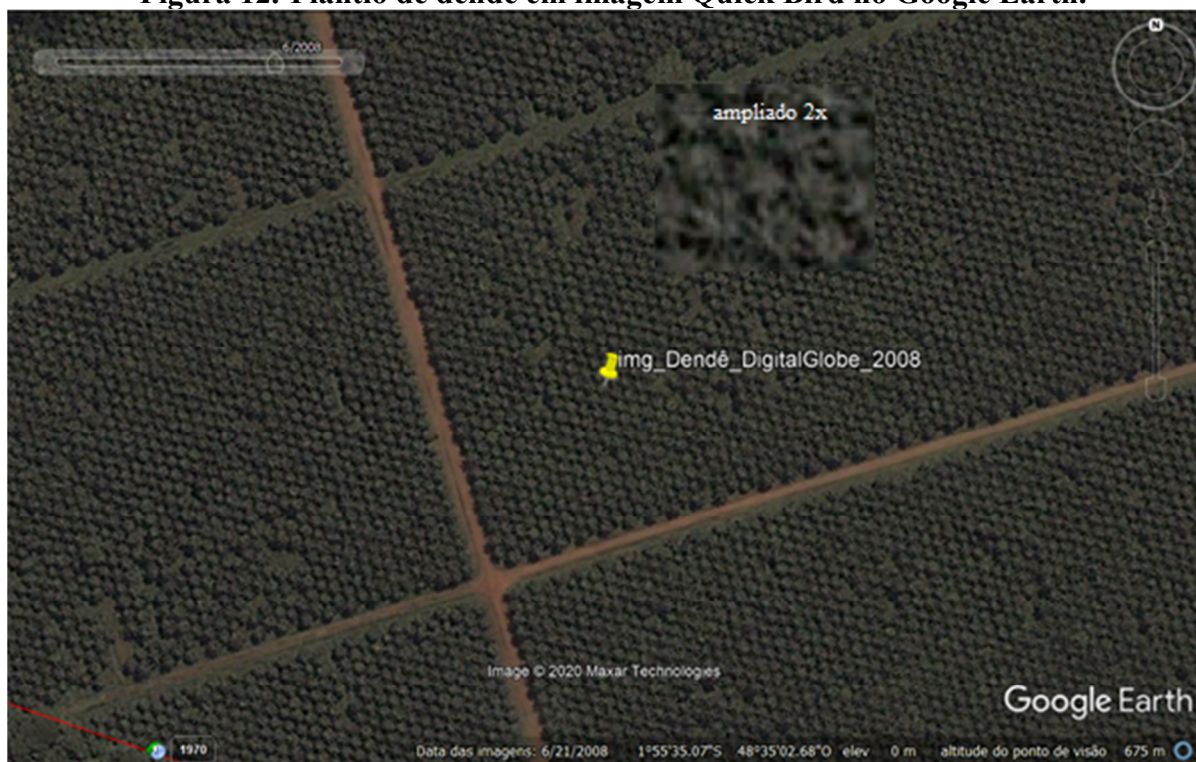
Contudo, esta queda na acurácia do usuário na categoria “Culturas temporárias, pasto e pecuária” foi compensada pelo crescimento da acurácia do usuário nas categorias que tem como base as classes originárias regeneração nos estágios intermediário e avançado, quando comparada com a acurácia das mesmas categorias nas imagens do ano agrícola 1995-1996. Tal melhoria refletiu positivamente na acurácia do produtor e na acurácia global da reclassificação das imagens no ano agrícola 2005-2006 (comparar tabelas 8 e 9), assim com no índice de Kappa que subiu de 0,76 para 0,84, fazendo com que a acurácia da reclassificação, considerada “muito boa” no ano inicial, passe a ser considerada “excelente” no ano final segundo classificação de Landis e Koch (1977).

5.2. Verdade de campo na reclassificação com vetores sociais

A utilização do aplicativo Google Earth na verificação da acurácia de reclassificação do método desenvolvido neste trabalho sugeriu o entendimento que, mesmo sendo não sendo possível aferir a validade da reclassificação com a verdade de campo em datas pretéritas, é possível verificar se as florestas e culturas permanentes identificadas naquelas datas se confirmam com na vegetação remanescente na atualidade. Uma floresta que se mantém hoje com o dossel fechado e um grande número de espécies arbóreas de grande porte, certamente não sofreu corte raso nos últimos vinte ou trinta anos. Da mesma maneira, uma área que se apresenta ocupada com palmeiras de dendê ou coco em fase avançada de maturidade produtiva, deve ter sido plantada há pelo menos 10 ou 15 anos.

Esta hipótese se confirma nas imagens com datas pretéritas disponíveis no aplicativo Google Earth Pro, apresentadas nas figuras abaixo. A imagem da figura 12 foi adquirida em 21/06/2008 pelo satélite Quick Bird, o primeiro satélite com altíssima resolução da empresa Digital Globe – subsidiária da empresa aeroespacial canadense Maxar Technologies – fornecedora de imagens para o Google Earth.

Figura 12. Plantio de dendê em imagem Quick Bird no Google Earth.



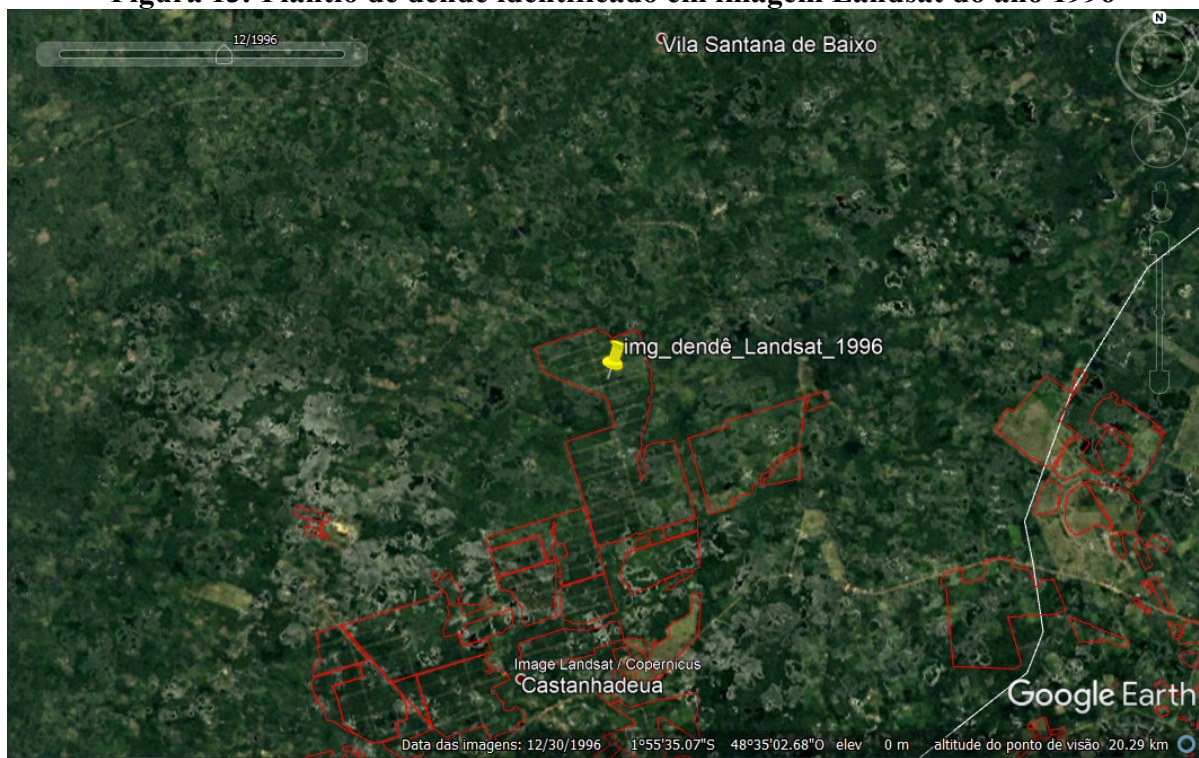
Fonte: Google Earth Pro.

Com uma resolução espacial de 60 centímetros, a imagem Quick Bird permite visualizar a área ocupada com plantio agroindustrial de dendê em fase de maturidade produtiva, tendo como ponto referência as coordenadas geográficas $1^{\circ}55'35,07''$ de latitude sul e $48^{\circ}35'2,68''$ de longitude oeste, ponto este definido aleatoriamente na verificação da acurácia de reclassificação das imagens. Nesta imagem, se pode observar as linhas do plantio de dendê, as falhas das palmeiras que morreram, e o arruamento das quadras organizadas em estrutura agroindustrial. Ampliada, a imagem mostra os detalhes das folhas da palmeira, indicando que o dendê se encontra em maturidade produtiva e, portanto, deve ter sido plantado há pelo menos 4 ou 5 anos.

A longevidade deste plantio pode ser verificada na figura 13, no mesmo ponto de referência da figura anterior, na imagem Landsat de 1996 disponibilizada no Google Earth. Apesar das imagens históricas de alta resolução não estarem disponível no ano de 1996, a imagem Landsat permite visualizar o arruamento das quadras do plantio agroindustrial, confirmando que o dendê visualizado na imagem de 2008 foi de fato plantado antes de 2006. Na verdade a imagem Landsat de 1996 indica a existência do plantio permanente na mesma

área na data inicial do período da pesquisa, embora seja difícil identificar o grau de maturidade do plantio.

Figura 13. Plantio de dendê identificado em imagem Landsat do ano 1996



Fonte: Google Earth Pro.

Um retorno a um passado mais remoto pode ser visualizado na figura 14, através da imagem tomada em 1969 pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos disponibilizada no Google Earth, a qual indica a presença do plantio de culturas permanentes desde aquela época no local, permitindo recompor a cronologia do plantio de dendê por toda década de 1970 até hoje. Quanto mais recente, maior a disponibilidade e a resolução das imagens compartilhadas no aplicativo, a exemplo das imagens World View atualmente acessíveis na plataforma Google Earth Pro, com uma resolução espacial de 30 centímetros (NBC, 2014).

Assim, da mesma maneira como os mapas de desmatamento do INPE foram importantes como referência das florestas em datas pretéritas no processo de verificação da acurácia de classificação e reclassificação das imagens utilizadas nesta pesquisa, as imagens históricas disponibilizadas no Google Earth foram fundamentais como referência na verificação da acurácia do módulo de culturas permanentes, na reclassificação das imagens com a introdução das informações econômicas. Mais que isso, as funcionalidades do aplicativo da Google que permitem recompor a cronologia dos plantios permanentes

estimularam uma visita de campo na área de pesquisa, procurando inferências entre a cobertura vegetal mais recente e a vegetação nas datas pretéritas do período estudado.

Figura 14. Plantio de dendê em imagem de 1969 do Serviço Geológico dos EUA



Fonte: Google Earth Pro.

A viagem na área de pesquisa foi realizada na semana de 4 a 9 de julho de 2016, orientada para estabelecimentos identificados com culturas permanentes e florestas, na reclassificação das imagens de 2006 com a integração de vetores sociais. Nesta viagem foram visitados 45 estabelecimentos com facilidade de acesso pelas rodovias PA-140 e PA-150, onde foram coletadas as coordenadas geográficas de 100 pontos em áreas ocupadas com culturas permanentes e 100 pontos em áreas com cobertura florestal. O objetivo da coleta nesses pontos era confirmar se a vegetação na data da visita corresponde à vegetação identificada no ano de 2006, e constatar se é possível tirar conclusões sobre a validade dos resultados da reclassificação das imagens de satélite com a integração dos vetores sociais.

A hipótese que sustenta a validação dos módulos de culturas permanentes considera que, entre as principais culturas permanentes na região, o dendê (*Elaeis guineensis*) e o coco (*Cocos nucifera*) tem um tempo de vida útil acima de 20 anos. Então, se não foram suprimidas ou perdidas por motivo de doenças ou intempéries da natureza, o dendê e o coco estabelecidos em 2006 serão encontradas em estado produtivo em 2016. A mesma lógica se

aplica às áreas cobertas com florestas. Neste caso, porém, seria necessário verificar a geração de renda nos remanescentes florestais, para checar se a área corresponde a um dos módulos de extrativismo madeireiro, não madeireiro ou misto, identificado na reclassificação das imagens com a integração das estatísticas censitárias.

Entre os estabelecimentos visitados, 34 são familiares com áreas de 5 a 500 hectares, 8 são patronais com áreas de 1.000 a 2.500 hectares, e 8 são empresariais com áreas com mais de 2500 hectares. A coleta dos pontos de referência foi acompanhada pelos proprietários ou funcionários dos estabelecimentos, os quais foram entrevistados com perguntas abertas sobre o uso da terra nos últimos 10 anos. Entretanto, nem sempre foi possível obter as informações requisitadas, pelo fato de que alguns informantes não conheciam o histórico do uso da terra e as informações sobre a produção e renda em 2006. Assim, não se desenvolve aqui uma análise estruturada da acurácia, mas tão somente a validação dos módulos de culturas permanentes e florestas geradas na reclassificação das imagens.

Desta maneira, considerando as limitações para validar módulos de culturas temporárias, capoeiras e pastagens em uma visita de campo 10 anos depois da obtenção das imagens, direcionou-se a coleta dos pontos de referência exclusivamente para os módulos de plantios permanentes e derivados de florestas. Nas áreas com culturas permanentes, os pontos de referência foram coletados em plantios com maturidade avançada, conforme a orientação dos informantes e o aspecto produtivo das palmeiras, procurando assegurar que o plantio estava estabelecido desde 2006, para validar a reclassificação das imagens no final do período estudado. Nas áreas com florestas os pontos foram coletados em remanescentes florestais que não sofreram o corte raso, tendo como indicativo uma boa composição do dossel florestal, propiciando 100% de sombreamento do solo.

Os pontos de referência coletados em campo foram plotados no mapa temático resultante da reclassificação das imagens de 2006, para verificar se havia correspondência entre a vegetação identificada naquele ano e a vegetação encontrada em campo dez anos depois. Dos 100 pontos coletados nas áreas com plantio de culturas permanentes, 67 deles corresponderam ao módulo identificado com essas culturas na reclassificação das imagens de 2006. Por sua vez, entre os 100 pontos coletados em áreas com cobertura florestal, 72 correspondiam aos módulos derivados de florestas no mapa temático resultante da reclassificação das imagens de 2006.

A maior incidência de erros na reclassificação do módulo “Plantio de Permanentes” ocorreu nos plantios com menos de 10 hectares, característicos dos estabelecimentos familiares. Dos 33 pontos coletados que não encontraram correspondência em plantios

permanentes no mapa das imagens reclassificadas, 15 deles localizavam-se em áreas com menos de 10 hectares, sugerindo menor eficiência dos algoritmos na reclassificação nos módulos de menor extensão.

Nos pontos de referência coletados em áreas de florestas, validou-se somente a existência de florestas nos pontos referência que corresponderam a acertos na reclassificação das imagens em 2006. Não foi possível validar os módulos da reclassificação baseada nos atributos econômicos, ou seja, os módulos correspondentes ao extrativismo madeireiro, não madeireiro e misto, em função da carência de informações sobre a renda das florestas em 2006. No entanto, entre os produtores familiares entrevistados, nenhum destacou a importância econômica da madeira naquele ano em suas atividades, exceto para o consumo doméstico.

Como previsto, não foi possível fazer inferências na visita de campo sobre o grau de acerto da reclassificação das imagens nos módulos de culturas temporárias, pastagens e capoeiras. Esta análise extrapola os limites deste estudo, mas pode ser planejado em futuras pesquisas articuladas com os censos agropecuários ou levantamentos de dados primários em áreas específicas. Contudo, apesar da impossibilidade de concluir uma análise estruturada da acurácia de reclassificação das imagens com a integração dos vetores sociais em 2006, as observações da visita de campo reforçam a confiabilidade da reclassificação no módulo “Plantio de Permanentes” e nos módulos derivados da classe floresta, os quais representam 69% da área total da malha fundiária analisada nesta pesquisa.

5.3. A entropia da informação nos mapas de pixels

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 para uma reavaliação do significado dos pixels considerando fatores sociais e econômicos, cabe fazer um balanço geral da acurácia alcançada nas duas metodologias, antes de entrar na análise dos resultados pela ótica da Teoria da Informação de Shannon (tabela 14).

Tabela 14. Acurácia nos tipos de classificação das Imagens nos anos 1996 e 2006

Tipos de Classificação	Exatidão Global		Índice de Kappa	
	1996	2006	1996	2006
Classificação baseada nos atributos espectrais	82%	88%	0,75	0,84
Reclassificação das imagens com a integração dos vetores sociais de estatísticas censitárias	85%	88%	0,76	0,84

Fonte: Elaboração do autor.

Como observa na tabela acima, há uma coincidência na exatidão global e no índice de Kappa nos dois tipos de classificação das imagens do ano de 2006. Esta coincidência retrata uma melhoria na acurácia da classificação das imagens de 2006 em relação às de 1996. Vejamos se a mesma tendência se manifesta na entropia da informação.

Deve-se lembrar que, na Teoria da Informação de Shannon, o coeficiente de entropia tem por objetivo avaliar a quantidade de informação transmitida na mensagem, para dimensionar o canal de transmissão adequado para esta mensagem. 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 teoria da comunicação de Shannon.

Para Shannon, o problema fundamental da comunicação é reproduzir a mensagem de um ponto para outro, da maneira mais precisa possível. Na sua engenharia da comunicação, Shannon considera um conjunto de mensagens possíveis no processo de transmissão e recepção, onde não se sabe a priori qual mensagem será selecionada. Por esta razão, o sistema deve ser projetado para operar com qualquer das possíveis seleções, e não somente com aquela que foi realmente escolhida. Daí a necessidade de dimensionar a quantidade de informação das mensagens, para dimensionar o canal de comunicação adequado.

Na perspectiva de Shannon, a quantidade de informação de uma mensagem, a sua entropia, varia diretamente com a incerteza do evento informado e inversamente com a probabilidade de sua ocorrência. Desta maneira, quanto maior a probabilidade de um evento ocorrer, menor a carga de informações, ou entropia, do seu comunicado. Então, se o mesmo evento ocorre em todos os casos, a carga de informação de seu comunicado é zero. Se um evento ocorre muito raramente, e por isso, há muita incerteza em torno dele, a quantidade de informação de sua ocorrência é muito elevada.

Desta maneira, a quantidade de informação de um sistema cresce com o número de fluxos de mensagens, em um processo que amplia a capacidade do sistema produzir informação com diversificação e complexificação. Assim, o conceito de informação se relaciona com a diversidade, a ideia da transformação e 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.

Considerando em conjunto as possibilidades de ocorrência das mensagens possíveis, Shannon argumenta que um processo de comunicação deve ser analisado de maneira probabilística. Desta maneira, a quantidade de informação gerada por um processo de comunicação deve somar as probabilidades p de ocorrência de mensagens, multiplicadas pelo logaritmo que mede a quantidade de informação das mensagens, conforme a expressão (2) apresentada na secção de teórico metodológica, abaixo replicada,

$$H = -[p_1 \log p_1 + p_2 \log p_2 + \dots + p_n \log p_n] \quad (32)$$

Para aplicar a orientação de Shannon no dimensionamento da quantidade da informação nos mapas temáticos produzidos nesta pesquisa, trabalhou-se com uma matriz cujas colunas representam as classes de vegetação e 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 (tabela 15).

Tabela 15. Matriz de cálculo da entropia das classificações e reclassificações de imagens

Municípios\Classes	Vegetação Classe A	Vegetação Classe B	Vegetação Classe C	Vegetação Classe D	Vegetação Classe E	Total 1
Município F	área 1	área 2	área 3	área 4	área 5	área F
Município G	área 6	área 7	área 8	área 9	área 10	área G
Município H	área 11	área 12	área 13	área 14	área 15	área H
Município I	área 16	área 17	área 18	área 19	área 20	área I
Município J	área 21	área 22	área 23	área 24	área 25	área J
Total 2	área A	área B	área C	área D	área E	X

Fonte: Elaboração do autor.

Realizou-se o cálculo das probabilidades de ocorrência 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 16).

Tabela 16. Cálculo das probabilidades de ocorrência das 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 K
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 J
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 H
Total 2	ÁREA A	ÁREA B	ÁREA C	ÁREA D	ÁREA E	X

Fonte: Elaboração do autor.

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 expressão (3) replicada abaixo.

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (33)$$

O cálculo da entropia relativa foi realizado através da divisão da entropia absoluta pela entropia máxima, esta calculada pela aplicação da fórmula (3) nos p_{is} máximos obtidos na divisão da unidade pelo número de colunas multiplicado pelo número de linhas correspondentes às matrizes-base de cada tipo de classificação.

O mesmo procedimento foi realizado para os mapas temáticos resultantes da classificação das imagens baseada nos atributos espectrais, assim como para a reclassificação das imagens com a integração de vetores sociais nos anos inicial e final do período da pesquisa, tendo com resultado os coeficientes de entropia abaixo indicados (tabela 17), apresentando a quantidade de informação em cada data e tipo de classificação.

Tabela 17. Entropia absoluta e relativa nos mapas temáticos das classificações de imagens

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 das imagens com a integração dos vetores sociais de estatísticas censitárias	4,05	4,67	80,6%	99,6%

Fonte: Elaboração do autor.

Como se pode observar, a tendência de melhoria da acurácia no final do período estudado foi mantida nos coeficientes de entropia da informação. Por outro lado, os coeficientes indicam uma maior quantidade de informação na reclassificação das imagens com a integração dos vetores sociais que na classificação das imagens baseada nos atributos espectrais, tanto no início como no final do período estudado.

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 de que maneira podem colaborar no entendimento das mudanças de uso da terra na área de interesse da pesquisa.

5.4. Detecção de mudanças nas imagens com vetores sociais

Constatado o bom resultado na reclassificação das imagens com a releitura do pixel associado às estatísticas censitárias, podemos analisar com mais detalhes os módulos gerados, buscando uma visão mais ampla 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 18 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 diversos tipos de vegetação e cobertura do solo nas áreas exploradas com extrativismo, agricultura e pecuária nos estabelecimentos da malha fundiária no ano agrícola 1995-1996, ao passo que as linhas indicam a vegetação nas áreas trabalhadas com atividades extrativistas e agropecuárias no ano agrícola 2005-2006.

Uma primeira observação que salta aos olhos 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. Mas, no ano de 2006 o extrativismo madeireiro puro não aparece entre as atividades produtivas, 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 valor bruto da produção (VBP) de R\$11,5 milhões para o conjunto dos estabelecimentos da microrregião de Tomé-Açu no Censo Agropecuário de 1995-1996, participando em 63% do VBP extrativa e 20% do VBP vegetal naquele ano agrícola (IBGE, 1998). Já no Censo Agropecuário de 2006, o extrativismo

madeireiro registra um VBP de R\$1.836.000,00, contribuindo com 12% do VBP extrativa e apenas 0,4% no total do valor bruto da produção vegetal na microrregião.

Como se pode observar na primeira coluna da tabela, com a decadência da produção madeireira na região, 207.596 hectares da área explorada com madeira em 1996 se transformam em “Mata improdutiva” em 2006, e o restante da área se converte em extrativismo misto e não madeireiro, pecuária bovina, culturas permanentes e outras atividades. A mata improdutiva se destaca também na segunda coluna da tabela, onde se observa que 226.699 hectares do “Extrativismo misto com domínio madeireiro” de 1996 se transformam em mata improdutiva em 2006. Assim, somando-se às 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 equivalente a 43% da área total da malha fundiária usada na pesquisa.

Outro importante destaque no cenário de mudanças no período estudado na microrregião de Tomé-Açu é o crescimento da área plantada com culturas permanentes, aumentado de 105.235 hectares em 1996 para 153.690 hectares em 2006, o que representa um aumento de 46% na área plantada com essas culturas nos estabelecimentos estudados. Com esta expansão, em 2006 as culturas permanentes ocupam 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, como se pode calcular na somatória da coluna “Plantio de permanentes” excetuando os 52.887 hectares que se mantem no módulo até 2006, metade dos plantios permanentes existentes em 1996 (52.348 ha) foi abandonado ou perdido no final do período. A maior parte desta área foi convertida em pastos degradados, pastagens consorciadas com culturas temporárias, e um tipo de área que aparece como novidade em 2006, destinada exclusivamente à pecuária bovina.

Tabela 18. Estatística de detecção de mudança na reclassificação das imagens com vetores sociais (1996-2006)

Classes ressignificadas (ha) ↓1996 \ 2006 → (ano base nas colunas e final nas linhas)	1- Extra- tivismo madei- reiro	2- Extrat. misto c/ domínio madeireiro	3-Extrat. misto c/ domínio não-mad.	7- Ex- clusivo tempor árias	8-Temps. e pasto c/ domínio de temporárias	9-Temps. e pasto c/ domínio pecuária	11-Pasto degradado	13- Plantio Perma- nentes	15- Capoeira Pousio	16- Capoeir a 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 ou floresta 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-Temps. e pasto c/ 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

Fonte: Elaboração do autor.

O terceiro destaque da estatística de detecção de mudanças com a integração de dados econômicos é o crescimento da área ocupada com pastagens, o qual decorre em grande parte da conversão de culturas permanentes em pastagens. Em 1996 as pastagens totalizavam 119.765 hectares, 36.367 ha na forma de pasto degradado e 83.398 ha consociados com lavouras temporárias. Em 2006, a área ocupada com pastagens se amplia para 182.790 ha, sendo 88.211 ha de pastagens degradadas, 71.000 ha de consórcios com lavouras temporárias e 23.578 ha exclusivos para a pecuária bovina.

Contribuindo para o crescimento das pastagens, é digno de nota o aumento da área do módulo “Temporárias e pasto com predominância de temporárias”, de 24.481 ha para 48.424 ha no período, sugerindo o financiando do plantio de novas pastagens pelas culturas temporárias para compensar a degradação de pastos. Mas, este caminho não parece ter futuro em longo prazo, já que 53% das áreas de “Capoeiras reservas” – mais rentáveis para as lavouras temporárias – foram convertidas em plantios de permanentes e silvicultura. Com o boom do dendê na região, tendência apontada por vários autores (NAHUM e SANTOS, 2015; SILVA, MAGALHÃES e FARIAS, 2016; IGAWA, DIAS e SOUSA, 2015), logo o espaço das capoeiras pousio será utilizado para o plantio de culturas permanentes.

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 de 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, que ajudam a compreender melhor as informações dos pixels, 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 calculada neste trabalho com a classificação das imagens pela leitura de pixels (rever tabela 9, p. 78) se verificou que houve um desmatamento de 328.323 hectares na área de estudo entre os anos 1996 e 2006, implicando em uma perda de 21% das florestas, que se converteram em agropecuária e vegetação secundária em diversos estágios de regeneração. É possível fazer inferências mais complexas e detalhadas na estatística de detecção de mudanças, com a integração de vetores sociais nas imagens de satélite.

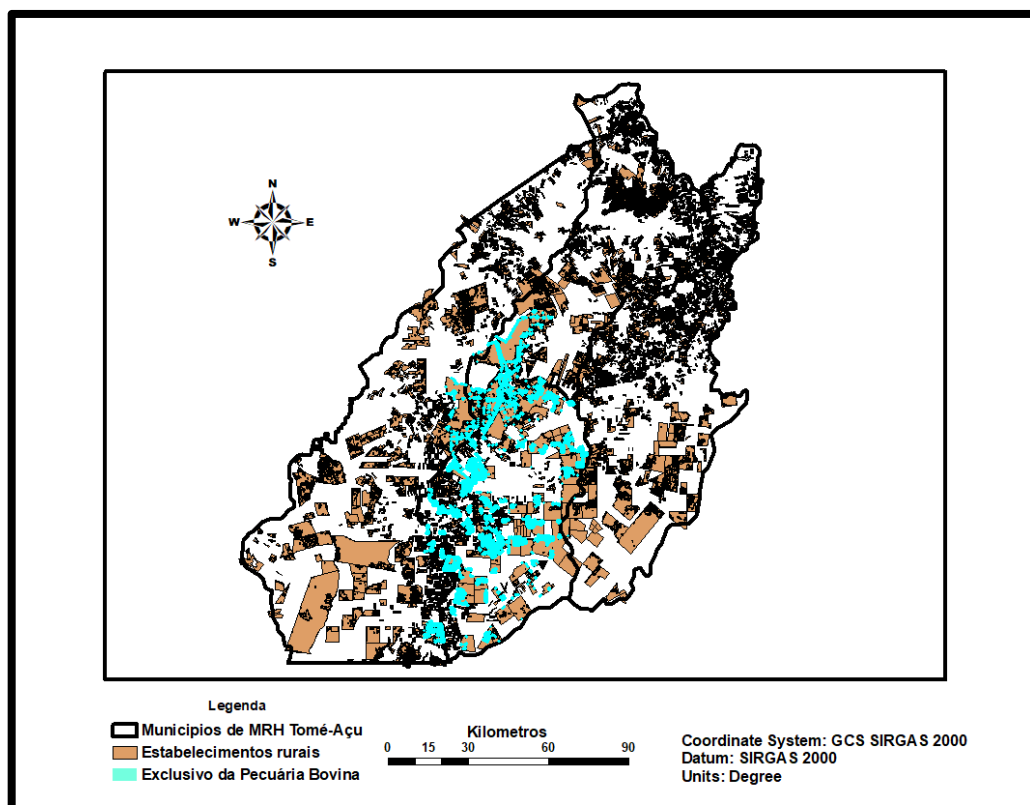
Como se pode calcular na somatória das três primeiras colunas da tabela 18 a partir da linha “7-Exclusivo das temporárias”, no final do período estudado as áreas desmatadas deram lugar a culturas permanentes e silvicultura (6%), pastos degradados (5%), consórcios de pasto

com culturas temporárias (3%), exclusivo da pecuária bovina (2%), capoeiras (3%), culturas temporárias (1%), silvicultura (1%) e plantios jovens de permanentes ou silvicultura (1%). Todas as áreas de floresta convertidas em outro tipo de vegetação podem ser localizadas com as informações espaciais disponíveis nos mapas temáticos elaborados com a integração dos vetores sociais nas imagens de satélite. Ou seja, é possível não só dimensionar as mudanças, como localizar o lugar onde elas aconteceram e identificar o tipo de conversão que se efetiva em lugar da vegetação originária.

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 no primeiro ano. Entretanto, com as informações econômicas na reclassificação das imagens, constatamos que 81% da área de floresta remanescente é improdutiva, sem nenhum registro de valor na produção extrativa no Censo Agropecuário de 2006. O restante da área de florestas se mantém produzindo renda extrativa, mas com exploração da madeira em segundo plano, em decorrência do esgotamento das reservas madeireiras.

Um exemplo que ressalta a importância da localização espacial pode ser visualizado no módulo “Exclusivo da pecuária bovina”, que aparece como novidade em 2006. Caso haja interesse público em uma ação planejada de extensão rural, essas áreas podem ser localizadas pelas suas coordenadas geográficas (ver figura 15), para orientar os produtores no manejo das pastagens, a fim de evitar o monocultivo intensivo e a rápida degradação das invernadas para o gado. A localização espacial também pode ser muito importante, para analisar as tendências de ocupação do espaço com atividades produtivas.

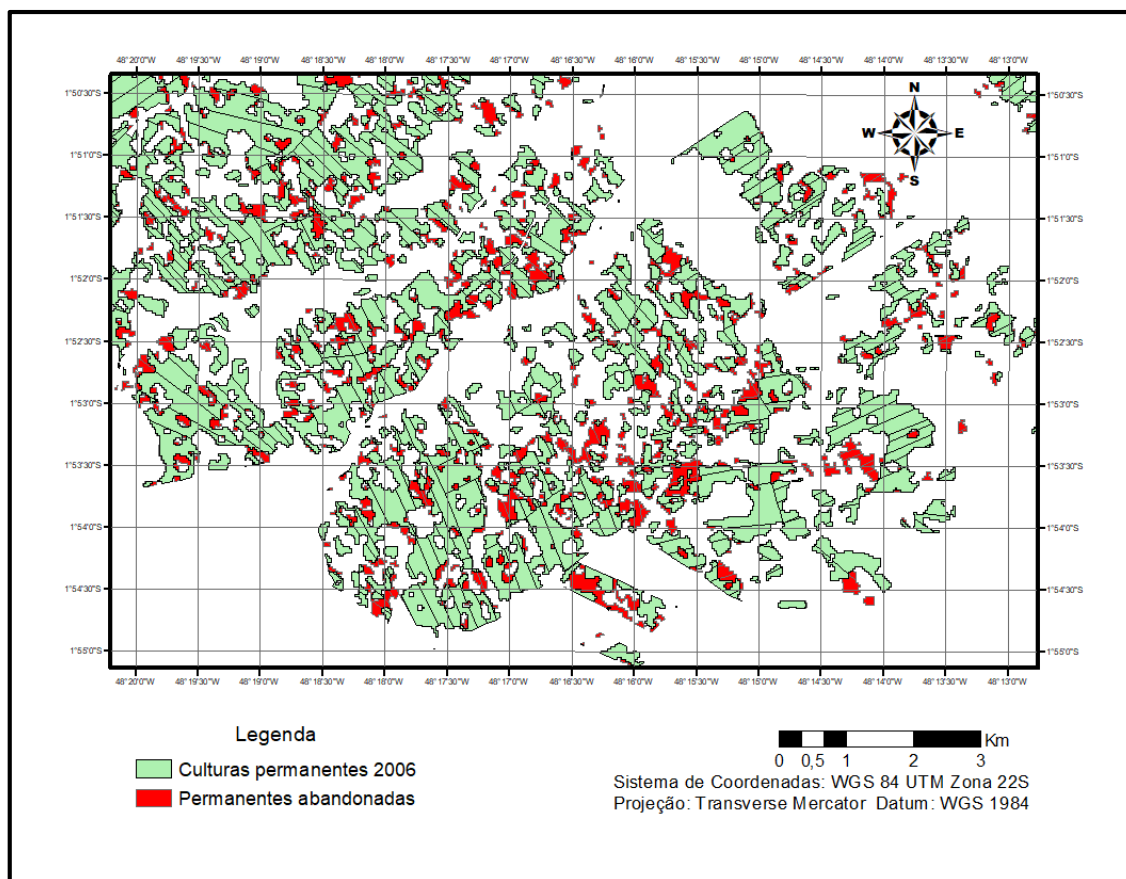
Figura 15. Localização de áreas “Exclusivas da pecuária bovina”



Fonte: Elaboração do autor.

Em outro exemplo, que combina a localização espacial com a identificação social dos produtores, poderíamos plotar as áreas de culturas permanentes que foram abandonadas ou perdidas no período de 1996 a 2006 (figura 16), e classificar essas áreas segundo o estrato de área dos estabelecimentos, para planejar ações no sentido de aperfeiçoar as políticas de fomento e financiamento, para evitar maiores prejuízos com a perda dos plantios permanentes, como ocorreu com 59% da área plantada com essas culturas no período da pesquisa.

Figura 16. Localização de áreas abandonadas de plantios permanentes e/m 2006



Fonte: Elaboração do autor.

Com se pode observar na tabela 19, 37% dos plantios de culturas permanentes perdidos ou abandonados localizam-se em extratos de área com menos de 100 hectares, e 31% nos extratos de área com 2.000 hectares ou mais. Este enquadramento e a localização dos plantios de culturas permanentes perdidos e abandonados poderiam ser o ponto de partida de ações, para evitar futuros prejuízos com a perda dos investimentos em plantios permanentes.

Pelo exposto, confirmam-se as indicações dos coeficientes de entropia encontrados nos resultados da reclassificação das imagens de satélite com a integração dos vetores sociais superiores em relação à classificação das imagens baseada nos atributos espectrais, no que diz respeito ao aumento da quantidade de informações, à diversificação das possibilidades de aplicação dos produtos, na ideia da transformação e emergência da novidade. Esses indicadores podem se refletir em ricos conteúdos para ampliar o entendimento sobre as mudanças no uso da terra e cobertura do solo.

Tabela 19. Áreas abandonadas ou perdidas de plantios permanentes no período de 1996 a 2006, por municípios e extratos de área

Extratos de área (hectares)	Acará	Concórdia do Para	Moju	Tailândia	Tomé-Açu	Total Geral
1 a menos de 50 ha	3.810	3.810	2.167	1022	3.311	11.077
50 a menos de 100 ha	2.280	475	2.062	1.966	1.565	8.347
100 a menos de 200 ha	507	157	501	440	1.046	2.652
200 a menos de 500 ha	307	125	1.387	1.148	1.746	4.713
500 a menos de 1000 ha	329	151	1.202	700	1.033	3.417
1000 a menos de 2000	751		2.117	1.919	1.216	6.004
2000 ha e mais	2.091		4.771	4.742	4.537	16.140
Total Geral	10.076	1.674	14.208	11.937	14.453	52.348

Fonte: Elaboração do autor.

Dependendo do foco de interesse, são inúmeras as possibilidades de obter informações e desenvolver aplicações com a integração de vetores sociais em imagens de satélite. Mas, o principal resultado é a introdução dos fatores humanos na interpretação de imagens de satélite. Daí o interesse desta pesquisa em testar uma metodologia para integrar estatísticas agropecuárias em imagens de satélite, para aperfeiçoar a interpretação das imagens de satélites na finalidade de contribuir com as 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.

5.5. 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, com indicadores de acurácia e entropia que apresentam uma boa qualidade nos resultados alcançados com a metodologia aplicada, podemos aprofundar a compreensão

sobre o papel dos produtos nos sistemas de produção e configurar as trajetórias tecnológicas que orientam a economia agrária da microrregião de Tomé-Açu.

Para compreender o papel dos produtos nas trajetórias que ajudam a conformar, utilizamos as variáveis disponíveis nos censos agropecuários considerando três noções básicas sobre a participação dos mesmos no conjunto da produção (tabela 20), a saber:

1) a relevância de um determinado produto ou conjunto de produtos nas variações da produção total reflete a sua importância e, conseqüentemente, a relevância social da trajetória da qual faz parte na economia da região e o seu peso na divisão social do trabalho (importância macroeconômica);

2) a capacidade de um determinado conjunto de produtos no que diz respeito à compensação financeira dos gestores dos processos produtivos, revela a sua eficiência e, em conseqüência, a eficiência da trajetória de que participa no retorno do capital privado (importância microeconômica);

3) se um determinado conjunto de produtos se revela como fonte de investimentos, ele é a base da capacidade de expansão da trajetória que lhe é subjacente.

Destaque-se que os dois primeiros pontos podem guardar uma relação dinâmica, e conseqüências para o terceiro ponto. Dessas noções básicas sobre a participação dos produtos no conjunto da produção, derivam oito tipos de possíveis combinações que se caracterizam como elementos constitutivos de trajetórias tecnológicas, como indicado na tabela 20.

O conteúdo empírico utilizado para determinar a posição de cada produto entre as possíveis combinações dos atributos de relevância são as informações dos Censos Agropecuários de 1995-1996 e 2006, referentes ao valor agregado da produção de origem animal e vegetal. Na produção de origem animal foram consideradas a pecuária de grande porte (bovinos, búfalos, equinos, asininos e muaras), médio porte (suínos, caprinos e ovinos) e animais de pequeno porte (galos, frangas, frangos e pintos, galinhas, codornas e coelhos). Na produção de origem vegetal foram considerados os plantios de culturas temporárias, permanentes, silvicultura e produtos extrativistas.

Tabela 20. Atributos dos grupos de produtos e expectativas em relação às formas de participação nas trajetórias tecnológicas subjacentes

Atributos dos grupos de produtos				
Grupo	Socialmente	Compensação	Fonte	de Participação nas trajetórias Tecnológicas

	relevante	privada positiva	investimento	
1	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Posição principal, influenciando na expansão de modo consistente e com capacidade endógena de desenvolvimento
2	Verdadeiro	Verdadeiro	Falso	Posição principal, influenciando na expansão de modo consistente, porém sem capacidade endógena de desenvolvimento
3	Verdadeiro	Falso	Falso	Posição principal, porém inconsistente e decadente
4	Falso	Falso	Falso	Decadente ou ad hoc ou experimental
5	Falso	Verdadeiro	Verdadeiro	Emergente com capacidade endógena de desenvolvimento
6	Falso	Falso	Verdadeiro	Subordinado, podendo constituir-se financiador
7	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	Principal, inconsistente ou subordinada como financiador
8	Falso	Verdadeiro	Falso	Emergente, sem capacidade endógena de desenvolvimento

Fonte: Costa (2009b, p. 51).

Para analisar a relevância social dos grupos de produtos animais e vegetais na economia agrária da microrregião de Tomé-Açu nos anos agrícolas inicial e final do período da pesquisa, aplicamos a função que Costa (2009b, p. 54) denomina *função de produto*, dado que expressa o resultado macroeconômico da divisão social do trabalho, explicitado na formulação abaixo.

$$Y_B = \beta_{BPC}^Y \cdot Y_{PC} + \beta_{BPL}^Y \cdot Y_{PL} + \beta_{BPM}^Y \cdot Y_{PM} + \beta_{BPP}^Y \cdot Y_{PP} + \beta_{BCP}^Y \cdot Y_{CP} + \beta_{BCT}^Y \cdot Y_{CT} + \beta_{BCH}^Y \cdot Y_{CH} + \beta_{BCS}^Y \cdot Y_{CS} + \beta_{BFM}^Y \cdot Y_{FM} + \beta_{BFN}^Y \cdot Y_{FN} \quad (34)$$

onde a variável dependente é:

Y_B = Valor Bruto da Produção (VBP) total da forma de produção em questão em Reais (R\$)

e as variáveis independentes são:

Y_{PC} = Valor Bruto da Produção (VBP) da pecuária bovina: boi em pé em Reais (R\$).

Y_{PL} = VBP da pecuária bovina: leite e venda de matrizes e outros produtos em Reais (R\$).

Y_{PM} = VBP da pecuária de médios animais: basicamente suínos em Reais (R\$).

Y_{PP} = VBP da pecuária de pequenos animais: basicamente aves em Reais (R\$).

Y_{CP} = VBP das culturas permanentes em Reais (R\$).

Y_{CT} = VBP de culturas temporárias em Reais (R\$).

Y_{CH} = VBP de hortigranjeiros em Reais (R\$).

Y_S = VBP da silvicultura e Reais (R\$).

Y_{FM} = VBP do extrativismo vegetal: madeira em tora em Reais (R\$).

Y_{FNM} = VBP do extrativismo vegetal: produtos florestais não-madeireiros em Reais (R\$).

Os coeficientes β descrevem o modo como cada grupo de produtos e, conseqüentemente, o subsistema de produção a ele subjacente participa da variação total da produção Y_B . Na avaliação da relevância social dos grupos de produtos distinguimos dois modelos lineares derivados da função de produto (32), o primeiro relativo à produção nos estabelecimentos familiares e o segundo relativo à produção nos estabelecimentos patronais.

As regressões resultantes retratam aos modos de produção familiar e patronal na área de estudo, caracterizados pelos coeficientes padronizados (Standardized Regression Coefficients) das regressões lineares derivadas da função de produto, expressas no número de desvios-padrão em torno da média, como indica Costa (2009b, p. 53) nas suas projeções das trajetórias tecnológicas para a Região Norte no ano agrícola 1995-1996.

Para avaliar a relevância privada dos grupos de produtos, ou seja, o peso dos produtos no retorno financeiro para os proprietários dos estabelecimentos aplicou-se a função (33) desenvolvida por Costa (2009b, p. 54) no tratamento deste parâmetro em seu estudo sobre as trajetórias tecnológicas na Região Norte no ano agrícola 1995-1996, como indicado abaixo.

$$Y_L = \beta_{LPC}^Y \cdot Y_{PC} + \beta_{LPL}^Y \cdot Y_{PL} + \beta_{LPM}^Y \cdot Y_{PM} + \beta_{LPP}^Y \cdot Y_{PP} + \beta_{LCP}^Y \cdot Y_{CP} + \beta_{LCT}^Y \cdot Y_{CT} + \beta_{LCH}^Y \cdot Y_{CH} + \beta_{LCS}^Y \cdot Y_{CS} + \beta_{LFM}^Y \cdot Y_{FM} + \beta_{LFN}^Y \cdot Y_{FN} \quad (35)$$

Nesta função, a variável dependente Y_L representa o total da renda líquida do valor bruto da produção (VBP total menos custo total da produção), correspondente a remuneração privada dos proprietários dos estabelecimentos, enquanto as variáveis independentes (Y_{PC} , Y_{PL} , Y_{PM} , ...) representam aos mesmos produtos e valores da função de produto. Só que desta vez, as variáveis independentes, que na regressão da função anterior (32) influenciam os coeficientes β na variação da produção total, na regressão da função (33) influenciam os coeficientes β na variação da rentabilidade dos estabelecimentos.

Dito de outra forma, enquanto a função (32) é uma *função de produto*, cuja regressão expressa o resultado total da divisão social do trabalho na macroeconomia da região, a função (33) é uma *função de desempenho*, cuja regressão descreve o peso e a forma como os grupos de produtos contribuem na microeconomia dos estabelecimentos, alimentando a remuneração privada dos seus proprietários.

Da mesma maneira que na avaliação da relevância social, distinguimos a produção familiar da produção patronal na avaliação da relevância privada dos grupos de produtos realizada através da função de desempenho. Deste modo, obtivemos regressões diferenciadas dos modos de produção camponês e patronal, caracterizados pelos coeficientes padronizados de regressões lineares derivadas da função desempenho, expressadas no número de desvios-padrão em torno da média.

Para avaliar a influência dos grupos de produtos nos investimentos que fundamentam a dinâmica de expansão das trajetórias tecnológicas, levamos em conta tanto as fontes endógenas como as fontes exógenas, aquelas alimentadas pela renda própria dos estabelecimentos gerada nas atividades agrícolas, e esta adicionada nos investimentos do estabelecimento por fontes externas tais como as linhas de crédito e financiamento governamental ou privado.

Considerando que a renda exógena dos estabelecimentos tem sua origem no Valor Bruto da Produção e se forma da maneira descrita na função de produto, a regressão para avaliação da dinâmica de investimentos foi formulada com sugere Costa (2009b, p. 54), complementada pela participação de fontes exógenas na forma de financiamento externo, como indicado abaixo.

$$Y_F = \beta_{FPC}^I \cdot Y_{PC} + \beta_{FPL}^I \cdot Y_{PL} + \beta_{FPM}^I \cdot Y_{PM} + \beta_{FPP}^I \cdot Y_{PP} + \beta_{FCP}^I \cdot Y_{CP} + \beta_{FCT}^I \cdot Y_{CT} + \beta_{FCH}^I \cdot Y_{CH} + \beta_{FCS}^I \cdot Y_{CS} + \beta_{FFM}^I \cdot Y_{FM} + \beta_{FFN}^I \cdot Y_{FN} + \beta_{FC}^I \cdot C_I \quad (36)$$

Nesta formulação, Y_F representa o volume total de investimentos observado em função dos grupos de produtos das funções de produto (32) e de desempenho (33), e C_I o volume de crédito para investimentos obtido de fontes externas. Os coeficientes β 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 β da variável C_I dimensiona a participação do crédito externo nessas variações. A essa função Costa (2009b, p. 54) denomina *investimento-fonte*.

Os coeficientes de regressão da função investimento-produto foram diferenciados nas suas formas de produção conforme a maior aplicação do trabalho familiar ou patronal, e organizados em duas matrizes de valores β que correspondem aos modos de produção camponês e patronal, juntamente com os coeficientes de regressão das funções de produto e desempenho. Os valores dessas matrizes foram utilizados para classificar os grupos de produtos quanto à relevância social, à rentabilidade privada, e às fontes de investimento.

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 mutuo fortalecimento.

A concorrência caracteriza um terceiro tipo de relação, em que um grupo de produtos evolui tomando 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 5 fatores por análise. Como resultado dos processamentos, foram identificadas na microrregião de Tomé-Açu seis trajetórias tecnológicas no período compreendido entre os anos agrícolas 1995-1996 e 2005-2006, as quais são descritas a seguir.

a) Trajetória Camponês-T1.

Conduzida por agentes camponeses, a Trajetória Camponês-T1 se apresenta no ano agrícola 1996-1996 com o VBP diversificado entre culturas temporárias (45%) e permanentes (28%), complementada pelo extrativismo misto com domínio madeireiro e a pecuária leiteira (27%). No que diz respeito ao uso da terra a trajetória tecnológica em questão se caracteriza por sistemas de produção altamente diversificados que apresentam baixo impacto na biodiversidade e baixa formação de dejetos poluidores, mantendo a maior parte da área coberta com florestas (54%) em bom estado de conservação e um alto grau de regeneração florestal em fase de maturidade avançada, na forma de capoeira reserva em 18% da área total.

Já no ano agrícola 2005-2006, a Trajetória Camponês-T1 se apresenta com a VBP altamente concentrado em culturas permanentes (79%), complementado por culturas temporárias (19%) e extrativismo madeireiro (2%). Do ponto de vista de ocupação da terra os sistemas de produção se apresentam diversificados com 28% da área coberta com culturas temporária, 14% com culturas permanentes em 14% com florestas produtivas em madeira. Contudo, já se registra um significativo aumento na área de florestas e pastagens degradadas (respectivamente 16% e 19% da área total), além de um baixo grau de regeneração florestal em estágio inicial na forma de capoeira de pousio (7%). Essas mudanças no uso da terra da Trajetória Camponês-T1 indicam uma tendência de especialização em culturas permanentes, provocando fortes impactos na biodiversidade e na formação de dejetos poluidores.

b) Trajetória Camponês-T2.

Conduzida por agentes camponeses, a Trajetória Camponês-T2 se apresenta no ano agrícola 1995-1996 com o VBP concentrado em culturas temporárias (51%), complementado com culturas permanentes (18%), extrativismo não madeireiro (15%) e madeireiro (15%). Em relação ao uso da terra, a trajetória se caracteriza por uso diversificado do solo e dos recursos naturais, mantendo grande parte da área coberta com florestas ricas em madeira (48%) e uma significativa área de regeneração florestal em estágio avançado na forma de capoeira reserva (21%), com baixo impacto na biodiversidade e na formação de dejetos com impacto poluidor.

Com uma visível ampliação da área plantada com culturas permanentes, a Trajetória Tecnológica T2 apresenta no ano agrícola 2005-2006 o VBP concentrado em culturas temporárias (55%), complementado com culturas permanentes (36%), extrativismo misto com domínio não madeireiro (7%) e silvicultura (2%). A trajetória em questão continua a

apresentar um uso diversificado da terra e dos recursos naturais, mas as culturas temporárias ampliam-se em consórcio com pastagens e as áreas de reserva florestal se reduzem (34%), enquanto a regeneração florestal é praticamente nula (0,02%). Tais características garantem um baixo impacto dos sistemas de produção na biodiversidade em função da diversidade no uso da terra, mas não protegem o meio ambiente da formação de dejetos químicos poluidores com a ampliação da área plantada com culturas permanentes, nem da pecuarização com o aumento das pastagens através do consórcio com temporárias.

c) Trajetória Camponês-T3.

A Trajetória Camponês-T3 foi identificada somente no ano agrícola 2005-2006, com o VBP altamente concentrado na pecuária bovina (94%), e complementado com culturas permanentes (6%). Com a pecuária financiada pelo consórcio de pastos com culturas temporárias, os sistemas de produção desta trajetória são marcados pelo uso extensivo da terra e homogeneização da paisagem, alto impacto na biodiversidade e regeneração florestal nula. Pelo que tudo indica esta trajetória tem origem nos estabelecimentos da Trajetória Camponês-T2 que assumiram a tendência de pecuarização observada no ano 2005-2006. Desta mudança no uso da terra resulta uma trajetória tecnológica camponesa singular, que produz intensa formação de dejetos poluentes pela queima da floresta e a formação de florestas e pastagens degradadas que 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 com o VBP concentrado no extrativismo madeireiro (70%), complementado por culturas temporárias em consórcio com pastagens (21%) e por culturas permanentes solteiras (9%). 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 pela formação de áreas degradadas.

No ano agrícola 2005-2006 a Trajetória Patronal-T4 apresenta o VBP concentrado na pecuária bovina (73%), complementado com culturas temporárias em consórcio com pastagens (21%). No que diz respeito ao uso da terra, 70% da área total dos estabelecimentos é composto por áreas degradadas, 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 deste sistema de produção, a trajetória Patronal-T4 se caracteriza no final do período estudado pelo uso extensivo dos recursos naturais, homogeneização da paisagem com alto impacto na biodiversidade e formação intensa de dejetos, na forma de emissões poluentes (pela queima de florestas e pastagens) e áreas degradadas.

e) Trajetória Patronal-T5.

Conduzida por agentes patronais, no ano agrícola 1995-1996 a Trajetória Patronal-T5 apresenta o VBP concentrado em plantations de culturas permanentes (47%) e pecuária bovina (32%), complementado pelo extrativismo madeireiro (18%) e culturas temporárias (3%). Naquele ano os estabelecimentos desta trajetória possuíam 77% da sua área total coberta com florestas primárias, fornecendo matéria prima abundante para alimentar o extrativismo madeireiro. 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 uma significativa formação de dejetos químicos poluidores.

No ano agrícola 2006, já com suas reservas florestais esgotadas, a Trajetória Patronal-T5 segue seu curso com o VBP altamente concentrado nas culturas permanentes (92%), com destaque para a agroindústria de dendê, complementado com a pecuária bovina (5%) e culturas temporárias (2%) e extrativismo não madeireiro (1%). Como resultado deste arranjo, os estabelecimentos da Trajetória Patronal-T5 apresentam 62% de suas áreas degradadas com matas improdutivas (56%) e pastos degradados (6%), 28% da área subdividida entre culturas temporárias, pecuária, extrativismo não madeireiro, silvicultura e capoeiras jovens, e 16% com culturas permanentes. Apesar da diversificação em 28% da área total, esta trajetória é marcada pelo alto impacto na biodiversidade em função da degradação das florestas e homogeneização da paisagem, além da significativa formação de dejetos químicos poluidores.

f) Trajetória Patronal-T7.

A Trajetória Patronal-T7 aparece como novidade no final do período estudado (2006), conduzida por agentes patronais com 100% o VBP concentrado na mecanização de culturas temporárias, 80% proveniente do consorcio com pastagens. Tudo indica que os produtores desta trajetória adotaram o Sistema Barreirão, uma tecnologia estudada 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). 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 de pousio e reserva. Em consequência dos sistemas de produção, verifica-se nessas áreas uma forte homogeneização da paisagem, com alto impacto na biodiversidade e significativa formação de dejetos químicos poluidores.

A Trajetória Patronal-T7 tem sua origem nas Trajetórias T4 e T5, provavelmente como resultado final da degradação do solo e dos recursos naturais que os sistemas de produção dessas trajetórias causaram ao meio ambiente. Por paradoxal que possa parecer, a solução encontrada é o aprofundamento das tecnologias mecânico-químicas que levaram àquele estado de degradação ambiental.

Para compreender melhor a configuração das trajetórias tecnológicas reveladas, vejamos mais de perto a situação, analisando o peso e o papel de cada trajetória tecnológica na economia agrária da microrregião de Tomé-Açu.

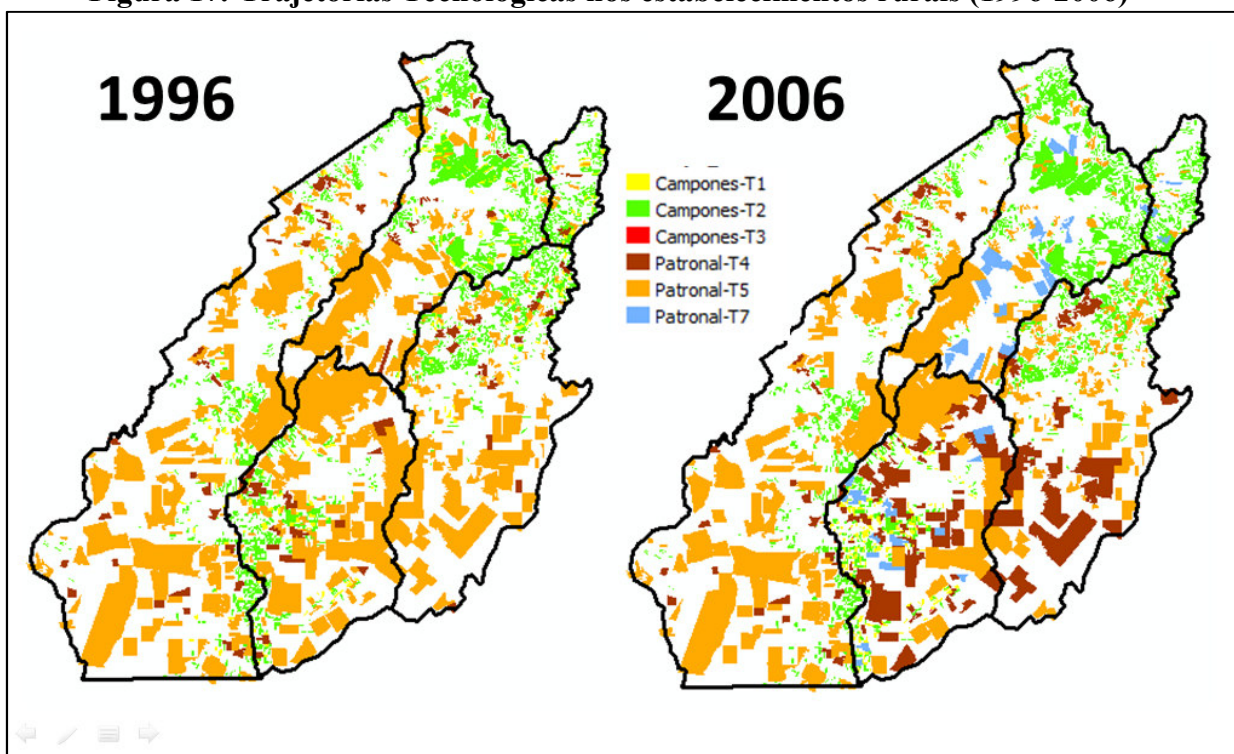
5.6. Trajetórias tecnológicas na formação do sistema agrário regional

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 16 nos polígonos de cor laranja, que se manifesta em grandes propriedades na forma de plantation de culturas permanentes, particularmente o dendê, caracterizada nos estudos de Costa (2009b) na Amazônia brasileira, pelo uso intensivo do solo e homogeneização da paisagem, com alto impacto na biodiversidade e na formação de dejetos/impacto poluidor.

Uma segunda observação que não escapa do olhar atento, indica um significativo aumento da área ocupada com a Trajetória Patronal-T4, como podemos observar na figura 13 nos polígonos de cor marron particularmente nos municípios Tomé-Açu e Tailândia. Esta trajetória reúne um conjunto de estabelecimentos de médio porte que convergem para a pecuária de corte, que pelos estudos de Costa (2009b) é 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 estudado é a emergência de Trajetória Patronal-T7, que pode ser visualizada na figura 17 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).

Figura 17. Trajetórias Tecnológicas nos estabelecimentos rurais (1996-2006)



Fonte: Elaboração do autor.

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 da trajetórias camponesas que aparecem com abundância nos polígonos de cor verde clara na figura 13. em função da alta resolução que os polígonos de menor tamanho exigem. Para tecer considerações sobre o assunto, é necessário uma maior aproximação sobre as mudanças no uso da terra a nível local, lançando mão das estatísticas de detecção de mudança na tabela 21.

Tabela 21. Detecção de mudança das trajetórias tecnológicas pelo número de estabelecimentos agrícolas na microregião de Tomé-Açu

Nº Estabs./ Trajetória Tecnológica	Ano agrícola 1995-1996				
	Campones- T1	Campones- T2	Patronal- T4	Patronal- T5	Total Geral

Ano agrícola 2005-2006	Campones-T1	59	445			504
	Campones-T2	123	5.432			5.555
	Campones-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

Fonte: Elaboração do autor.

Em 1996, no início do período de estudo desta pesquisa, do total de 6.582 de estabelecimentos agrícolas espacializados na malha fundiária de Tomé-Açu, 6.125 (73%) desenvolviam trajetórias tecnológicas camponesas e 457 (7%) em trajetórias tecnológicas patronais. Já no ano 2006, no final do período do estudo, 6.073 estabelecimentos mantiveram-se em trajetórias camponesas, ao passo que os estabelecimentos em trajetórias 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 em 0,85% dos estabelecimentos camponeses. Apesar do pequeno decréscimo no número de estabelecimentos camponeses, o processo de diferenciação é uma mudança que se reveste de grande significado.

Também se destacam as mudanças que ocorrem no âmbito das trajetórias patronais, como a transição de 117 estabelecimentos da Trajetória Patronal T-5 para a Trajetória Patronal-T4, sugerindo o abandono das plantations de dendê em favor da pecuária bovina. É interessante observar também a emergência da Trajetória Patronal-T7 a partir de 40 estabelecimentos das trajetórias Patronal-T4 e Patronal-T5, indicando o esgotamento dos sistemas de produção das trajetórias de origem, e a necessidade de recuperação de áreas degradadas em consequência do uso deletério dos recursos naturais. Neste caso, entretanto, como a opção para recuperação das áreas degradadas é um sistema de produção que aprofunda as tecnologias mecânico-químicas, é mais uma mudança para a permanência, do que uma mudança propriamente dita.

No quadro em foco, é interessante notar também os movimentos que se fazem no interior das trajetórias camponesas, ressaltando 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, face a tendência desta trajetória demonstrada no final do período estudado.

Contudo, a mudança mais radical e interessante no conjunto das trajetórias estudadas, é a transição de 52 estabelecimentos da Trajetória Camponês-T1 para a Trajetória Patronal-T5, demonstrando a possibilidade de diferenciação da agricultura familiar para a patronal, através de um sistema que integra agricultores familiares à agroindústria de dendê.

Todas as mudanças que ocorrem nos estabelecimentos agrícolas na evolução das trajetórias tecnológicas implicam em mudanças no uso da terra, e o tamanho da área impulsionada por cada trajetória é determinante na configuração do sistema agrário regional. Vejamos então como as mudanças de trajetórias que ocorrem nos estabelecimentos agrícolas, alteram o tamanho das áreas de uso nos diversos sistemas de produção.

No início do período de estudo, do total da área de 1.006.679 hectares espacializados na malha fundiária de Tomé-Açu, 76% eram ocupados por trajetórias patronais totalizando 757.740 hectares, e 24% ocupados por trajetórias camponesas totalizando 238.938 hectares (tabela 22). 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.

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, reforçando a hipótese de substituição das 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. Desta maneira, apesar das perdas de área para outras trajetórias ao longo da década de 1996 a 2006, a trajetória que tem como atividade principal plantations de dendê (Patronal-T5) chega ao final do período comandando o uso de mais da metade da área total, com apenas 321 estabelecimentos do total de 6.582 estabelecimentos da amostrada.

Tabela 22. Detecção de mudança das trajetórias tecnológicas pela área dos estabelecimentos agrícolas na microregião de Tomé-Açu

Área em Hectares / Trajetória Tecnológica	Ano agrícola 1995-1996				
	Campones- T1	Campones- T2	Patronal- T4	Patronal- T5	Total Geral

Ano agrícola 2005-2006	Campones-T1	7.792	10.898			18.689
	Campones-T2	16.025	196.833			212.858
	Campones-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

Fonte: Elaboração do autor.

Mas, a grande novidade no final do período é o surgimento da trajetória Patronal-T7, que ganha espaço com a cessão de 47.545 hectares das trajetórias patronais originárias, 17.072 hectares da Trajetória Patronal-T4 e 30.473 hectares da Trajetória Patronal-T5. A nova Trajetória Patronal-T7 introduz na região uma importante tendência que se encontra avançada em outras regiões do estado do Pará, 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 pela Trajetória Patronal-T4, orientada para a criação de gado de corte, e pela Trajetória Patronal-T5, orientada para plantations de culturas permanentes. Assim, o sucesso da Trajetória Patronal-T7 na região, depende da reciclagem das áreas degradadas pelas trajetórias Patronal-T4 e Patronal-T5.

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 hectares da primeira para a segunda, e de 10.898 hectares da segunda para a primeira. A troca desigual em favor da Trajetória Camponês-T2 compensa em termos de área o que esta trajetória perdeu para a Trajetória Camponês-T1, com a migração de 445 estabelecimentos. O movimento de rebaixamento da importância da Trajetória Camponês-T1 se sacramenta com a transferência de 7.174 hectares desta trajetória para a Trajetória Patronal-T5, com a diferenciação dos 52 estabelecimentos que passaram da condição camponesa para a condição patronal.

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. A presença desta trajetória nova trajetória em 2006 nos 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; VEIGA, 1991; SOLYNO SOBRINHO, 2004) mas ainda não havia de manifestado do maneira visível até então nesta região.

Na verdade, todos esses movimentos das unidades de produção e mudanças no uso da terra são regidos por uma lógica de determinação maior, que são os valores de troca dos produtos que fundamentam as trajetórias tecnológicas. Assim, para compreender o que estimula o aumento, a redução ou a paralização na produção de um determinado produto, é necessário analisar o Valor Bruto da Produção (VBP) dos produtos que compõem o portfólio de cada trajetória tecnológica, o que permite também analisar o papel e o peso das trajetórias tecnológicas na configuração da economia agrária regional.

Uma visão geral no Valor Bruto da Produção dos estabelecimentos analisados nesta pesquisa, revela que no ano agrícola de 1995-1996 o VBP total apurado foi de R\$65.801.218,00 (sessenta e cinco milhões, oitocentos e um mil e duzentos e dezoito reais), equivalentes a US\$ 65.512.963,00 (sessenta e cinco milhões, quinhentos e doze mil, novecentos e sessenta e três dólares), considerando a taxa de câmbio do Banco Central do Brasil em 28/06/1996⁸ para a troca da moeda brasileira por dólares americanos. Destacam-se como municípios com maior VBP Acará. Moju e Tomé-Açu, e como trajetórias que produzem maior VBP as trajetórias Camponês-T2 e Patronal-T5 (tabela 23).

Tabela 23. Valor Bruto da Produção em 1996 por município e Trajetória Tecnológica (valores em Reais – R\$1,00)

VBP Trajetórias 1996	Campones-T1	Campones-T2	Patronal-T4	Patronal-T5	Total Geral
Acará	759.886	16.617.086	150.513	1.188.761	18.716.245
Concórdia do Pará	631.791	3.801.408	59.018	362.171	4.854.388
Moju	2.466.873	10.641.130	2.635.261	3.400.676	19.143.940
Tailândia	453.306	1.311.695	180.746	4.399.959	6.345.706
Tomé-Açu	1.354.850	8.865.774	563.946	5.956.369	16.740.939
MRH Tomé-Açu	5.666.706	41.237.093	3.589.484	15.307.936	65.801.218

Fonte: Elaboração do autor.

⁸ <https://www.bcb.gov.br/conversao>.

Como se observa na tabela 24, no ano de 2006 o VBP total da microrregião de Tomé-Açu foi de R\$258.449.765,00 (duzentos e cinquenta e oito milhões, quatrocentos e quarenta e nove mil, setecentos e sessenta e cinco reais), equivalentes a US\$120.883.882,00 (cento e vinte milhões, oitocentos e oitenta e três mil, oitocentos e oitenta e dois dólares), considerando a taxa de câmbio do Banco Central do Brasil para a troca da moeda brasileira por dólares americanos 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. No final do período de estudo o município de Moju apresenta o maior VBP, mantendo-se as trajetórias Tecnológicas Camponês-T2 e Patronal-T5 como as que produzem o maior VBP.

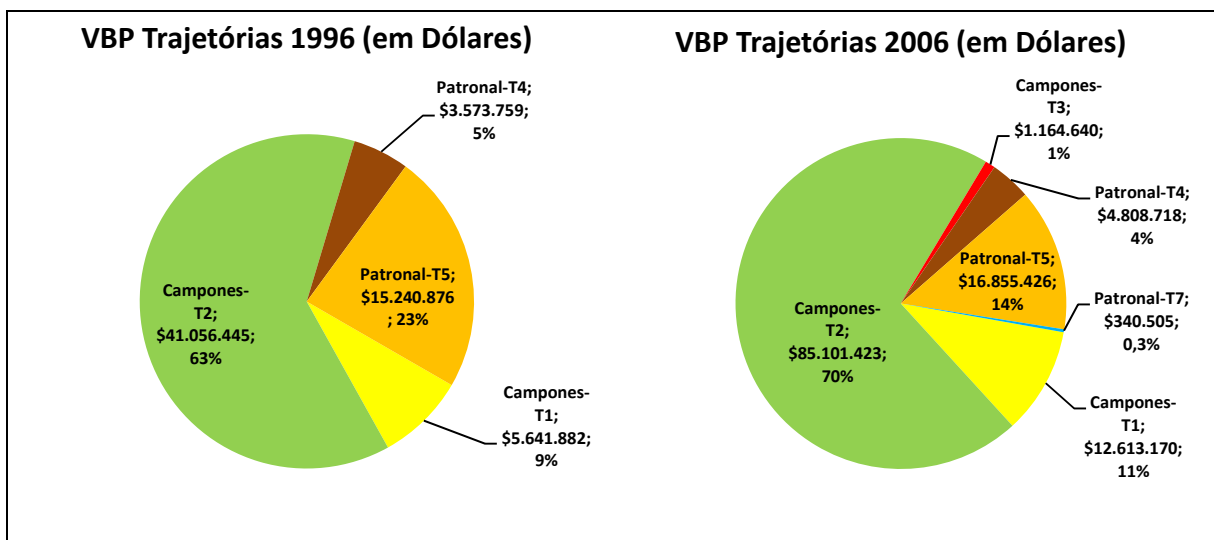
Tabela 24. Valor Bruto da Produção em 2006 por município e Trajetória Tecnológica (valores em Reais – R\$1,00)

VBP Trajetórias 2006	Campones -T1	Campones-T2	Campones -T3	Patronal-T4	Patronal-T5	Patronal-T7	Total Geral
Acará		64.438.497			905.000	149.000	65.492.497
Concórdia do Pará	82.000	13.534.863			174.000	68.000	13.858.863
Moju	24.614.000	91.202.000		2.330.000	25.010.910		143.156.910
Tailândia	1.202.000	827.000	2.490.000	3.659.643	4.115.000	511.000	12.804.643
Tomé-Açu	1.068.959	11.944.501		4.291.398	5.831.994		23.136.852
MRH Tomé-Açu	26.966.959	181.946.861	2.490.000	10.281.041	36.036.904	728.000	258.449.765

Fonte: Elaboração do autor.

Quando comparamos a participação de cada trajetória tecnológica com o VBP em dólares, verificamos que a Trajetória Camponês-T2 é responsável por 63% do VBP total em 1996 e 70% no ano 2006 (figura 18). A segunda maior contribuição para o VBP total da região é da Trajetória Patronal-T5, participando com 23% em 1996 e 14% em 2006.

Figura 18. Participação das trajetórias tecnológicas no valor bruto da produção da economia agrária da microrregião de Tomé-Açu (1996-2006)



Fonte: Elaboração do autor.

Isso quer dizer que a trajetória dominada pelas plantations de culturas permanentes (Patronal-T5), que ocupa 70% da área total dos estabelecimentos estudados em 1996 e 52% em 2006, provoca alto impacto na biodiversidade e poluição química, contribui com apenas 23% do VBP regional em 1996 e 14% em 2006. Em contraste, a trajetória Camponês-T2 que ocupa apenas 21% da área total por todo período, e tem uma produção altamente diversificada de alimentos, culturas permanentes, pecuária leiteira e produtos extrativos, contribui 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 distribui-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, rentabilidade e distribuição de renda. Ademais, contribui decisivamente para o abastecimento das região e do estado.

Comparando o conjunto das trajetórias patronais com as trajetórias camponesas, o contraste se aprofunda ainda mais. As trajetórias camponesas perderam parte de sua área como indicado acima, mas ampliaram o seu VBP em 111% no período de 1996 a 2006, aumentando de US\$ 46,6 milhões para US\$ 98,8 milhões de dólares. Já as trajetórias patronais ampliaram sua área absorvendo os estabelecimentos familiares que se diferenciaram, mas tem o crescimento do seu VBP limitado em 17%, mesmo com a emergência da Trajetória Patronal, introduzindo a soja como um produto de grande valor no mercado.

Em relação à transferência de área entre trajetórias, merece destaque uma mudança no uso da terra entre as trajetórias patronais no período de estudo, com um significativo aumento

na área ocupada com a pecuária de corte, manifestando-se na conversão de 180.390 hectares da trajetória Patronal-T5 para a Trajetória Patronal-T4 (rever tabela 22, p. 135). Tal transferência implica em um aumento de 200% na área ocupada com pecuária de corte e uma redução de 41% na área ocupada com a Trajetória Patronal-T5, sugerindo uma forte tendência de pecuarização nos estabelecimentos patronais. Assim, se o processo de pecuarização teve pouco espaço entre os estabelecimentos familiares, andou a passos largos nos estabelecimentos patronais.

A pecuarização dos estabelecimentos patronais no período de 1996 a 2006 na área de estudo ocorreu de maneira notável nos municípios de Tailândia e Moju. Como se pode observar na tabela 25, a área ocupada pela Trajetória Tecnológica-T4 aumenta cinco vezes no município de Tailândia, crescendo de 15.729 para 88.657 hectares, e sete vezes no município de Tomé-Açu, crescendo de 12.772 para 91.733 hectares. Todo aumento de área da Trajetória Patronal-T4 decorre da conversão de áreas de Trajetória Patronal-T5, sugerindo o abandono dos investimentos nas áreas plantadas com culturas permanentes, para o estabelecimento de pastagens e o desenvolvimento da pecuária de corte.

No município de Tailândia a trajetória Patronal-T5 inicia o período com 243.245 hectares e chega ao final do período com 154.588 hectares, perdendo 36% da sua área. No município de Tomé-Açu a mesma trajetória inicia o período com 149.120 e chega ao final com 77.333, perdendo 48% da área (tabela 25). Nos outros municípios a Trajetória Patronal-T5 sua área e até ampliam, sendo este o caso do município de Qual seria o motivo para o abandono dos plantios permanentes e a mudança no uso da terra para o cultivo de pastagens?

Tabela 25. Evolução da Área (hectares) ocupada com trajetórias tecnológicas por município 1996-2006

Área (hectares)		Estágio inicial (ano 1996)				
Estágio final (ano 2006)	Trajetórias/Município	Camponês-T1	Camponês-T2	Patronal-T4	Patronal-T5	Total Geral
	<i>Acará</i>	<i>7.351</i>	<i>80.908</i>	<i>8.212</i>	<i>50.579</i>	<i>147.050</i>
	Camponês-T2	7.351	80.908			88.258
	Patronal-T5			8.212	20.107	28.319
	Patronal-T7				30.473	30.473
	<i>Concórdia do Pará</i>	<i>2.759</i>	<i>16.673</i>	<i>1.342</i>	<i>1.910</i>	<i>22.684</i>
	Camponês-T1		62			62
	Camponês-T2	2.759	16.610			19.370

Patronal-T5				1.910	1.910
Patronal-T7			1.342		1.342
Moju	5.915	39.783	22.201	262.629	330.528
Camponês-T1		362			362
Camponês-T2	5.915	39.421			45.337
Patronal-T4			22.201		22.201
Patronal-T5				262.629	262.629
Tailândia	7.792	30.119	15.729	243.245	296.885
Camponês-T1	7.792	9.886			17.678
Camponês-T2		20.016			20.016
Camponês-T3		217			217
Patronal-T4				88.657	88.657
Patronal-T5				154.588	154.588
Patronal-T7			15.729		15.729
Tomé-Açu	7.174	40.466	12.772	149.120	209.531
Camponês-T1		588			588
Camponês-T2		39.878			39.878
Patronal-T4				91.733	91.733
Patronal-T5	7.174		12.772	57.387	77.333
Total Geral	30.990	207.948	60.257	707.484	1.006.679

Fonte: Elaboração do autor.

O perfil dos 117 estabelecimentos que converteram 180.390 hectares da Trajetória Patronal-T5 para a Trajetória Patronal-T4 pode ser observado na tabela 26. No município de Tomé-Açu, os 22 estabelecimentos que fizeram esta conversão possuem áreas com mais de 2.500 hectares, totalizando 91.733 hectares. Dos 95 estabelecimentos que optaram por esta mudança no município de Tailândia, 58 possuem áreas de 200 a 500 hectares, e 37 possuem áreas de 1.000 a menos que 2.500 hectares, totalizando 88.657 hectares.

Tabela 26. Número de estabelecimentos que se converteram da Trajetória Patronal- T5 para a Trajetória Patronal-T4 por município e extrato de área (1996-2006)

Lotes por município e extrato de área	Tailândia		Tomé-Açu		TOTAL	
	Nº lotes	Hectares	Nº lotes	Hectares	Nº lotes	Hectares
200 a menos de 500 ha	58	19.704			58	19.704

1000 a menos de 2500 ha	37	68.953			37	68.953
2500 ha e mais			22	91.733	22	91.733
TOTAL	95	88.657	22	91.733	117	180.390

Fonte: Elaboração do autor.

Ou seja, apesar de todos os estabelecimentos que optaram pela conversão da Trajetória Patronal-T5 para a Trajetória Patronal-T4 serem patronais, há diferenças no perfil desses estabelecimentos em relação aos estratos de área, o que denota uma considerável diversidade entre médios e grandes empreendimentos. Tal diversidade sugere que pode haver um comportamento diferenciado nas mudanças de uso da terra em função do tamanho da área. Vejamos então de que maneira a mudança de trajetória se reflete no uso da terra nos diferentes estratos de área nesses estabelecimentos.

A conversão da trajetória Patronal-T5 para a T4 nos estabelecimentos com 2.500 hectares ou mais ocorre somente no município de Tomé-Açu, um município caracterizado pela forte presença da migração japonesa no estado do Pará, considerado um exemplo na Amazônia de agricultura diversificada em sistemas de produção agroflorestais, com os produtores apresentando um alto grau de organização da produção para o mercado através da CAMTA – Cooperativa Mista de Tomé-Açu. Esta cooperativa é gerida por japoneses, e trabalha com a industrialização de produtos tropicais, destacando-se na produção de polpas e sorvetes de frutas, pimenta-do-reino, amêndoas de cacau e óleos vegetais, com larga aceitação nos mercados nacional e internacional.

Nesse contexto de diversificação da produção e organização para os mercados, é importante analisar a tendência de pecuarização que se manifesta de maneira dominante em outras regiões do estado do Pará (REYNAL, MUCHAGATA, *et al.*, 1995; SOLYNO SOBRINHO, 2004), provocando uniformização da paisagem e concentração de renda, com grande impacto no meio ambiente e na economia agrária regional.

No município da Tailândia, a conversão da trajetória Patronal-T5 para a trajetória Patronal-T4 ocorre em 95 estabelecimentos com menos de 2,000 hectares, 58 com área de 200 a menos de 500 hectares, e 37 com área de 1.000 a menos que 2.500 hectares. Tailândia é um município novo no estado do Pará, que teve sua emancipação político-administrativa em 1988. A ocupação econômica das terras neste município iniciou-se com a abertura da rodovia estadual PA-150 ligando a região Sudeste com a capital do estado, que deu espaço para violentos conflitos fundiários na década de 1970. Para equacionar esses conflitos, iniciou-se

um processo de colonização em 1978 através do ITERPA - Instituto de Terras do Pará, que atraiu milhares de colonos e fazendeiros.

Para avaliar a magnitude do impacto decorrente das mudanças no uso da terra em função da conversão da trajetória Patronal-T5 para a trajetória Patronal-T4 no município de Tomé-Açu, reveja na tabela 25 que a trajetória orientada para a pecuária de corte (Patronal-T4) ocupava no início do período uma área de 12.772 hectares, e chega ao final do período com uma área ampliada para 91.733 hectares. Graças a esta importante ampliação da trajetória Patronal-T4 no município de Tomé-Açu, a área ocupada com sistemas de produção orientados para a pecuária de corte representa nada menos que 44% da área total da malha fundiária trabalhada nesta pesquisa para o município em questão.

Nos estabelecimentos em foco, no VBP da Trajetória Patronal-T5 em 1996 as culturas permanentes participavam com 9%, o extrativismo madeireiro e misto com 45%, e consórcio de culturas temporárias com pastagem com 46% (ver tabela 27). Como estrutura produtiva que dá suporte a este arranjo produtivo, 76% da área total dos estabelecimentos era coberta com florestas ricas em produtos extrativos, 7% com culturas permanentes, 9% com culturas temporárias em consórcio com pastagens, e o restante distribuído em pastagens degradadas e capoeiras (ver tabela 28).

Naquele momento a pecuária já existia como semente, mas dependia do consórcio com culturas temporárias para manter o modesto rebanho e ampliar a formação de pastagens. Com a renda das culturas temporárias e o aporte da produção extrativa, financiou-se por dez anos a ampliação das pastagens e do rebanho bovino, de tal forma que ao final do período 78% do VBP resultava do consórcio de culturas temporárias com pastagens, e 22% de áreas dedicadas exclusivamente à pecuária bovina (tabela 27).

Tabela 27. Valor Bruto da Produção por extrato de área nos estabelecimentos que se converteram da Trajetória Patronal-T5 para a Trajetória Patronal-T4

VBP 1996 (em Dólares)	Extratos de área Trajetória Patronal-T5 em 1996				Extratos de área Trajetória Patronal-T4 em 2006			
	200 < 500 ha	1000 < 2000 ha	2000 ha ou mais	Total Geral	200 < 500 ha	1000 < 2000 ha	2000 ha ou mais	Total Geral
Extrativismo madeireiro	41.438	28.934	79.552	149.924				
Extrativismo misto com domínio madeira			1.505.203	1.505.203				
Temporárias e pasto	170.818	102.632	1.430.268	1.703.719				

predominância da pecuária bovina								
Temporárias e pasto com predominância de temporárias							2.007.202	2.007.202
Exclusivo da pecuária bovina					475.712	464.271	563.606	1.503.589
Plantio de Permanentes	44.501	3.950	293.258	341.708	208.124			208.124
Total Geral	256.758	135.516	3.308.281	3.700.554	683.836	464.271	2.570.808	3.718.915

Fonte: Elaboração do autor.

Como resultado das mudanças no uso da terra decorrentes da conversão da trajetória Patronal-T5 para a trajetória Patronal-T4 nos estabelecimentos com 2.000 hectares ou mais no município de Tomé-Açu, chegou-se ao final do período com 62% do total da área coberta com florestas improdutivas, 15% com pastos depauperados, 7% com culturas permanentes improdutivas, e 3% em vegetação secundária em forma de capoeiras. Assim, em 10 anos de pecuarização nos estabelecimentos com grande disponibilidade de terras e recursos naturais, esgotou-se a capacidade de produzir renda em 137.546 hectares de florestas e 9.081 hectares de plantios permanentes (tabela 28).

Mas, em função da grande amplitude de terras disponíveis, é possível continuar a ampliação das pastagens e do rebanho bovino através do financiamento do consórcio com culturas temporárias. Ou seja, é possível ampliar ainda mais o impacto deste sistema de produção no meio ambiente, com o uso extensivo dos recursos naturais, homogeneização da paisagem, alto impacto na biodiversidade e formação intensa de dejetos, na forma de emissões poluentes (pela queima de florestas e pastagens) e áreas degradadas.

Tabela 28. Uso da terra (em hectares) por extrato de área nos estabelecimentos que se converteram da Trajetória Patronal-T5 para a Trajetória Patronal-T4

Mudança no uso da terra na conversão Patronal-T5/T4 (em hectares)	Extratos de área Trajetória Patronal-T5 (ano 1996)				Extratos de área Trajetória Patronal-T4 (ano 2006)			
	200 < 500 ha	1000 < 2000 ha	2000 ha ou mais	Total Geral	200 < 500 ha	1000 < 2000 ha	2000 ha ou mais	Total Geral
Extrativismo madeireiro	14.714	18.316	37.531	70.560				
Extrativismo misto com			66.986	66.986				

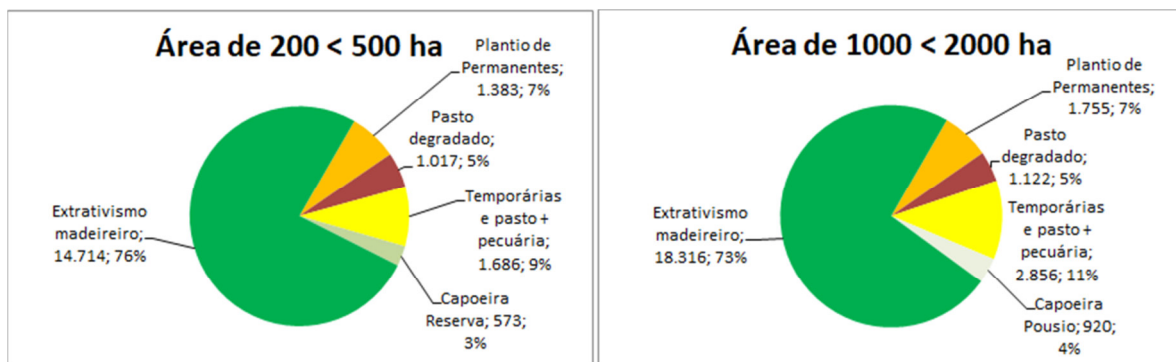
domínio madeireiro								
Mata improdutivo					10.064	13.928	83.963	107.956
Temporárias e pasto com predominância de temporárias							13.419	13.419
Temporárias e pasto com predominância de pecuária	1.686	2.856	11.398	15.940				
Exclusivo da pecuária bovina					3.830	5.259	6.384	15.473
Pasto degradado	1.017	1.122	2.549	4.688	3.616	2.857	13.774	20.247
Plantio de Permanentes	1.383	1.755	9.551	12.690	1.359		9.081	10.439
Plantio de Silvicultura							4.856	4.856
Capoeira Pousio		920	6.158	7.078	806			806
Capoeira Reserva	573			573		3.153	3.644	6.797
Sem classe ou sob nuvens	338	279	1.265	1.882	41	52	316	410
Total Geral	19.710	25.249	135.438	180.397	19.716	25.249	135.438	180.403

Fonte: Elaboração do autor.

Nos estabelecimentos do município de Tailândia que fizeram a conversão da trajetória Patronal-T5 para a Patronal-T4 a situação não se diferencia muito no resultado final em Tomé-Açu, exceto pela limitação de área nos estabelecimentos situados no extrato de 200 a menos de 500 hectares. Por outro lado, como veremos, nos estabelecimentos com área de 1.000 a menos que 2.000 hectares o monopólio da pecuária se apresenta de maneira mais acentuada que em Tomé-Açu, levando à exclusividade da pecuária na geração do VBP.

Guardadas as devidas proporções, em relação ao uso da terra em 1996, os estabelecimentos com 200 a menos de 500 hectares tem um comportamento semelhante aos estabelecimentos com 1.000 a menos que 2.000 hectares. Assim, os menores estabelecimentos exploram 76% de suas áreas com extrativismo madeireiro, 9% no consórcio de culturas temporárias e pastagem com predominância da pecuária, 7% com culturas permanentes, 5% com pastos degradados e 3% com capoeiras. Os estabelecimentos maiores usam 73% de suas áreas com extrativismo madeireiro, 11% no consórcio com culturas temporárias e pastagem com predominância da pecuária, 7% com culturas permanentes, 5% com pastos degradados e 4% com capoeiras (ver figura 19).

Figura 19. Uso da terra (hectares) em 1996 nos estabelecimentos que se convertem da trajetória Patronal-T5 para a trajetória Patronal-T4 no município de Tailândia



Fonte: tabela 23 (elaboração do autor).

Com esta estrutura produtiva em 1996 os menores estabelecimentos produziam um VBP composto em 67% por culturas temporárias em consorcio com pastagens, 17% por culturas permanentes e 16% pelo extrativismo madeireiro. Os estabelecimentos maiores produziam um VBP baseado em 76% nas culturas temporárias consorciadas com pastagem, 21% no extrativismo madeireiro e 3% nas culturas permanentes (rever tabela 22, p. 135). Constata-se, portanto, que os estabelecimentos analisados já traziam desde o início do período um dos mecanismos mais usados na tendência de pecuarização na Amazônia, que é o consorcio de culturas temporárias com capim desde a abertura das florestas, como forma de financiamento das pastagens e do rebanho bovino (REYNAL, MUCHAGATA, *et al.*, 1995).

Assim, não se podia esperar outro resultado que o apresentado no final do período, quando os estabelecimentos de maior dimensão em Tailândia apresentam um VBP baseado exclusivamente na pecuária bovina. Os estabelecimentos com 200 a menos de 500 hectares apresentam uma importante diferença, com 70% do VBP baseado na pecuária bovina e 30% nas culturas permanentes. Apesar da mudança na trajetória Patronal-T5 para a Patronal-T4, nos estabelecimentos de menor dimensão.

Com o monopólio da pecuária sobre os sistemas de produção em análise, o resultado no que diz respeito ao uso da terra e cobertura do solo não poderia ser outro. Ao final do período 51% da área dos menores estabelecimentos encontra-se coberta com florestas degradadas e improdutivas, 20% são dedicados exclusivamente à pecuária bovina, 18% com pastos degradados, 7% com culturas temporárias e 4% com capoeiras. Nos estabelecimentos com 1.000 a menos de 2.000 hectares 55% da área total está coberto com florestas degradadas improdutivas, 21% com áreas exclusivas da pecuária bovina, 11% com pastos degradados e 3% com capoeiras.

Em consequência das mudanças assinaladas no sistema de produção, no final do período estudado a trajetória Patronal-T4 é marcada pelo uso extensivo dos recursos naturais e

homogeneização da paisagem, causando alto impacto na biodiversidade e formação intensa de dejetos, na forma de emissões poluentes (pela queima de florestas e pastagens) e áreas degradadas.

6. CONCLUSÕES

Esta tese 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 com a integração de vetores sociais 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 terras ocupadas por matas improdutivas, 9% por pastos degradados e apenas 11% da área coberta por florestas pobres em madeira (rever tabela 18, p. 117).

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, onde 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, onde 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 vegetação 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 18, p. 117).

É preciso sublinhar que as matas improdutivas não foram identificadas na classificação das imagens baseada na leitura de pixels. Nesta classificação, analisou-se toda superfície da microrregião de Tomé-Açu, chegando à conclusão que mais da metade da área era coberta com florestas em 2006 (rever tabela 9, p. 78). Entretanto, como no processamento digital de imagens óticas a análise da vegetação fica limitada às camadas superiores do dossel da floresta (KUPLICH, 2003), 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 diferencia-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 da produção agropecuária nos estabelecimentos agrícolas 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 agroflorestais, 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 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 patrocinada pelo consórcio com as culturas

temporárias, e financiamento complementado no início do período pela exploração de madeiro e no final por culturas permanentes.

As trajetórias Camponês-T3 e Patronal-T7 aparecem somente no final do período analisado, com baixo impacto 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 financiada pelo consórcio com culturas temporárias. A trajetória Patronal-T7 tem origem no abandono das Trajetórias T4 e T5, em uma tentativa de reverter a 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, assim como 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 dos 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 onde 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 e sociais da problemática do desmatamento e das mudanças no uso da terra, colocando em relevo aspectos econômicos que pesam nas decisões dos atores nos processos de mudança ecológica (SOLYNO SOBRINHO, 2018), nas práticas de uso da terra e manejo dos recursos naturais.

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.

Considerando que 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, podemos concluir que 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 resultante 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 uma maior detalhamento da vegetação, associando as atividades agropecuárias e 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, explicar as causas sociais do desmatamento e as tendências de mudanças no uso da terra em uma grande região na Amazônia.

Podemos então concluir, que a metodologia desenvolvida nesta tese apresenta resultados satisfatórios que permitem associar mapas temáticos resultantes da classificação de imagens de satélite com estatísticas dos Censos Agropecuários do IBGE, possibilitando a

modelagem de trajetórias tecnológicas que explicam as causas sociais e econômicas do desmatamento e das mudanças no uso da terra em grandes regiões na Amazônia brasileira.

O padrão de classificação em mapas extraídos de imagens de classificados de datas distintas permite associar manchas de mudanças no uso da terra com a identificação dos agentes causadores. O método proposto permite a espacialização de trajetórias tecnológicas e reinterpretação da leitura de imagens de satélites, oferecendo hipóteses explicativas sobre as forças motrizes do desmatamento e das mudanças no uso da terra na Amazônia.

BIBLIOGRAFIA

ADAMO, S.; SHERBININ, A. D. Remote Sensing for Social Scientists: Tools to Facilitate the Use of Remote Sensing Data in the Social and Health Sciences Research, 2018. Disponível em: <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/guides>>. Acesso em: 20 junho 2019.

AGROPALMA. Conheça a Agropalma. A Primeira produtora de Óleo de Palma do Brasil, a conquistar o Certificado RSPO. **Agropalma**, 2015. Disponível em: <<https://www.agropalma.com.br>>. Acesso em: 17 junho 2017.

ALKIRE, S.; FOSTER, J. **Designing the Inequality-Adjusted Human Development Index (HDI)**. OPHI WORKING PAPER NO. 37. [S.l.]. 2010.

ALVES, D. S. et al. **Mapeamento do uso da terra em Rondônia utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM**. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador, Brasil: INPE. 14-19 abril 1996. p. 71-79.

ALVES, P. A. et al. Explorando as relações entre a dinâmica demográfica, estrutura econômica e mudanças no uso e cobertura da terra no sul do Pará: lições para o distrito florestal sustentável da BR-163. **Geografia**, Rio Claro, v. 35, n. 1, p. 165-182, jan./abr. 2010.

AMARAL, S. et al. Using remote sensing and census tract data to improve representation of population spatial distribution: case studies in the Brazilian Amazon. **Population and Environment**, v. 4, p. 1043, 2012.

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).

ARAUJO, A. et al. Beef Cattle Production Systems in South Pantanal: Considerations on Territories and Integration Scales. **LAND**, v. 7, p. 156-170, 2018.

ARCHELA, R. S.; ARCHELA, E. Correntes da cartografia teórica e seus reflexos na pesquisa. **Geografia**, v. 11, n. Número 2, Jul/Dez 2002. Disponível em: <http://www2.fct.unesp.br/docentes/geo/raul/cartografia_tematica/leitura%202/1-correntes%20da%20cartografia%20te%F3rica.pdf>. Acesso em: 22 maio 2019.

BANKO, G. **A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data and of methods including remote sensing data in forest inventory**. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis, 1998. Disponível em: <<http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/5570/1/IR-98-081.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2019.

BARROS, A. V. L. D. et al. Evolução e Percepção dos sistemas agroflorestais desenvolvidos pelos agricultores Nipo-Brasileiros do município de Tomé-Açu, Estado do Pará, Belém, 5, n. 9, jul./dez 2009. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/30516/1/Evolucao-e-Percepcao-do.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2020.

BASA. A experiência do Banco da Amazônia com projetos integrados de dendê familiar, p. 1-8, 2012. Disponível em: <http://www.bancoamazonia.com.br/images/arquivos/institucional/biblioteca/boletim/contexto_amazonico_22.pdf>. Acesso em: 5 outubro 2017.

BECKER, B. K. **Um projeto para a Amazônia no século 21: desafios e contribuições**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos., 2009.

BERNARDES, T. **Caracterização do ambiente agrícola do Complexo Serra Negra por meio de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Lavras. Lavras - MG, p. 119. 2006.

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.

BRITO, B.; BARRETO, P. **A regularização fundiária avançou na Amazônia? Os dois anos do Programa Terra Legal**. Belém, PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - IMAZON, 2011. Disponível em: <https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/livros/TerraLegal_v2_27out2011.pdf>. Acesso em: 3 fevereiro 2015.

BRITO, B.; CARDOSO JUNIOR, D. **Brenda Brito e Dário Cardoso Junior. Regularização fundiária no Pará: afinal qual é o problema?** Belém, PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - IMAZON, 2015. Disponível em: <https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/livros/REG_FUNDPARA_WEB.pdf>. Acesso em: 15 janeiro 2017.

BROWN, S.; LUGO, A. Tropical Secondary Forests. **Journal of Tropical Ecology**, **6**, 1-32, 1990.

CÂMARA, G. et al. **What's in an Image?** in Spatial Information Theory. Foundations of Geographic Information Science. Edited by D. R. Montello. Proceedings, International Conference COSIT 2001, Morro Bay, Calif., September 19-23, 2001. Lecture Notes in Computer Science Volume 2205/2001. Berlin: Springer. 2001. p. 474-488.

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.

CARDOSO, D. Agropalma amplia liderança no setor. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 24 abril 2000. B-24.

CÉZAR, I. M.; YOKOYAMA, L. P. Avaliação Bioeconômica de Recuperação de Pastagens pelo Sistema de Barreirão: Estudo de Casos. In: KLUTHCOUSKI, J. S. L. F. A. H. **Integração Lavoura Pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Ed. Embrapa Arroz e Feijão. , 2003. p. 364-38.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSÍ, J. A. Revised Landsat-5 thematic mapper radiometric calibration, New York, p. 490-494, jul. 2007. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/sites/landsat/files/2012/08/news_0077.pdf>. Acesso em: 10 fevereiro 2020.

CHAYANOV, A. **La Organizacion da la Unidade Economica Campesina**. Buenos Ayres: Nueva Visión, 1925.

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

CODJOE, A. S. N. Integrating Remote Sensing, GIS, Census, and Socioeconomic Data in Studying the Population-Land Use/Cover Nexus in Ghana: A Literature Update. **Africa Development**, v.

- XXXII, n. 2, p. 197–212, 2007. Disponível em:
<www.ajol.info/index.php/ad/article/viewFile/57188/45576>. Acesso em: 9 janeiro 2014.
- COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, v. XX, n. 1, 1960.
- 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. PATH dependency e a transformação agrária do bioma amazônico: o sentido econômico das capoeiras para o desenvolvimento sustentável. **Novos Cadernos NAEA**, Belém, v. 7, n. 2, dez. 2004. p. 111-158.
- 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. A Questão Agrária na Amazônia e os Desafios Estratégicos de um Novo Desenvolvimento. In: BECKER, B. A. **Dimensões Humanas da Biofesta-Atmosfera na Amazônia**. São Paulo: Edusp, 2007. p. 129-165.
- COSTA, F. A. **Dinâmica Agrária e Balanço de Carbono na Amazônia**. Oxford: University of Oxford, 2008.
- 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. Balanço de Carbono e Economia Local: Um Ensaio sobre uma Região Crítica da Amazônia. **Revista Economia**, Brasília, DF, v. 10, n. 2, p. 299-332, 2009a. Disponível em:
<http://www.anpec.org.br/revista/vol10/vol10n2p299_332.pdf>. Acesso em: 19 janeiro 2018.
- 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 2009b.
- 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 n° 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.

COSTA, F. A. Dinâmica fundiária na Amazônia: concorrência de trajetórias, incertezas e mercado de terras. In: MALUF, R. S.; FLEXOR, G.; (ORGS.) **Questões agrárias, agrícolas e rurais. Conjunturas e políticas públicas**. Rio de Janeiro: E-papers, 2017.

COULSON, T. **Joseph Henry: sua vida e obra**. Princeton: Princeton University Press, 1950.

COWEN, D. J.; JENSEN, J. R. J. Extraction and Modeling of Urban Attributes Using Remote Sensing. In: LIVERMAN, D., et al. **People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science**. Washington, D. C.: National Academy Press, 1998. Cap. 8, p. 164-188.

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.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories”. **Revista Brasileira de Inovações**, v. 5, n.1, p.17-32, jan.-jun., 2006.

ELSTER, J. **Nuts and Bolts for the Social Sciences.184 p.** Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 184 p.

EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico do dendezeiro para as áreas desmatadas da Amazônia legal**. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2010. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento_dende/ZonDende.pdf>. Acesso em: 12 fevereiro 2017.

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

EPSTEIN, I. Quando um fato se transforma em notícia no jornalismo e na ciência. **Revista Comunicação e Sociedade**, São Bernardo do Campo, São Paulo, v. 28, n. n. 47, 2007.

EPSTEIN, P. R. Health Applications of Remote Sensing and Climate Modeling. In: LIVERMAN, D., et al. **People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science**. Washington, D. C.: National Academy Press, 1998. Cap. 10: 197-209.

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.

FENZL, N.; HOFKIRCHNER, W. **Emergence and interaction of natural systems: the role of information, energy and matter in the perspective of a Unified Theory of Information**. Universidade Federal do Pará, Grupo de Pesquisa Amazônia 21. Belém. 2005.

FGV. Índices Gerais de Preços - IGP. **Catálogo FGVDados. Fundação Getúlio Vargas e Instituto Brasileiro de Economia**, 2010. Disponível em: <<http://www14.fgv.br/fgvdados20/consulta.aspx>>. Acesso em: 15 novembro 2019.

FOODY, G. M. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, v. 58, n. 10, p. 1459-1460, 1992., v. 58, n. 10, p. 1459-1460, 1992.

GEOGHEGAN, J. et al. Socializing the Pixel' and 'Pixelizing the Social' in land-use and land-cover change. In: LIVERMAN, D., et al. **People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science**. Washington, D. C.: National Academy Press, 1998. Cap. Chapter 3: 51-69.

GEOGHEGAN, J. et al. Socializing the Pixel' and 'Pixelizing the Social' in land-use and land-cover change. In: LIVERMAN, D., et al. **People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science**. Washington, D. C.: National Academy Press, 1998. Cap. Chapter 3: 51-69.

GILLESPIE, A. R. Spectral Mixture Analysis of Multispectral Thermal Infrared Images. **Remote Sens. Environ.**, New York, v. 42, p. 137-145, 1992.

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

GOODMAN, D.; SORJ, B.; WILKINSON, J. **Da lavoura às biotecnologias: agricultura e indústria no sistema internacional**. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda, 1980.

GUEDES, G. R. et al. Ciclo de vida domiciliar, ciclo do lote e mudança no uso da terra na Amazônia Brasileira: revisão crítica da literatura. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 28, n. 1, p. 231-240, jan./jun. 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/rbepop/v28n1/a13v28n1.pdf>>. Acesso em: 19 abril 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. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/403795>>. Acesso em: 10 abril 2020.

HOMMA, A. K. O. **História da agricultura na Amazônia: da era pré-colombiana ao terceiro milênio**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2003.

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. Pesquisa de Orçamentos Familiares. Número de famílias e Tamanho médio da família por existência de pessoa com nível superior na família e situação do domicílio. **SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática**, 2008. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/732>>. Acesso em: 16 agosto 2020.

IBGE. Censo Agropecuário 2006. Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <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 Demográfico 2010. Resultados Gerais da Amostra - Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência, Brasília, 2012a. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf>. Acesso em: 26 fevereiro 2018.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico : inventário das formações florestais e campestres : técnicas e manejo de coleções botânicas : procedimentos para mapeamentos.** 2ª. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2012b. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>>. Acesso em: 22 março 2016.

IBGE. **Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais. Manuais técnicos em geociências, n. 13.** Rio de Janeiro: IBGE - Coordenação de Cartografia, 2017. 96 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101152.pdf>>. Acesso em: 17 abril 2019.

IBGE. Produto Interno Bruto dos Municípios - 2010. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Dados Agregados - SIDRA,** Brasília, 2017. Disponível em: <<https://metadados.ibge.gov.br/consulta/estatisticos/operacoes-estatisticas/IO/2010/0/0>>. Acesso em: 15 setembro 2019.

IBGE. Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes - 1974 a 2019. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA,** 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em 25 de julho de 2020>. Acesso em: 20 agosto 2020.

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>. 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.

IGAWA, T. K.; DIAS, F. G.; SOUSA, T. G. D. **Análise da expansão da dendecultura no município de Tailândia:** Um estudo de caso dos anos de 1991 a 2006. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. João Pessoa-PB: INPE. 2015.

INCRA. SIGEF - Sistema de Gestão Fundiária. **SIGEF**, 2013. Disponível em: <<https://sigef.incra.gov.br/>>. Acesso em: 23 maio 2018.

INCRA. Incra retoma ações para regularização fundiária de áreas da União na Amazônia.. **Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária**, 2019. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/noticias/incra-retoma-acoes-para-regularizacao-fundiaria-de-areas-da-uniao-na-amazonia>>. Acesso em: 29 outubro 2019.

INPE. Aula 2 - Leitura de imagens. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 2007. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/aula2.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2014.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente. Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos, SP: Parentese, 2009.

KATO, M. **A colônia Nipônica no Acará: sua evolução no contexto regional e nacional**. Belém: FIPAM/NAEA/UFPA, 1994.

KENT, A. J. Form Follows Feedback: Rethinking Cartographic Communication. **Westminster Papers in Communication and Culture**, **13(2)**, 96–112, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.16997/wpcc.296>>. Acesso em: 25 abril 2019.

KUGLER, T. A. et al. People and Pixels 20 years later: the current data landscape and research trends blending population and environmental data. **Population and Environment**, n. 41, p. 209–234, 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.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. D. A. **Metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2007.

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 categorial 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>. Acesso em: 22 setembro 2019.

LEANDRO, L. M. L.; TAFNER JUNIOR, A. W. **Colonização e desenvolvimento regional no Nordeste Paraense: estudo comparativo das regiões Bragantina e de Tomé-Açu**. In: Amazônia e fronteiras do conhecimento. Seminário Internacional Amazônia e Fronteiras do Conhecimento - Anais. Belém: NAEA/UFPA. 2008.

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.

MACÊDO, J. L. V. D.; ET AL. Sistema produtivo de dendê para a produção de biodiesel. In: ANTÔNIO MARIA GOMES DE CASTRO, S. M. V. L. J. F. V. S. **Complexo Agroindustrial de**

Biodiesel no Brasil: competitividade das cadeias produtivas de matérias-primas. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2010. p. 323-374.

MAPA. Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Inclusão Social e Desenvolvimento Territorial, Brasília, 2011. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/arquivos/cartilha-do-programa-nacional-de-producao-e-uso-de-biodiesel-pnpb.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2019.

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).

MAPA. Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Saiba mais sobre esta ação interministerial de fomento à participação da agricultura familiar na cadeia produtiva do biodiesel. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb>>. Acesso em: 06 novembro 2019.

MCCRACKEN, S. et al. Remote sensing and GIS at farm property level: Demography and deforestation in the Brazilian Amazon. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 65, n. 11, p. 1311-1320, 1999.

MCCRACKEN, S. et al. Land-use Patterns on an Agricultural Frontier in Brazil: Insights and Examples from a Demographic Perspective. In: WOOD, ET AL. (EDS.) **Patterns and Processes of Land Use and Forest Change in the Amazon**. C. Gainesville: University of Florida Press, 2000.

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

MENDES, F. A. T. Avaliação de modelos de sistemas agroflorestais estabelecidos em pequenas propriedades cacauceiras selecionadas nos municípios de Tomé-Açu e Acará, Estado do Pará. In: CEPLAC **Informe de Pesquisa 1997-2003**. Belém, Pará, Brasil: MAPA/CEPLAC - Superintendência do Estado do Pará, 2009.

MONTEIRO, A. M. V. et al. Mineração de Trajetórias de Mudança de Cobertura da Terra em Estudos de Degradação Florestal. **RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online)**, v. 68, p. 717, 2016.

MONTEIRO, M. D. A. **Habitus, governanças institucionais e trajetórias tecnológicas: uma análise sociológica do espaço, o caso da expansão do óleo de palma (dendê) no Vale do Acará, Pará**. Tese (Doutorado em Ciências - Desenvolvimento Sócio-Ambiental) NAE/UFPA. Belém-Pará, p. 310. 2017.

MORAN, E. F. **Twenty Years After People and Pixels**. Panel contribution to the Population-Environment Research Network Cyberseminar, “People and Pixels Revisited”(20-27 February 2018). [S.l.]: [s.n.]. 2018.

MORAN, E. F.; BRONDIZIO, E. Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. **Bioscience**, v. 44, n. 5, p. 329, maio 1994.

MORAN, E. F.; BRONDIZIO, E. Land-Use Change After Deforestation in Amazonia. In: NRC **People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science**. Washington, DC: The National Academies Press, 1998.

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

MÜLLER, A. A.; JÚNIOR, F.; FILHO, P. C. **A Embrapa Amazônia Oriental e o Agronegócio do Dendê no Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. Disponível em: <http://www.cpatu.embrapa.br/publicacoes_online>. Acesso em: 16 outubro 2018.

NAHUM, J. S.; BASTOS, C. D. S. Dendeicultura e Descampanização na Amazônia Paraense. **Campo-Território: revista de geografia agrária**, v. 9, n. 17, p. 469-485, abril 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/view/23628/1>>. Acesso em: 28 outubro 2019.

NAHUM, J. S.; MALCHER, A. T. C. Dinâmicas territoriais do espaço agrário na Amazônia: a dendeicultura na microrregião de Tomé-Açu (PA). **Revue franco-brésilienne de géographie / Revista franco-brasileira de geografia**, n. 16, 2012.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. O boom do dendê na microrregião de Tomé-Açu, na Amazônia paraense. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 25, 2015. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/10536>>. Acesso em: 28 outubro 2017.

NBC. WorldView-3 Satellite Will Upgrade Google's Earth Images. **NBC News Now**, 2014. Disponível em: <<https://www.nbcnews.com/science/space/worldview-3-satellite-will-upgrade-googles-earth-images-n179226>>. Acesso em: 19 jul. 2019.

NRC, (. R. C. **Global Environmental Change: Understanding the Human Dimensions**. Washington, DC: The National Academies Press, 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.17226/1792>>. Acesso em: 24 setembro 2020.

NRC, (. R. C. **People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science**. Washington, DC: The National Academies Press, 1998.

OSTROM, E. **Governing the Commons: the Evolution of Institutions for Collective Action**., Cambridge, 1990. Disponível em: <https://wtf.tw/ref/ostrom_1990.pdf>. Acesso em: 02 setembro 2019.

PEBLEY, A. R. **Demography and the Environment**, p. 377-389, novembro 1998. Disponível em: <https://u.demog.berkeley.edu/~jrw/Biblio/Eprints/%20P-S/pebley.1998_Demog_environment.pdf>. Acesso em: 16 maio 2018.

PERZ, S. G.; SKOLE, D. L. Social determinants of secondary forests in the Brazilian Amazon, p. 25-60, março 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0049089X02000121>>. Acesso em: 17 janeiro 2019.

PIAGET, J. **The Epistemology of Interdisciplinary Relationships**. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 1972.

PNUD. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2010. A Verdadeira Riqueza das Nações: Vias para o Desenvolvimento Humano**, New York, 2010. Disponível em: <https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/RelatoriosDesenvolvimento/undp-br-PNUD_HDR_2010.pdf>.

PNUD. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2010. A Verdadeira Riqueza das Nações: Vias para o Desenvolvimento Humano.** New York: PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2010. Disponível em: <<https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/Relator>>.

PNUD. **O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro.** Brasília: PNUD, Ipea, FJP, 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/>>. Acesso em: 15 julho 2019.

PNUD, IPEA, FJP. **Atlas de desenvolvimento humano do Brasil de 2013.** Plataforma on line: PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada; Pinheiro, FJP – Fundação João, 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org>>. Acesso em: 15 julho 2019.

POPPER, K. R. **Conjecturas e refutações: o progresso do conhecimento científico.** Brasília: Editora da UNB, 1994.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **LEI Nº 8.629, DE 25 DE FEVEREIRO DE 1993.** Brasília: Casa Civil da Presidência da República, 1993. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8629.htm. Acesso: 8 set. 2014.

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.

REBELLO, F. K. **Da lenha ao óleo de Palma: a transformação da agricultura no Nordeste Paraense.** Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém (PA), p. 323. 2012.

REYNAL, V. et al. **Agriculturas familiares & desenvolvimento em frente pioneira amazônica.** Paris. Belém-PA: GRET; Belém, PA: LASAT/CAT; Pointe-à-Pitre: DAT/UAG, 1995.

RIBAS, L. A. **Relatório de Projeto: recursos florestais na Amazônia: estudo de sistemas de produção e índices técnicos.** Belém: Convênio Banco da Amazônia/EMBRAPA nº 054, 2005.

RIBAS, W. K. Os limites posicionais do Google Earth. **Esteio Engenharia**, 2007. Disponível em: <<https://www.esteio.com.br/download/trabalhos-e-artigos/2007-2/>>. Acesso em: 17 jan. 2019.

RINDFUSS, R. R.; STERN, P. C. Linking Remote Sensing and Social Science: The Need and the Challenges. In: **NRC People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science.** Washington, DC: The National Academies Press, 1998. p. 1-27.

ROMEIRO, A. R. **Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura.** São Paulo: Annablume: FAPESP, 1998.

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>>.

RSI. ENVI User's Guide, September 2004. Disponível em: <http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/biblio_sr/ENVI_userguid.pdf>. Acesso em: 16 outubro 2018.

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

SECOM-PA. "Ate eu vou querer plantar palma" diz ompresidente Lula me Tomé-Açu. **Secretaria de Comunicação do Estado do Pará**, 6 maio 2010. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/querer-plantar-palma-presidente-lula-tome-acu-060510>>. Acesso em: 23 novembro 2018.

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

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The Mathematical Theory of Communication**. Urbana: University of Illinois Press, 1949.

SILVA, E. P. D.; MAGALHÃES, S. B.; FARIAS, A. L. A. D. Monocultivos de dendezeiros, capital transnacional e concentração de terras na Amazônia Paraense / La monoculture d'huile de palme, le capital transnacional et la concentration des terres sur l'amazone au Pará. **CAMPO - TERRITÓRIO: REVISTA DE GEOGRAFIA AGRÁRIA**, v. 11, n. 23, Jul., 12 set. 2016.

SILVA, R. D. S. E.; PAES, Â. T. Teste de concordância Kappa, São Paulo, p. 165-6, 2012. ISSN 2238-2909. Disponível em: <apps.einstein.br/revista/ecs/index.asp>. Acesso em: 21 agosto 2019.

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.

SOLYNO SOBRINHO, S. A. Elementos para a construção de uma sociologia ambiental. **Papers do NAEA (UFPA)**, Belém - Pará, v. 381, p. 1-24, 2018.

TAFNER JUNIOR, A. W.; SILVA, F. C. **A História Emblemática da Cooperativa Agrícola Mista d Tomé-Açu no Nordeste Paraense**. In: IX Congresso Brasileiro de História Econômica 10ª Conferência Internacional de História de Empresa, 2011. Curitiba: IX Congresso Brasileiro de História Econômica 10ª Conferência Internacional de História de Empresa. 2011.

TANCREDI, N. S. H. **Trajetórias Tecnológicas e Sistemas Agrários: Qualificação territorial utilizando geoprocessamento em Paragominas e Santarém/PA**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) UFPA/NAEA. Belém-Pará, p. 265. 2014.

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

TJ AC. Inflação registrada pelo IGP-M/FGV. **Tribunal de Justiça do Estado do Acre**, 2019. Disponível em: <http://www.portaldefinancas.com/igp_m_fgv.htm>. Acesso em: 20 setembro 2019.

UFPA. **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. 2013.

UFPA. Portaria Nº 1868/2016. **Universidade Federal do Pará**, Belém, 2 maio 2016.

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. et al. Uso da terra, ciclo de vida da unidade doméstica e ciclo de vida do lote na Amazônia Brasileira., Caxambú (MG), 2004. Disponível em: <<http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/download/1612/1575>>. Acesso em: 20 abril 2019.
- 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.
- VEIGA, J. B. **A pecuarização da Agricultura Familiar**. EMBRAPA (FL-PP-01473). Belém. 1997.
- WALKER, R.; HOMMA, A. K. O. Land use and land cover dynamics in the Brazilian Amazon: an overview. **Ecological Economics**, v. 18, n. 1, p. 67-80, 1996. Disponível em: <https://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/ja_iitf_1996_walker004.pdf>. Acesso em: 10 dezembro 2018.
- 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>. Acesso em: 14 maio 2018.
- WARNER, T. A.; NELLIS, M. D.; FOODY, G. M. **The SAGE handbook of remote sensing**. London: SAGE Publications Ltd., 2009.
- WEAVER, W. Recent contributions to the mathematical theory of communication. In: SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The Mathematical Theory of Communication**. Urbana: University Illinois Press, 1964.
- WOOD, C. H.; SKOLE, D. Linking Satellite, Census, and Survey Data to Study Deforestation in the Brazilian Amazon. In: _____ **LIVERMAN, D.; Moran, E.F.; RINDFUSS, R. R.; STERN, P. C. (eds). People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science**. Washington, D. C.: National Academy Press, 1998. Cap. 4, p. 70-93.
- WOOD, C. H.; SKOLE, D. Linking Satellite, Census, and Survey Data to Study Deforestation in the Brazilian Amazon. In: NRC **People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science**. Washington, DC: The National Academies Press, 1998. p. 70-93.

ANEXO 1

Scripts de processamentos envolvidos na integração de vetores sociais em imagens de satélite

If contador2 = 18 Then

'Área e VBP dos módulos.

Data4.Recordset.Edit

Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value = Data4.Recordset.Fields("AreaHaClas").Value
/ Data3.Recordset.Fields("TotalPixelAreaHaEstab").Value

Data4.Recordset.Fields("AreaModuloEstat").Value =

Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value *

(Data4.Recordset.Fields("ÁreaLavTemp").Value +

Data4.Recordset.Fields("ÁreaPastPlantBoas").Value +

Data4.Recordset.Fields("ÁreaPastPlantDegradada").Value +

Data4.Recordset.Fields("ÁreaPastNat").Value +

Data4.Recordset.Fields("ÁreaForrageira").Value)

Data4.Recordset.Fields("VBPModuloEstat").Value =

Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value * (Data4.Recordset.Fields("VBPTemp").Value +

Data4.Recordset.Fields("VBPPecGrande").Value +

Data4.Recordset.Fields("VBPAvesPeqAn").Value +

Data4.Recordset.Fields("VBPPeqMédioPorte").Value)

'Qualificação dos módulos por sistemas de produção.

If ((Data4.Recordset.Fields("VBPTemp").Value +

Data4.Recordset.Fields("VBPAvesPeqAn").Value +

Data4.Recordset.Fields("VBPPeqMédioPorte").Value) >

Data4.Recordset.Fields("VBPPecGrande").Value) And

(Data4.Recordset.Fields("VBPPecGrande").Value > 0) Then

Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Temporárias e pasto com
predominância de temporárias"

End If

If ((Data4.Recordset.Fields("VBPTemp").Value +

Data4.Recordset.Fields("VBPAvesPeqAn").Value +

Data4.Recordset.Fields("VBPPeqMédioPorte").Value) > 0) And

```

((Data4.Recordset.Fields("VBPTemp").Value           +
Data4.Recordset.Fields("VBPAvesPeqAn").Value       +
Data4.Recordset.Fields("VBPPeqMédioPorte").Value)  <
Data4.Recordset.Fields("VBPPecGrande").Value) Then
Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value =  "Temporárias e pasto com
predominância de pecuária de grande porte"
End If

If           ((Data4.Recordset.Fields("VBPTemp").Value           +
Data4.Recordset.Fields("VBPAvesPeqAn").Value       +
Data4.Recordset.Fields("VBPPeqMédioPorte").Value)  >           0)           And
(Data4.Recordset.Fields("VBPPecGrande").Value = 0) Then
Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Exclusivo das temporárias"
End If

If           ((Data4.Recordset.Fields("VBPTemp").Value           +
Data4.Recordset.Fields("VBPAvesPeqAn").Value       +
Data4.Recordset.Fields("VBPPeqMédioPorte").Value)  =           0)           And
(Data4.Recordset.Fields("VBPPecGrande").Value > 0) Then
Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Exclusivo da pecuária bovina"
End If

If           ((Data4.Recordset.Fields("VBPTemp").Value           +
Data4.Recordset.Fields("VBPAvesPeqAn").Value       +
Data4.Recordset.Fields("VBPPeqMédioPorte").Value)  =           0)           And
(Data4.Recordset.Fields("ÁreaMata").Value > 0) Then
Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Extratativismo madeireiro"
End If
End If

If contador2 = 19 Then
Data4.Recordset.Edit
Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value = Data4.Recordset.Fields("AreaHaClas").Value
/ Data3.Recordset.Fields("TotalPixelAreaHaEstab").Value

```



```

Data4.Recordset.Fields("AreaModuloEstat").Value =
Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value *
Data4.Recordset.Fields("ÁreaLavPerm").Value
Data4.Recordset.Fields("VBPModuloEstat").Value =
Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value * Data4.Recordset.Fields("VBPPerm").Value
If Data4.Recordset.Fields("VBPPerm").Value > 0 Then
Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Plantio de permanentes"
End If
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 de permanentes ou silvicultura
não consolidado"
End If
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 = "Capoeira"
End If
End If
If contador2 = 20 Then
Data4.Recordset.Edit
Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value = Data4.Recordset.Fields("AreaHaClas").Value
/ Data3.Recordset.Fields("TotalPixelAreaHaEstab").Value
Data4.Recordset.Fields("AreaModuloEstat").Value =
Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value *
(Data4.Recordset.Fields("ÁreaFlorestaPlantada").Value +
Data4.Recordset.Fields("ÁreaSistemasAgroFlorestais").Value)
Data4.Recordset.Fields("VBPModuloEstat").Value =
Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value *
Data4.Recordset.Fields("VBPSilvicultura").Value

```

```

If      (Data4.Recordset.Fields("VBPSilvicultura").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 silvicultura"
End If

```

```

If      (Data4.Recordset.Fields("VBPSilvicultura").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 silvicultura não consolidado"
End If

```

```

If      (Data4.Recordset.Fields("VBPSilvicultura").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 = "Capoeirão ou floresta secundária ou
floresta degradada"
End If
End If

```

```

If contador2 = 17 Then

```

```

    Data4.Recordset.Edit

```

```

    Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value = Data4.Recordset.Fields("AreaHaClas").Value
/ Data3.Recordset.Fields("TotalPixelAreaHaEstab").Value

```

```

    Data4.Recordset.Fields("AreaModuloEstat").Value      =

```

```

Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value * Data4.Recordset.Fields("ÁreaMata").Value

```

```

    Data4.Recordset.Fields("VBPModuloEstat").Value      =

```

```

Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value      *

```

```

Data4.Recordset.Fields("VBPExtração Vegetal").Value

```

```

'Data4.Recordset.Update

```

```

If Data4.Recordset.Fields("VBPExtração Vegetal").Value = 0 Then

```

```

    Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Mata improdutiva"

```

```

Else

```

```

If          ((Data4.Recordset.Fields("VBPExtNãoMdeireiro").Value          >=
(Data4.Recordset.Fields("VBPExtMadeira").Value          +
Data4.Recordset.Fields("VBPLenha").Value))          And
(Data4.Recordset.Fields("VBPExtMadeira").Value          +
Data4.Recordset.Fields("VBPLenha").Value) > 0) Then
  Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Extrativismo mixto com domínio não
madeireiro"
End If

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 mixto com domínio
madeireiro"
End If

If          (Data4.Recordset.Fields("VBPExtNãoMdeireiro").Value          >
(Data4.Recordset.Fields("VBPExtMadeira").Value          +
Data4.Recordset.Fields("VBPLenha").Value))          And
((Data4.Recordset.Fields("VBPExtMadeira").Value          +
Data4.Recordset.Fields("VBPLenha").Value) = 0) Then
  Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Extativismo não madeireiro"
End If

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"
End If
End If
End If

If contador2 = 21 Then
Data4.Recordset.Edit
  Data4.Recordset.Fields("AreaModuloEstat").Value          =
Data4.Recordset.Fields("AreaHaClas").Value

```

```

Data4.Recordset.Fields("VBPModuloEstat").Value = 0

Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Sem classe ou sob nuvens"
End If
If contador2 = 22 Then
  'Área e VBP dos módulos.
Data4.Recordset.Edit
Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value = Data4.Recordset.Fields("AreaHaClas").Value
/ Data3.Recordset.Fields("TotalPixelAreaHaEstab").Value
Data4.Recordset.Fields("AreaModuloEstat").Value =
Data4.Recordset.Fields("PctModulo").Value *
(Data4.Recordset.Fields("ÁreaPastPlantDegradada").Value +
Data4.Recordset.Fields("ÁreaDegradadas").Value)
Data4.Recordset.Fields("VBPModuloEstat").Value = 0
'Data4.Recordset.Update
'Qualificação dos módulos por sistemas de produção.

'If ((Data4.Recordset.Fields("VBPTemp").Value +
Data4.Recordset.Fields("VBPPecGrande").Value +
Data4.Recordset.Fields("VBPAvesPeqAn").Value +
Data4.Recordset.Fields("VBPPeqMédioPorte").Value) = 0) And
(Data4.Recordset.Fields("VBPPecGrande").Value = 0) Then
'If (Data4.Recordset.Fields("ÁreaLavPerm").Value +
Data4.Recordset.Fields("ÁreaFlorestaPlantada").Value +
Data4.Recordset.Fields("ÁreaSistemasAgroFlorestais").Value) > 0 Then
'Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Plantio tenro de permanentes e
silvicultura"
'End If
If (Data4.Recordset.Fields("ÁreaPastPlantDegradada").Value +
Data4.Recordset.Fields("ÁreaDegradadas").Value) > 0 Then
Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Pasto degradado"
Else

```

```

If          (Data4.Recordset.Fields("ÁreaLavPerm").Value          +
Data4.Recordset.Fields("ÁreaFlorestaPlantada").Value          +
Data4.Recordset.Fields("ÁreaSistemasAgroFlorestais").Value) > 0 Then
  Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Plantio tenro de permanentes e
silvicultura"
End If
Data4.Recordset.Fields("TipoModuloEstat").Value = "Capoeirinha ou capoeira rala"
End If
End If

Data4.Recordset.Update
Data4.Recordset.MoveNext
Next contador3

End If
Next contador2
Next contador1
'Next contador 'Fim do acompanhamento do status do processamento

'Preparação da barra de acompanhamento.
StatusTarefaPCT = 0
BarraDeAcompanhamento.Value = 0
StatusIncremento = 100 / QtdeEstratoMunicipioEstat
For contador1 = 1 To QtdeEstratoMunicipioEstat
'Acompanhamento do status do processamento
StatusTarefaPCT = StatusTarefaPCT + StatusIncremento
BarraDeAcompanhamento.Value = StatusTarefaPCT
'Distribuição de diversas variáveis do Censo em função da distribuição da área e do VBP feita
no módulo anterior.
'For Contador1 = 1 To QtdeEstratoMunicipioEstat
  Data3.RecordSource = "Select Sum (AreaModuloEstat) as TotalEstatAreaHaEstab, Sum
(VBPModuloEstat) as TotalEstatVBPEstab FROM MatrizCompostaPixelEstatísticas
WHERE IdEstratoMunicipioEstat = " + Str(IdEstratoMunicipioEstat(contador1))
  Data3.Refresh

```

```

Data4.RecordSource = "Select * from MatrizCompostaPixelEstatísticas WHERE
IdEstratoMunicipioEstat = " + Str(IdEstratoMunicipioEstat(contador1))
Data4.Refresh
If Data4.Recordset.RecordCount = 1 Or Data4.Recordset.RecordCount > 1 Then
Data4.Recordset.MoveLast
QtdeMódulosNoEstratoMunicipio = Data4.Recordset.RecordCount
Data4.Recordset.MoveFirst
ReDim pctMóduloVBP(QtdeMódulosNoEstratoMunicipio)
ReDim pctMóduloÁrea(QtdeMódulosNoEstratoMunicipio)
For contador2 = 1 To QtdeMódulosNoEstratoMunicipio

pctMóduloÁrea(contador2) = Data4.Recordset.Fields("AreaModuloEstat").Value /
(Data3.Recordset.Fields("TotalEstatAreaHaEstab").Value + 0.0001)
pctMóduloVBP(contador2) = Data4.Recordset.Fields("VBPModuloEstat").Value /
(Data3.Recordset.Fields("TotalEstatVBPEstab").Value + 0.0001)
Data4.Recordset.MoveNext
Next contador2

For contador2 = 5 To 16
Data4.Recordset.MoveFirst
For contador3 = 1 To QtdeMódulosNoEstratoMunicipio
Data4.Recordset.Edit
Data4.Recordset.Fields(VariávelEstab(contador2) & "Area").Value =
pctMóduloÁrea(contador3) * Data4.Recordset.Fields(VariávelEstab(contador2)).Value
Data4.Recordset.Fields(VariávelEstab(contador2) & "VBP").Value =
pctMóduloVBP(contador3) * Data4.Recordset.Fields(VariávelEstab(contador2)).Value
Data4.Recordset.Update
Data4.Recordset.MoveNext
Next contador3
Next contador2
End If
Next contador1
End Sub

```