



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

MARCELO CORDEIRO THALÊS

**ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA PECUÁRIA BOVINA NAS MUDANÇAS DE
USO DA TERRA: uma abordagem multiescala no estado do Pará.**

BELÉM-PARÁ

2021

MARCELO CORDEIRO THALÊS

**ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA PECUÁRIA BOVINA NAS MUDANÇAS DE
USO DA TERRA:** uma abordagem multiescala no estado do Pará.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e dinâmica socioambiental na Amazônia.

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais

Orientadora: Prof^ª. Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo
Museu Paraense Emílio Goeldi

BELÉM-PARÁ

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

T365a Thalês, Marcelo Cordeiro.
 Análise da contribuição da pecuária bovina nas mudanças de
 uso da terra: uma abordagem multiescala no estado do Pará /
 Marcelo Cordeiro Thalês. — 2021.
 95 f. : il. color.

 Orientador(a): Profª. Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo
 Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
 Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais,
 Belém, 2021.

 1. Uso do solo. 2. Floresta. 3. Pastagem. 4. Agricultura. 5. Pará.
 I. Título.

CDD 631.478115

MARCELO CORDEIRO THALÊS

ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA PECUÁRIA BOVINA NAS MUDANÇAS DE

USO DA TERRA: uma abordagem multiescala no estado do Pará.

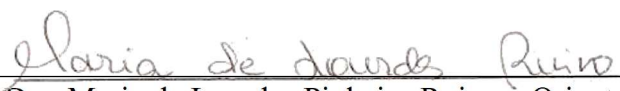
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

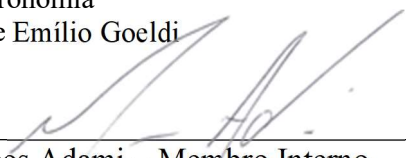
Área de concentração: Clima e dinâmica socioambiental na Amazônia.

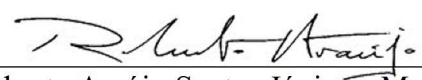
Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais

Data da aprovação: 19/02/2021

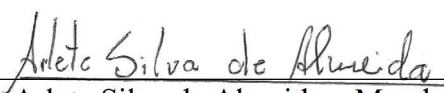
Banca Examinadora:


Prof.^a Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo – Orientadora
Doutora em Agronomia
Museu Paraense Emílio Goeldi


Prof. Dr. Marcos Adami – Membro Interno
Doutor em Sensoriamento Remoto
Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais


Prof. Dr. Roberto Araújo Santos Júnior – Membro Interno
Doutor em Etnologia
Museu Paraense Emílio Goeldi


Prof. Dr. René Pocard-Chapuis – Membro Externo
Doutor em Geografia
Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement – CIRAD


Prof.^a Dra. Arlete Silva de Almeida – Membro Externo
Doutora em Ciências Ambientais
Museu Paraense Emílio Goeldi

Dedico:

Aos meus avós paternos (*in memoriam*), à minha avó Olívia por sempre me fazer acreditar. Aos meus pais, Raimundo e Maria, e irmãos Márcio e Ana Cláudia, pelo incentivo. À minha amada esposa, Márcia, e aos meus queridos filhos, Maurício e Marcela, pela compreensão e apoio.

AGRADECIMENTOS

À Dra. Maria de Lourdes, pela orientação, amizade, oportunidade e incentivo durante todo o processo deste projeto, ressaltando que suas cobranças foram valiosíssimas.

Ao amigo e orientador, Dr. Rene Pocard-Chapuis, que ao longo dos anos, ajudou-me a trilhar caminhos significativos rumo a diversas pesquisas, em diferentes pontos no estado do Pará. O seu incentivo levou-me a inscrições no doutorado e, indiscutivelmente, sua contribuição foi de fundamental importância para a finalização de mais esta etapa.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi e o Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pelo suporte disponibilizado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e aos projetos de pesquisas GEODEGRADE, ECOTERA, TERRACERT e TERRAMAZ pelo financiamento e disponibilização dos dados para a pesquisa.

Aos professores participantes nas bancas dos exames de qualificação e de defesa da tese que muito contribuíram na elaboração deste documento, em especial ao Dr. Marcos Adami que esteve presente em todas as etapas.

Ao Dr. Jean-François Tourrand, amigo e grande incentivador de minha formação acadêmica, assim como de um grupo de jovens pesquisadores, companheiros de primeiras pesquisas e que, ainda hoje, desenvolvem trabalhos de grande relevância na região.

Aos amigos do Museu Goeldi, EMBRAPA, CIRAD, IRD, INPE e do PPGCA pelo incentivo e contribuição.

À Arlete Almeida que sempre esteve pronta a colaborar, sem nunca deixar de oferecer uma palavra de incentivo e, neste período de grande trabalho, assumiu as demandas da UAS.

Aos profissionais da biblioteca do Instituto de Geociências pela disponibilidade e apoio durante o período do doutorado, em especial a Prof. Lúcia Imbiriba pelo pronto atendimento na normalização da tese.

E a todos demais colegas, amigos e familiares que contribuíram de alguma forma para a conclusão de mais essa etapa, uma menção especial a Ana Cristina Cordeiro Ramos que colaborou na revisão deste documento.

Muito obrigado!!!

RESUMO

A Amazônia brasileira passou por vários ciclos econômicos, vinculados a exploração dos recursos naturais e integrados ao mercado mundial, os quais se intensificaram a partir da década de 1960 e mais recentemente com a expansão do agronegócio. Nesse processo de construção territorial, as mudanças de uso da terra ocorreram de forma heterogênea no espaço e no tempo, com mecanismos atuando em diferentes escalas. O objetivo desta pesquisa é analisar as mudanças de uso da terra e a contribuição da pecuária bovina no processo de construção territorial com a proposição de métodos e indicadores de monitoramento em diferentes escalas, do regional ao local, que colaborem na gestão territorial. No estado do Pará foi elaborada uma cartografia diacrônica das frentes pioneiras que permitiu representar e delimitar os contrastes regionais em regiões pioneiras. Posteriormente, essas frentes pioneiras foram relacionadas à dinâmica dos desmatamentos, por períodos, entre 2002 a 2017, o que possibilitou qualificar os territórios em consolidados, voltados à intensificação agropecuária ou em expansão, usados como estratégia de ocupação, além daqueles livres de desmatamento. No município de Paragominas, localizado em um território em consolidação, a dinâmica da paisagem foi analisada ao se sobrepor os mapas de uso da terra com os de aptidão do solo e distanciamento das rodovias principais e, ao final, propõem-se um modelo de restauração da paisagem. A dinâmica da paisagem pode ser representada em dois sistemas de uso da terra: o primeiro, baseado na expansão das pastagens nos vales arenosos e, o segundo, na agricultura mecanizada que atualmente se expande nos planaltos argilosos. Desses dois sistemas foram extraídas três lições para ajudar no processo de restauração da paisagem. A primeira aponta que a intensificação do uso da terra aumenta a pressão sobre as florestas, principalmente nas áreas mais adequadas; a segunda indica que a intensificação do uso da terra libera áreas não adequadas à mecanização que podem ser utilizadas para restauração florestal; a terceira, por sua vez, é uma governança local que poderia definir políticas espacialmente explícitas capazes de conduzir a uma transição da paisagem. Em áreas amostrais, no sudeste paraense, foram coletados os pontos de observação com a descrição visual das características das pastagens, as quais possibilitaram a construção de uma tipologia associada a processos de degradação das pastagens. Ao relacionar essa tipologia das pastagens aos índices da vegetação (NDVI, EVI-2, NDII-5, NDII-7), extraídos das imagens Landsat 7 (ETM+), observa-se que nas pastagens bem formadas ao se reduzir os percentuais de cobertura verde e de altura houve uma redução nos índices de vegetação. Nas pastagens degradadas e em degradação houve certa imprecisão em relação às pastagens bem formadas. As pastagens degradadas ou em degradação biológica

foram melhor identificadas, mas apresentaram imprecisão em relação as pastagens bem formadas com baixa cobertura verde, enquanto as pastagens degradadas ou em degradação agrícola se confundiram com as pastagens bem formadas com alto a médio percentual de cobertura verde. Essa abordagem tem potencial para ser utilizada no monitoramento das áreas de pastagens, mas necessita ser aprimorada. As análises em diferentes escalas refletem a importância da compreensão das mudanças de uso da terra no processo de construção territorial cujo objetivo principal é de transformar esse conhecimento em um instrumento de fácil entendimento e de apoio às tomadas de decisão.

Palavras-chave: Uso do solo. Floresta. Pastagem. Agricultura. Pará.

ABSTRACT

Brazilian Amazon has gone through a number of different economic cycles linked to the exploitation of natural resources, integrated with global markets, which have intensified since the 1960s, most recently through the ongoing expansion of agribusiness. During this process of territorial construction, land use changes have occurred heterogeneously in both space and time, with mechanisms operating at a number of different scales. The present study analyzes the shifts in land use and the contribution of cattle ranching to the process of territorial construction based on monitoring methods and indicators applied at varying scales, from the local to the regional, as a contribution to territorial management. In the Brazilian state of Pará, the study was based on the diachronic cartography of the pioneer fronts, which was used to represent and delimit the regional contrasts among these fronts. The relationship between these pioneer fronts and the dynamics of the deforestation process was also analyzed, by period, between 2002 and 2017, which allowed the territories to be classified as (i) consolidated, in which ranching is being intensified, (ii) expanding, in which the fronts are used as a strategy of occupation, and (iii) areas free of deforestation. In the municipality of Paragominas, located in a territory undergoing consolidation, the landscape dynamics were analyzed by superimposing the maps of land use with those of the agricultural aptitude of the land and the distance to the principal highways, with the aim of developing a model for the restoration of the landscape. The local landscape dynamics can be divided into two principal systems of land use, one that is based on the expansion of the pasture in valleys with sandy soils, and the other, based on mechanized farming, which is currently expanding on the clayey plateaus. The analysis of these two systems provided three important insights for the eventual restoration of the landscape. The first point is that the intensification of land use increases the pressure on the forests, principally in the areas most adequate for farming. The second is that the intensification of land use frees up areas that are inadequate for mechanization, and could potentially be used for the restoration of the forest. The third point is that local governance should be employed to define spatially explicit policies capable of transforming the landscape. In the areas sampled, in southeastern Pará, observations were conducted at specific points for visual description of the characteristics of the pasture, which were used to construct a typology of the process of pasture degradation. When this pasture typology is related to the vegetation indices (NDVI, EVI-2, NDII-5, NDII-7) extracted from Landsat 7 (ETM+) images, it can be noted that the well-formed pasture, which is associated with a reduction in the cover and height of the vegetation, was also related to a reduction in the vegetation indices. In degraded and degrading pasture, there was a lack of

precision in the differentiation of the well-formed pasture. The degraded pastures or those undergoing biological degradation were identified better, but still imprecisely in comparison with the well-formed pasture with low vegetation cover, whereas the pasture undergoing agricultural degradation was confused with the well-formed pasture with a medium to high percentage of vegetation cover. This approach has considerable potential for the monitoring of areas of pasture, but needs to be refined. The analyses at different scales reflect the importance of understanding shifts in land use during the process of territorial construction, with the primary objective of transforming this knowledge into an easily-understood diagnostic tool that should facilitate adequate decision-making.

Keywords: Land use. Forest. Agriculture. Pasture. Pará

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1 - Dinâmica do desmatamento e as conversões em pastagens nos municípios do estado do Pará.....	17
Figura 2 - Estrutura dos artigos da tese.....	20

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Localização da área de estudo.....	25
Figura 2 - Evolução das taxas de desmatamento no estado do Pará.....	26
Figura 3 - Modelo cartográfico da frente pioneira.....	28
Figura 4 - As frentes pioneiras no estado do Pará em a) 2002 e b) 2017.....	29
Figura 5 - Dinâmica das frentes pioneiras de 2002 a 2017 e as dez regiões pioneiras no estado do Pará.....	30
Figura 6 - Dinâmica das frentes pioneiras de 2002 a 2017 nas regiões pioneiras.....	31
Figura 7 - Desmatamento por períodos nas regiões pioneiras.....	32
Figura 8 - Localização dos polígonos de desmatamento nas frentes pioneiras: a) desmatamento 2003 a 2004 nas frentes pioneiras de 2002; b) desmatamento 2005 a 2008 nas frentes pioneiras de 2004; c) desmatamento de 2009 a 2012 nas frentes pioneiras de 2008; d) desmatamento 2013 a 2017 nas frentes pioneiras de 2012.....	33
Figura 9 - Representação espacial das regiões pioneiras e dos desmatamentos nas frentes pioneiras.....	34

CAPÍTULO 3

Figura 1 - Localização do município de Paragominas.....	44
Figura 2 - Classes de aptidão do solo em uma paisagem típica da área rural de Paragominas.....	47
Figura 3 - Uso da terra em 2018 (a), aptidão do solo (b) e distância das rodovias pavimentadas (c).....	48
Figura 4 - Classes de uso da terra no município de Paragominas (a), na área central (b), intermediária (c) e remota (d).....	49
Figura 5 - Extensão dos novos desmatamentos nas classes de distância das rodovias pavimentadas (a), e nas classes de aptidão do solo, observadas na área central (b), intermediária (c) e remota (d).....	50

Figura 6 -	Áreas de pastagens e as classes de aptidão do solo no município de Paragominas (a) e na área central (b), intermediária (c) e remota (d).....	51
Figura 7 -	Áreas de agricultura mecanizada e as classes de aptidão do solo no município de Paragominas (a) e na área central (b), intermediária (c) e remota (d).....	52
Figura 8 -	Classes de uso da terra e de aptidão do solo na área central do município de Paragominas em 1990 (a), 2000 (b), 2010 (c) e 2018 (d).....	52
Figura 9 -	As principais mudanças de uso da terra no município de Paragominas (a) e em detalhes as mudanças para pastagem (b), vegetação secundária (c) e agricultura mecanizada (d).....	53
Figura 10 -	As mudanças entre pastagem e floresta secundária em cada classe de aptidão do solo na área central (a, b), intermediária (c, d) e remota (e, f) no município de Paragominas.....	54
Figura 11 -	Percentuais de redução das áreas de pastagens por idade, na área central (a), intermediária (b) e remota (c) do município de Paragominas.....	56
Figura 12 -	Percentuais de redução das áreas de vegetação secundária por idade, na área central (a), intermediária (b) e remota (c) do município de Paragominas.....	56
Figura 13 -	Exemplo de paisagem em processo de restauração, conforme a aptidão do solo, nas áreas de pastagem e vegetação secundária.....	63

CAPÍTULO 4

Figura 1 -	Localização das três áreas amostrais no estado do Pará.....	76
Figura 2 -	Definição das amostras de pastagens para a extração dos parâmetros espectrais das imagens Landsat 7 (ETM+).....	78
Figura 3 -	Precipitação mensal no ano de coleta dos dados em campo.....	80
Figura 4 -	Tipologia das pastagens.....	81
Figura 5 -	Características das pastagens bem formadas por área amostral.....	82
Figura 6 -	Características das pastagens em degradação e degradadas por área amostral.....	83
Figura 7 -	Representação gráfica da média e desvio-padrão dos índices de vegetação por tipologias de pastagens.....	83
Figura 8 -	Agrupamento da tipologia das pastagens.....	85

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Extensões entre as classes de aptidão do solo e de distâncias das rodovias principais.....	48
---	----

CAPÍTULO 4

Tabela 1 - Imagens do Landsat 7 (ETM+) e o número de pontos de observação nas áreas amostrais.....	77
Tabela 2 - Índices de vegetação utilizados no estudo.....	79
Tabela 3 - Pontos de observação das pastagens coletadas em campo.....	80
Tabela 4 - Os valores de média e desvio-padrão dos índices de vegetação por tipologia das pastagens.....	84

LISTA DE SIGLAS

ABIEC: Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes

CIRAD: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus

EVI-2: Enhanced Vegetation Index-2

FUNAI: Fundação Nacional do Índio

GEODEGRADE: Desenvolvimento de Geotecnologias para Identificação e Monitoramento de Níveis de Degradação em Pastagens

GEOMA: Rede Temática em Pesquisa e Modelagem Ambiental da Amazônia

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBIO: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IMAZON: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia

INCRA: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IV: Índices de Vegetação

MAPBIOMAS: Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil

MMA: Ministério do Meio Ambiente

MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

NASA: National Aeronautics and Space Administration

NDII 5: Normalized Difference Infrared Index 5

NDII 7: Normalized Difference Infrared Index 7

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

PD: Percentual de Desmatamento Acumulado em Relação as Áreas de Floresta

PPCDAM: Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal

PRODES: Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélites

RP: Região Pioneira

SIRGAS: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SLC: Scan Line Corrector

TERRACLASS: Projeto de Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra na Amazônia Legal

USGS: United States Geological Survey

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	16
1.1 Questão da pesquisa	18
1.2 Objetivos.....	19
1.3 Hipóteses.....	19
1.4 Estrutura da tese.....	20
CAPÍTULO 2 A CARTOGRAFIA DAS FRENTES PIONEIRAS E A SUA CONTRIBUIÇÃO NA ANÁLISE DA DINÂMICA DO DESMATAMENTO NO ESTADO DO PARÁ	21
2.1 Introdução	23
2.2 Material e método	24
2.2.1 Área de estudo	24
2.2.2 Estruturação dos dados de desmatamento	26
2.2.3 Modelo cartográfico das frentes pioneiras e a dinâmica do desmatamento	26
2.3 Resultados	28
2.3.1 Cartografia das frentes pioneiras	28
2.3.2 Delimitação das regiões pioneiras	29
2.3.3 A dinâmica das frentes pioneiras nas regiões pioneiras	30
2.3.4 A dinâmica dos desmatamentos e a sua localização nas frentes pioneiras.....	32
2.3.4.1 <i>A dinâmica dos desmatamentos</i>	32
2.3.4.2 <i>Localização dos desmatamentos nas frentes pioneiras</i>	33
2.4 Discussão	34
2.5 Conclusão	35
CAPÍTULO 3 DINÂMICA DA PAISAGEM NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: TRÊS DÉCADAS DE MUDANÇAS DE USO DA TERRA NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS, ESTADO DO PARÁ	40
3.1 Introdução	42
3.2 Material e método	43
3.2.1 Área de estudo	43
3.2.2 Arcabouço analítico.....	45
3.2.3 Dados utilizados	46
3.2.3.1 <i>Mapas de uso da terra</i>	46
3.2.3.2 <i>Mapa de aptidão do solo</i>	47

3.2.3.3 <i>Mapa de distância das rodovias pavimentadas</i>	47
3.3 Resultados	49
3.3.1 O uso da terra e o distanciamento das rodovias principais.....	49
3.3.2 O papel da aptidão do solo na dinâmica do território.....	50
3.3.2.1 <i>O desmatamento</i>	50
3.3.2.2 <i>O uso da terra</i>	51
3.3.3 As mudanças de uso da terra	53
3.3.3.1 <i>As mudanças entre pastagem e floresta secundária</i>	54
3.3.3.2 <i>Ciclo de vida das pastagens</i>	55
3.3.3.3 <i>Ciclo de vida das florestas secundárias</i>	55
3.3.4 Agricultura mecanizada e desmatamento	57
3.4 Discussão	57
3.4.1 Revelando a dinâmica da paisagem.....	57
3.4.1.1 <i>Sistema de uso inicial: ocupação extensiva nos vales</i>	57
3.4.1.2 <i>Segundo sistema de uso: mecanização, intensificação e diversificação</i>	58
3.4.2 Matriz florestal e a dinâmica da paisagem	59
3.4.3 A intensificação dos usos da terra e a pressão sobre a cobertura florestal	60
3.4.4 Da dinâmica à restauração da paisagem: desafios da política local	61
3.4.5 Limites do estudo	63
3.5 Conclusão	64
CAPÍTULO 4 O USO DE ÍNDICES DE VETEGAÇÃO NA CARACTERIZAÇÃO DAS PASTAGENS EM ÁREAS AMOSTRAIS NO SUDENTE PARAENSE	71
4.1 Introdução	73
4.2 Material e método	75
4.2.1 Área de estudo	75
4.3 Resultados	80
4.3.1 Tipologia das pastagens.....	80
4.3.2 Os índices de vegetação por tipologia das pastagens	83
4.4 Discussão	86
4.5 Conclusão	87
CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	94

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

Ao longo de séculos, a Amazônia brasileira passou por vários ciclos econômicos vinculados à exploração dos recursos naturais integrados ao mercado mundial (GOMES, 2018), que se intensificaram a partir da década de 1960 com os programas de colonização e, mais recentemente, com a expansão do agronegócio. Como consequência dessa dinâmica, até 2019, foram desmatados 802.898 km², o que corresponde a 20% da cobertura florestal que passou a ser utilizada, principalmente, na formação de pastagem e agricultura (INPE, 2020). Apesar dos esforços que promoveram a redução e a estabilidade do desmatamento, entre 2005 e 2015, vivencia-se uma retomada do desmatamento a patamares superiores à década anterior, o que desperta a atenção da comunidade científica (AMIGO, 2020; LOVEJOY; NOBRE, 2018).

A dinâmica do desmatamento está associada ao processo de ocupação territorial da Amazônia brasileira e, aponta profundas transformações na paisagem ao longo das últimas seis décadas. A pecuária bovina acompanha esse processo. Em 2014, ocupou dois terços das áreas desmatadas com pastagens em diferentes estágios de degradação (INPE; EMBRAPA, 2020). O rebanho duplicou nas duas últimas décadas e passou a contar com 86 milhões de cabeças, o que equivale a 40% do rebanho nacional (IBGE, 2020).

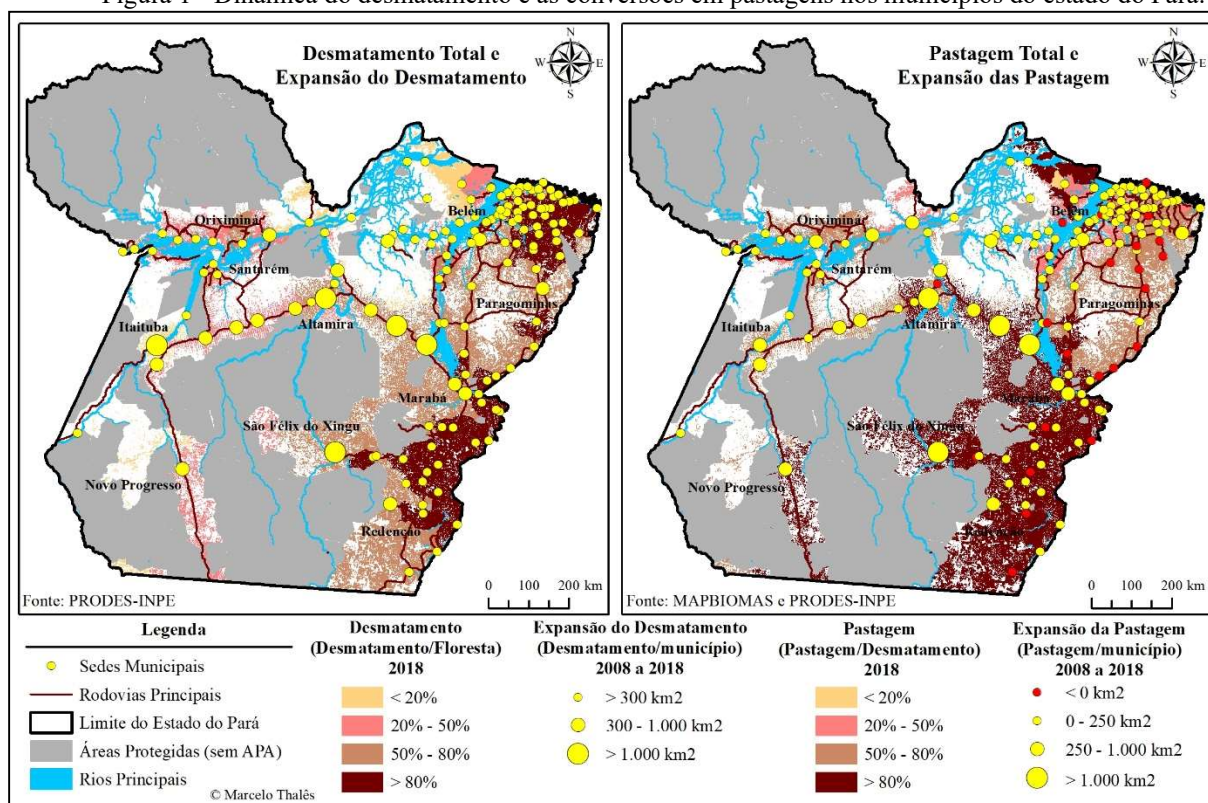
A expansão da pecuária bovina, incentivada pelas políticas de desenvolvimento, adaptou-se às condições ambientais e impulsionou o avanço das frentes pioneiras na região. No início da ocupação, a implantação das pastagens teve como estratégia a apropriação fundiária. Essa prática valorizou a terra para futura comercialização ou utilizou-se na implementação de um sistema produtivo extensivo, promovendo a abertura de novas pastagens (mais produtivas), devido ao abandono daquelas antigas (menos produtivas). Ao passo que as frentes pioneiras avançam e se consolidam, os sistemas de produção também se tornam mais especializados. A pecuária de corte e leite, por exemplo, com a presença de frigoríficos e laticínios ou mesmo em sistemas intensivos e/ou diversificados, associados às culturas agrícolas temporárias ou perenes (PACHECO; POCCARD-CHAPUIS, 2012).

A pecuária bovina é, atualmente, uma das mais importantes atividades econômicas e possui uma cadeia produtiva conectada aos principais mercados consumidores (ABIEC, 2020). Na última década, acordos na cadeia da pecuária bovina foram realizados com o propósito de reduzir o desmatamento (GIBBS et al., 2016; MOURA et al., 2017). Pacheco et al. (2017) afirmam que são necessários não apenas acordos institucionais público-privados visando reforçar o cumprimento das leis ambientais, mas também incentivos e compensações que estimulem a transição para sistemas produtivos mais eficiente no uso dos recursos naturais.

As mudanças de uso da terra na Amazônia brasileira, associada à dinâmica do desmatamento e da pecuária bovina, ocorrem de forma heterogênea, no espaço e no tempo, com mecanismos atuando em diferentes escalas, desde a nacional (processo de migração, políticas públicas etc.), do território (construção territorial, organização de redes sociais, mercados fundiários etc.), da propriedade (estratégias de manejo) até de parcelas agrícolas (degradação recursos naturais e das pastagens), configurando um mosaico de territórios contrastantes.

O estado do Pará representa bem essa heterogeneidade, como pode ser observado na Figura 1, que ilustra os percentuais desmatados em relação às áreas de floresta em 2018 e, desse total desmatado, os percentuais convertidos em pastagens. Assim como, a expansão das áreas desmatadas e pastagens entre 2008 a 2018, fora das áreas protegidas, em cada município.

Figura 1 - Dinâmica do desmatamento e as conversões em pastagens nos municípios do estado do Pará.



Fonte: Autor.

Vários estudos demonstram a importância da pecuária na dinâmica territorial do estado do Pará (VEIGA et al., 2004). A região sul e sudeste, desde a década de 1980, é caracterizada por uma pecuária especializada em corte e leite com a presença da agroindústria (PIKETTY et al., 2015a; TOURRAND et al., 2004). Em virtude da forte expansão da pecuária, no início da década de 1990, novas frentes se abriram como na região de São Felix do Xingu, principalmente pela disponibilidade de terras de boa qualidade (ESCADA et al., 2005; MERTENS et al., 2004). Ocorreram mudanças nos sistemas de produção como em Uruará, ao longo da Transamazônica, provocada pela queda dos preços dos produtos agrícolas, os pequenos produtores tiveram a

oportunidade de créditos para investimentos na pecuária (VEIGA et al., 2015). Recentemente, com a conversão de parte das pastagens em áreas de plantio de dendê, no nordeste paraense, e também em áreas de expansão da soja, na região de Paragominas e Santana do Araguaia.

Paragominas destaca-se como um dos municípios localizados em uma região em consolidação (THALÊS; POCCARD-CHAPUIS; RUIVO, 2021) e, desde o início da década de 60, passa por transformações no território. Essa mudança provocou, inicialmente, intenso desmatamento, em virtude da expansão agropecuária e exploração madeireira. Mais tarde, esse mesmo espaço, após a redução e controle do desmatamento, expande a agricultura mecanizada com o plantio da soja (BURLAMAQUI et al., 2013; PIKETTY et al., 2015b). Atualmente, o município avança em uma gestão territorial mais eficiente, o que contribui para a redução e controle do desmatamento, como também para o fortalecimento das atividades produtivas (CARVALHO et al., 2019; CIRAD, 2020; POCCARD-CHAPUIS et al., 2019).

A compreensão das mudanças de uso da terra contribui para uma gestão territorial eficiente. Atualmente, com a disponibilidade de bases de dados institucionais e de livre acesso, incluindo os dados de sensoriamento remoto, obtém-se a compreensão dessas mudanças em várias escalas, do regional ao local, complementadas com as informações da realidade local, o que permite a construção de métodos, seleção de indicadores de monitoramento do território e a construção de cenários. Além disso, oferece aos gestores um instrumento de fácil entendimento e, ao mesmo tempo, que possibilite agregar a visão dos atores locais em um processo de tomada de decisão.

1.1 Questão da pesquisa

No estado do Pará, o desmatamento é um dos principais problemas ambientais e está associado principalmente à formação de pastagens para a pecuária bovina. É indispensável destacar que nos últimos anos ocorreram alterações na dinâmica do desmatamento, desde uma redução gradativa, passando por um período de estabilidade até a recente retomada, o que tem forçado as mudanças de estratégias na expansão da própria pecuária e de outras atividades agrícolas. Sendo assim, pode-se levantar a seguinte questão: Quais os contrastes territoriais observados a partir da dinâmica do desmatamento e da sua relação com as frentes pioneiras nos últimos anos?

Estudos revelam que no município de Paragominas foi possível, ao longo do tempo, identificar as transições da paisagem relacionadas às mudanças de uso da terra e componentes do território importantes na decisão dos produtores, especificamente a aptidão do solo e o distanciamento dos eixos rodoviários principais, o que permite elaborar uma nova questão:

Como as mudanças de uso da terra e as interações com os componentes do território contribuíram na dinâmica da paisagem e como podem auxiliar em um modelo de restauração da paisagem?

As pastagens degradadas são elementos importantes na dinâmica de uso da terra e no processo de restauração da paisagem, como também indicadores da atividade pecuária em uma gestão territorial eficiente. Torna-se indispensável ressaltar que essa realidade pode ser mapeada e monitorada a partir de dados de sensoriamento remoto. Diante disso, faz-se necessário um terceiro questionamento: Com o uso de sensores remotos é possível identificar as características e processos de degradação das pastagens?

1.2 Objetivos

O objetivo geral da pesquisa é analisar as mudanças de uso da terra e a contribuição da pecuária bovina no processo de construção territorial, envolvendo diferentes escalas, do regional ao local, com o uso de métodos e indicadores de monitoramento que colaborem para a gestão territorial.

A pesquisa foi organizada em capítulos, no formato de artigos que apresentam os métodos aplicados em diferentes escalas de análise, com os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a dinâmica do desmatamento no estado do Pará a partir de elaboração de uma cartografia diacrônica das frentes pioneiras, proporcionando uma compreensão espacialmente explícita dos contrastes territoriais de 2002 a 2017.
- Analisar a dinâmica da paisagem nas últimas três décadas, a partir das mudanças de uso da terra e as interações com a aptidão do solo, bem como o distanciamento das rodovias principais, numa tentativa de contribuir para a formulação de propostas de um modelo de restauração da paisagem no município de Paragominas.
- Avaliar os índices de vegetação extraídos das imagens Landsat 7 (ETM+), como potenciais indicadores das características e processos de degradação das pastagens em três áreas amostrais localizadas na região mesorregião sudeste do Pará.

1.3 Hipóteses

- A representação cartográfica das frentes pioneiras e a dinâmica do desmatamento permitem compreender as dinâmicas territoriais contrastantes.
- As mudanças de uso da terra relacionadas a componentes do território permitem compreender a dinâmica da paisagem e auxiliar na formulação de propostas de restauração da paisagem.

- Os índices de vegetação extraídos das imagens de satélite são indicadores das características e dos processos de degradação das pastagens.

1.4 Estrutura da tese

A tese está estruturada em cinco capítulos. Os capítulos 2 a 4 expõem os estudos temáticos em formato de artigo, apresentando os diferentes métodos e as escalas de análise, visando a construção territorial. (Figura 2).

Capítulo 1 - Apresenta a introdução geral, os objetivos e as hipóteses da pesquisa.

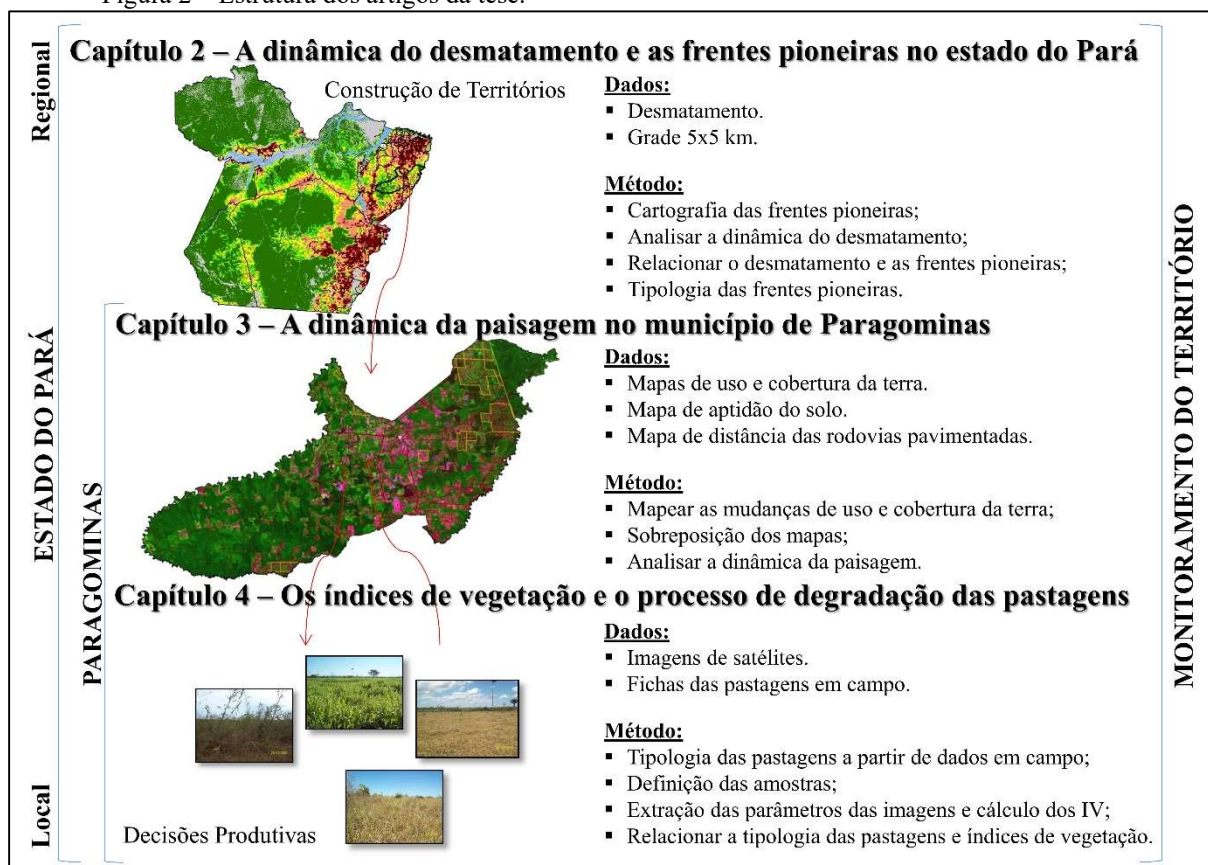
Capítulo 2 - Expõe a análise da dinâmica do desmatamento no estado do Pará, a partir da cartografia das frentes pioneiras, evidenciando um mosaico de territórios contrastados.

Capítulo 3 - Evidencia a dinâmica da paisagem no município de Paragominas, a partir das mudanças de uso da terra e sua relação com a aptidão do solo e o distanciamento das rodovias principais.

Capítulo 4 - O uso de índices de vegetação extraídos das imagens Landsat 7 (ETM+), com a proposta de identificar as características e os processos de degradação das pastagens.

Capítulo 5 - Apresenta uma visão geral dos resultados, analisando a relevância e as limitações para responder às questões da pesquisa e aos objetivos do estudo.

Figura 2 – Estrutura dos artigos da tese.



Fonte: Autor.

CAPÍTULO 2 A CARTOGRAFIA DAS FRENTES PIONEIRAS E A SUA CONTRIBUIÇÃO NA ANÁLISE DA DINÂMICA DO DESMATAMENTO NO ESTADO DO PARÁ¹

THALÊS, M.C.; POCCARD-CHAPUIS, R.; RUIVO, M. L.P.

Resumo

A intensificação do desmatamento na Amazônia brasileira é um problema crônico e persistente, que tem gerado preocupações em diversos setores da sociedade. O desmatamento é um indicador da dinâmica territorial, que pode ser analisado e monitorado por meio da aplicação do conceito de frente pioneira. O presente estudo é baseado em uma cartografia diacrônica das frentes pioneiras no estado do Pará, que foi utilizada para analisar os padrões de desmatamento entre 2002 e 2017. Para esta cartografia, o território do Pará foi dividido em células de 5 km x 5 km, em que foi calculado o percentual acumulado de desmatamento para cada ano de 2002 a 2017, sendo os dados classificados em cinco fases evolutivas da frente pioneira. Essa cartografia permitiu a representação sistemática da dinâmica espaço-temporal do desmatamento na área de estudo e a avaliação dos contrastes regionais, o que permitiu delimitar as regiões pioneiras e caracterizá-las em três categorias principais - expansão, estabilização e consolidação. Ao relacionar as frentes pioneiras às taxas de desmatamento em cada período, foi possível classificá-las como territórios consolidados, voltados para a intensificação das práticas agrícolas, ou em expansão, por meio de uma estratégia de ocupação, além de áreas livres de desmatamento. A abordagem adotada no presente estudo é de fácil entendimento e pode fornecer orientações importantes para tomadores de decisão em diferentes esferas administrativas, contribuindo para a formulação de medidas eficazes para o controle do desmatamento e o desenvolvimento sustentável da região. Para avançar ainda mais no entendimento da dinâmica territorial na área de estudo, outros indicadores poderiam ser incorporados, incluindo a posse da terra e infraestrutura de transporte, além do conhecimento local.

Palavras-chave: Frentes pioneiras. Desmatamento. Dinâmica territorial. Pará.

¹Artigo a ser publicado na Revista Mercator, Qualis preliminar 2019 (A1), em 12 de abril de 2021.

THALÊS, M. C.; POCCARD-CHAPUIS, R.; RUIVO, M. de L. P. A cartografia das frentes pioneiras e a sua contribuição na análise da dinâmica do desmatamento no estado do Pará. Mercator, 2021 (No prelo).

Abstract

The intensification of deforestation in Brazilian Amazonia is a chronic and persistent problem, which has raised concerns in many different sectors of society. Deforestation is an indicator of territorial dynamics, which can be analyzed and monitored through the application of the concept of the pioneer front. The present study is based on a diachronic cartography of the pioneer fronts in the Brazilian state of Pará, which was used to analyze deforestation patterns between 2002 and 2017. For this cartography, the territory of Pará was divided into cells of 5 km x 5 km, in which the cumulative percentage of deforestation was calculated for each year from 2002 to 2017, with the data being classified in five evolutionary phases of the pioneer front. This cartography permitted the systematic representation of the spatiotemporal dynamics of deforestation in the study area and the evaluation of regional patterns, which allowed the pioneer regions to be delimited and characterized in three principal categories – expansion, stabilization, and consolidation. By relating the pioneer fronts to deforestation rates in each period, it was possible to classify them as consolidated territories, focused on the intensification of agricultural practices, or under expansion, through a strategy of occupation, in addition to areas free of deforestation. The approach adopted in the present study is easy to understand and can provide important guidelines for decision-makers in different administrative spheres, contributing to the formulation of effective measures for the control of deforestation and the sustainable development of the region. To further advance the understanding of territorial dynamics in the study area, other indicators could be incorporated, including land ownership and transportation infrastructure, in addition to local knowledge.

Keywords: Pioneer fronts. Deforestation. Territorial dynamics. Pará.

2.1 Introdução

O avanço do desmatamento ainda é um dos maiores problemas ambientais na Amazônia brasileira (BRITO et al., 2019; FEARNSIDE, 2017; STRAND et al., 2018), totalizando, em 2019, a perda de aproximadamente 20% das áreas de florestas (INPE, 2020). A taxa do desmatamento, em 2005, foi de 19.014 km²/ano, registrando uma queda de 32% em relação ao ano anterior, dando início a uma fase de redução até atingir 4.571 km²/ano, em 2012. Posteriormente, observou-se uma nítida persistência e a retomada gradativa do crescimento até a taxa de 10.129 km²/ano, em 2019 (INPE, 2020).

Vários estudiosos buscam compreender a dinâmica do desmatamento, analisando as variações de preços e regulações nas cadeias de mercado (GIBBS et al., 2016; LAMBIN et al., 2018; PIATTO; SOUZA, 2017) ou as intervenções governamentais, como o PPCDAM (MELLO; ARTAXO, 2017). Outros fatores são considerados, dentre eles, o impacto das estradas (BARBER et al., 2014), aspectos fundiários (GOLLNOW et al., 2018; RICHARDS; VANWEY, 2016), tipos de produtores (FEARNSIDE, 2008; GODAR et al., 2014) e políticas públicas (ARIMA et al., 2014; BÖRNER et al., 2014; PACHECO, 2009).

Também se tem demonstrado a complexidade e a abrangência da dinâmica do desmatamento, apontando soluções mais holísticas. Garrett et al. (2018) e Byrlee; Stevenson; Villoria (2014) analisaram as relações entre a intensificação dos usos da terra e o desmatamento evitado. Pacheco; Pocard-Chapuis (2012) apontaram uma organização complexa da pecuária bovina considerando a dimensão espacial. Nesta perspectiva, Piketty et al. (2015) demonstraram que o desmatamento está associado às trajetórias locais de desenvolvimento e aos mecanismos de governança. Le Tourneau; Droulers (2011) propuseram tipologias e avaliações multicritério para compreender e controlar o desmatamento, visando a construção de indicadores de desenvolvimento sustentável. Esses estudos concebem a Amazônia como uma região de fronteira, e o desmatamento, por sua vez, está entre os fenômenos mais estudados, numa tentativa de compreender a sua dinâmica territorial e a sua relação no processo de ocupação.

O conceito de fronteira descrito por Frederick Turner no livro *The Frontier in American History*, de 1893, que redesenhou o olhar da sociedade americana sobre o processo de ocupação territorial, influenciou no Brasil a “Marcha para o Oeste” (ANDRADE, 2010). O geógrafo francês Pierre Monbeig adaptou esse conceito às dinâmicas de ocupação do Paraná e oeste de São Paulo por produtores de café, formulando conceitos que também impactaram a comunidade científica, dentre eles: frente pioneira, franja pioneira, marcha pioneira (MONBEIG, 1981).

Outros autores adaptaram e aperfeiçoaram no contexto da Amazônia, entre eles Théry (1976, 2006, 2012), Droulers (2015), Becker (1991, 2004, 2005) e Martins (1996).

Recentemente, o conceito de frente pioneira foi mobilizado para tratar de questões relacionadas ao desenvolvimento territorial (ALBADEJO; TULET, 1996; COY; KLINGLER, 2014; COY; KLINGLER; KOHLHEPP, 2017; ESCADA et al., 2005), a dinâmica de uso e cobertura da terra (ARVOR, 2009; ARVOR et al., 2013; DUBREUIL et al., 2008; SILVA, 2015) e as questões sociais (MUCHAGATA, 2004; SCHMINK et al., 2019; WEIHS; SAYAGO; TOURRAND, 2017). Estes estudos confirmam assim a pertinência da frente pioneira para explicar e acompanhar dinâmicas territoriais na Amazônia brasileira.

Poucas pesquisas foram conduzidas para explicitar os limites espaciais das frentes pioneiras, mas se tem constatado perspectivas metodológicas com a crescente disponibilidade de informações espaciais. Tais informações podem representar estágios de evolução das frentes pioneiras, combinando as classes de uso e cobertura da terra (ARVOR, 2009; ARVOR et al., 2013), além de construir tipologias de frentes pioneiras em escala municipal (PACHECO, 2012; RODRIGUES et al., 2009) ou representadas em células (THALÊS; POCCARD-CHAPUIS, 2014), utilizando como indicador os desmatamentos anuais.

Entendendo que frente pioneira é um conceito abstrato, mobilizado para análises qualitativas das dinâmicas geográficas complexas, cujos limites espaciais exatos são difíceis de se determinar, o que dificulta a sua cartografia e as abordagens quantitativas. Nesse contexto, o presente artigo tem o objetivo de elaborar um método de cartografia diacrônica das frentes pioneiras no estado do Pará e de utilizá-lo como modelo de análise quantitativa do desmatamento ao longo das últimas duas décadas, proporcionando uma explicação espacialmente explícita da dinâmica territorial.

2.2 Material e método

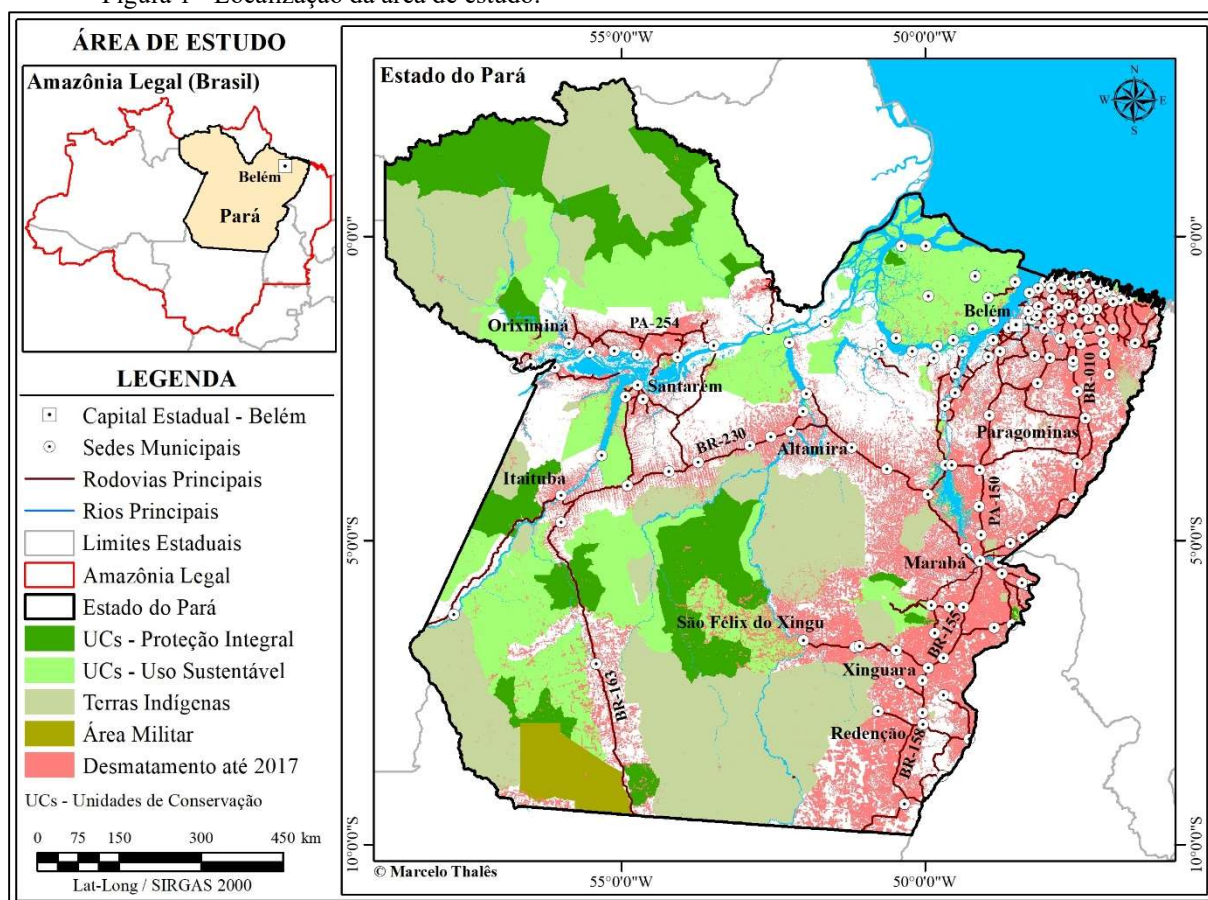
2.2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no estado do Pará, localizado na porção oriental da Amazônia brasileira e dividido em 144 municípios interligados por rios e estradas. A área territorial é de 1.245.759 km² e inclui um mosaico de áreas protegidas em 57% da sua área total, sendo 30% em unidades de conservação de uso sustentável e de proteção integral, 25% em terras indígenas e 2% em área militar (FUNAI, 2018; ICMBIO, 2018; MMA, 2018) (Figura 1).

A dinâmica de ocupação no Pará foi marcada pelas políticas de colonização e a abertura de eixos rodoviários que estimulou os movimentos pioneiros para a região (BECKER, 2004).

Na década de 60 foi construída a rodovia BR-010 (Belém-Brasília), na faixa oriental do estado, onde se desenvolveu o polo de Paragominas, e nos anos 70, ao longo da BR-230 (Transamazônica) se desenvolveram os Polos Integrados de Colonização de Marabá, Altamira e Itaituba, localizados às margens dos rios Tocantins, Xingu e Tapajós, respectivamente. Posteriormente, foi construída a BR-163 (Cuiabá-Santarém) na faixa oeste do Pará. A partir destas rodovias foram construídas outras que também sustentaram as dinâmicas pioneiras, como a PA-150 e BR-155 no sul do Pará, PA-279 até São Félix do Xingu e a PA-254 na margem esquerda do rio Amazonas (Figura 1).

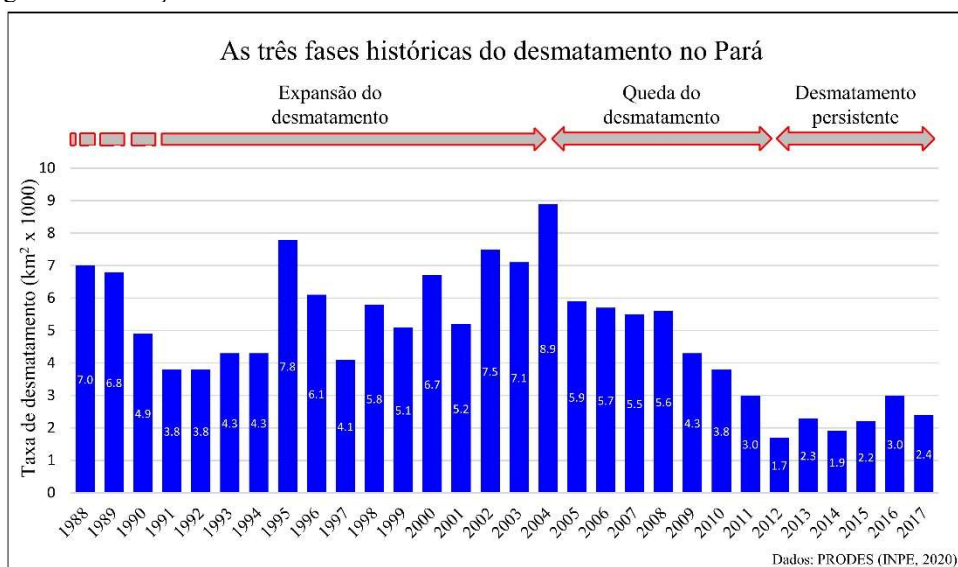
Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autor.

As frentes pioneiras seguem padrões e ritmos próprios de desmatamento e de desenvolvimento. No Pará, até 2017, um quarto de suas florestas foi convertido em áreas de uso, contribuindo negativamente com as maiores taxas de desmatamento entre os estados da Amazônia brasileira (INPE, 2020). Entre 2005 e 2012 houve uma forte queda do desmatamento e as causas têm sido descritas na literatura e nos relatórios governamentais, porém a fase de persistência e crescimento gradativo, a partir de 2013, continua sendo questionada para explicar a inflexão da curva (Figura 2).

Figura 2 - Evolução das taxas de desmatamento no estado do Pará.



Fonte: Poccard-Chapuis et al. (2020).

2.2.2 Estruturação dos dados de desmatamento

Os dados de desmatamento de 2012 e 2017, disponibilizados pelo programa PRODES, foram utilizados na quantificação dos desmatamentos acumulados até 2002 e dos incrementos anuais de 2003 a 2017 (INPE, 2020). A estruturação e a análise desses dados e a elaboração dos mapas foram tarefas realizadas em uma sequência de operações espaciais utilizando o *software* ArcGIS®.

O passo inicial foi reclassificar o dado de desmatamento de 2017, utilizado como referência e disponível em formato matricial com 30m de resolução espacial, nas classes desmatamento acumulado até 2008 e nos incrementos anuais de 2009 a 2017. Para complementar o período de análise o dado de desmatamento de 2012 foi convertido em formato matricial e reclassificado em: desmatamento acumulado até 2002 e nos incrementos anuais de desmatamento de 2003 a 2008. Ambos os dados ainda contêm as classes floresta, hidrografia, não floresta e áreas não observadas (nuvem).

Em seguida, os dados reclassificados foram recortados para o estado do Pará e convertidos na projeção Albers e datum SIRGAS 2000 com os respectivos parâmetros cartográficos, meridiano central -53°, primeiro e segundo paralelo padrão 2° e -9°, e Latitude de Origem 3°, para a quantificação das áreas.

2.2.3 Modelo cartográfico das frentes pioneiras e a dinâmica do desmatamento

O método proposto tem como embasamento a análise conceitual das frentes pioneiras realizada por Poccard-Chapuis (2004) com base em Monbeig (1952) e Théry (1976). Segundo

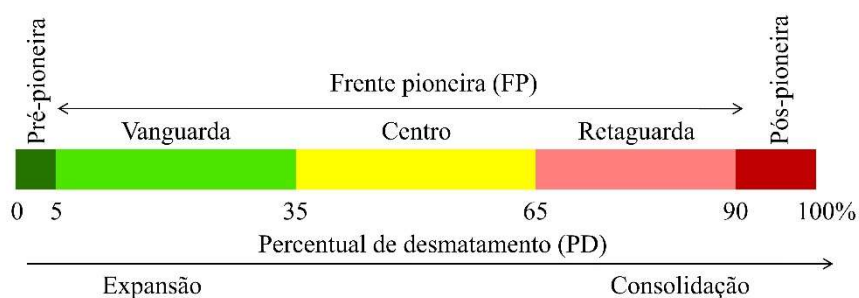
Poccard-Chapuis (2004) define a frente pioneira como a porção do espaço onde se realiza a transição entre os espaços ocupados por populações tradicionais ou disponíveis para colonização e regiões desenvolvidas e integradas a sistemas econômicos e sociais nacionais. Essa transição é progressiva e, com o passar do tempo, os fatores-chaves na construção territorial evoluem e se consolidam com o desenvolvimento local, dentre eles, mercado fundiário, desmatamento, serviços públicos, produção agropecuária e serviços.

Anterior ao início da dinâmica pioneira, o território se encontra na fase pré-pioneira, caracterizada pela alta disponibilidade de recursos naturais (floresta) e praticamente sem desmatamento, somente alguns precursores. Com a chegada da frente pioneira, inicia-se o desmatamento e a ocupação do território, gerando conflitos fundiários pela posse da terra, em locais sem o mínimo de infraestrutura e serviços. Ao passo que o movimento pioneiro entra na fase de expansão e o desmatamento segue avançando, a estrutura fundiária começa a se organizar, mas com os eixos de transporte e núcleos urbanos ainda precários. Quando o território se encontra amplamente desmatado, uma nova fase se inicia com a busca de alternativas para a conversão de um modelo de expansão dos sistemas produtivos para um modelo de diversificação e/ou intensificação, além de um mercado fundiário valorizado e as cidades locais funcionando como polos de serviços urbanos. Quando atinge a fase pós-pioneira, a antiga frente pioneira se assemelha aos territórios mais desenvolvidos que a originaram (POCCARD-CHAPUIS, 2004).

A cartografia das sucessivas fases de evolução das frentes pioneiras foi baseada em Thalês; Poccard-Chapuis (2014). Nesse caso, o território paraense foi particionado em células de 5x5 km (25 km²) e realizado o cruzamento com os dados de desmatamento reclassificados, excluindo as classes hidrografia, não floresta e áreas não observadas (nuvem). Em cada célula foi calculado o percentual do desmatamento acumulado em relação à área de floresta (PD) nos anos selecionados entre 2002 e 2017.

Esses valores percentuais do desmatamento (PDs) foram utilizados para classificar as células em função de intervalos que correspondem às fases de evolução da frente pioneira (Figura 3). Nessa classificação, as extremidades são consideradas as classes pré-pioneira, quando o PD for inferior a 5%, e pós-pioneira, quando o PD for superior a 90%. Entre as extremidades, a transição pioneira foi dividida em três classes: a vanguarda corresponde ao intervalo de 5 a 35% do PD, o centro corresponde ao intervalo de 35 a 65% PD, enquanto que a retaguarda corresponde ao intervalo de 65 a 90% do PD (THALÊS; POCCARD-CHAPUIS, 2014).

Figura 3 - Modelo cartográfico da frente pioneira.



Fonte: Adaptado de Thalês; Pocard-Chapuis (2014).

A classificação das células corresponde à cartografia das frentes pioneiras em 2002 e 2017 e quando comparadas, em função do percentual do número de células que mudaram de classe, permite compreender a dinâmica espaço-temporal nesse período e identificar as diferenças regionais no território paraense, de modo a auxiliar na delimitação das Regiões Pioneiras (RPs). A escolha do termo “região” foi em função das frentes pioneiras já estarem instaladas e avançando em suas diferentes fases, situações em que o termo “frente” não é adequado.

Além da cartografia das frentes pioneiras nas datas extremas, 2002 e 2017, também foi realizada em datas intermediárias, 2004, 2008 e 2012, enquanto a dinâmica dos desmatamentos foi representada em períodos intervalares, 2003 a 2004, 2005 a 2008, 2009 a 2012 e 2013 a 2017, estabelecidos em função das mudanças no comportamento anual dos desmatamentos nos últimos 15 anos. A partir dessas informações foi possível relacionar a dinâmica dos desmatamentos aos processos dominantes nas classes das frentes pioneiras, refletindo a localização e a quantificação dos desmatamentos e assim ajudando a interpretar suas possíveis causas.

2.3 Resultados

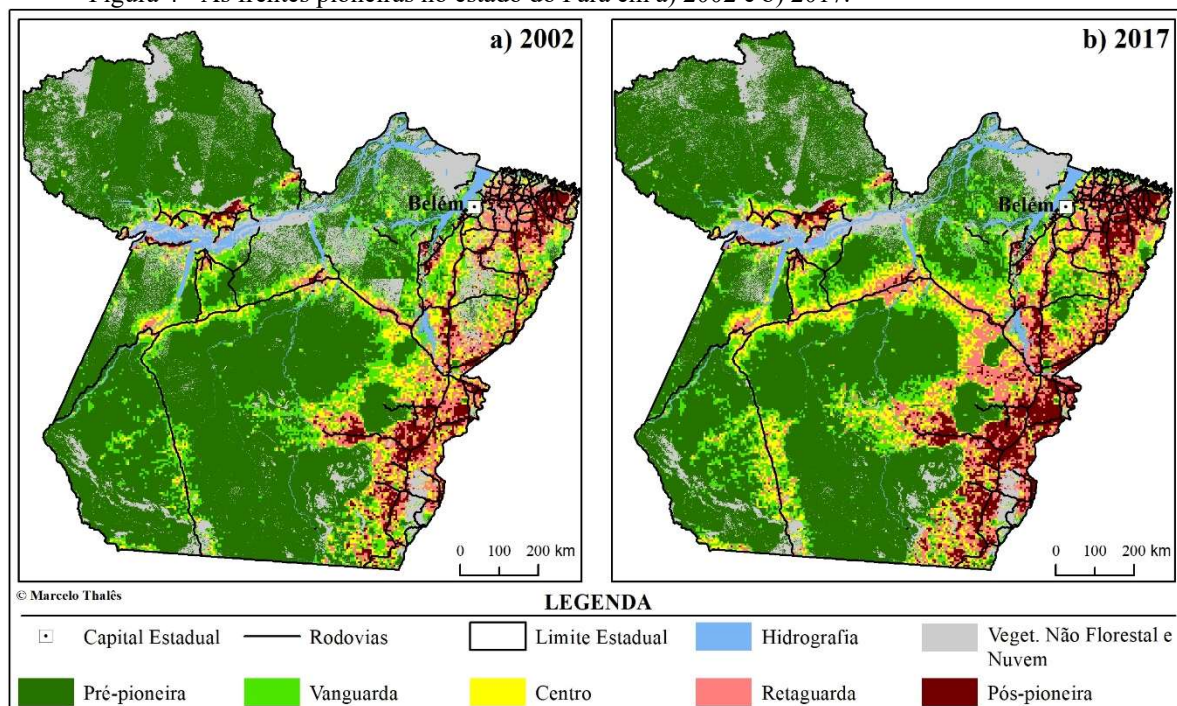
2.3.1 Cartografia das frentes pioneiras

A Figura 4 apresenta a cartografia das frentes pioneiras na situação inicial e final do período analisado (2002 e 2017), ilustrando de forma visual uma disposição coerente das classes em relação a teoria da marcha pioneira formulada por Monbeig (1952) e seus seguidores. Podemos observar a localização dos núcleos pós-pioneiros nas regiões mais centrais do estado do Pará, cercado por células de retaguarda e centro, enquanto nas áreas mais afastadas estão as células de vanguarda, em contato com as pré-pioneiras.

Ao quantificar o percentual do número de células em cada classe, em 2002 e 2017, verificou-se que a classe pré-pioneira reduziu de 66% a 58%, traduzindo um nítido avanço do

movimento pioneiro que afeta as áreas florestais até então livres de desmatamento, já a classe pós-pioneira aumentou de 5% a 8%, indicando a saída do processo pioneiro de ocupação. Detalhando as três classes que compõem a frente pioneira em si, observou-se que a classe vanguarda se manteve praticamente estável, entre 12% a 13%, enquanto as classes centro e retaguarda apresentaram valores de 9% e 8%, em 2002, respectivamente, aumentando levemente, até atingirem 11% em 2017.

Figura 4 - As frentes pioneiras no estado do Pará em a) 2002 e b) 2017.



Fonte: Autor.

A quantificação indicada não reflete a heterogeneidade das mudanças que ocorrem no território quando analisadas visualmente nos mapas. Neste caso, faz-se necessário a quantificação das células que mudaram de classe em comparação às que permaneceram estáveis no período analisado, trazendo informações sobre a dinâmica das frentes pioneiras.

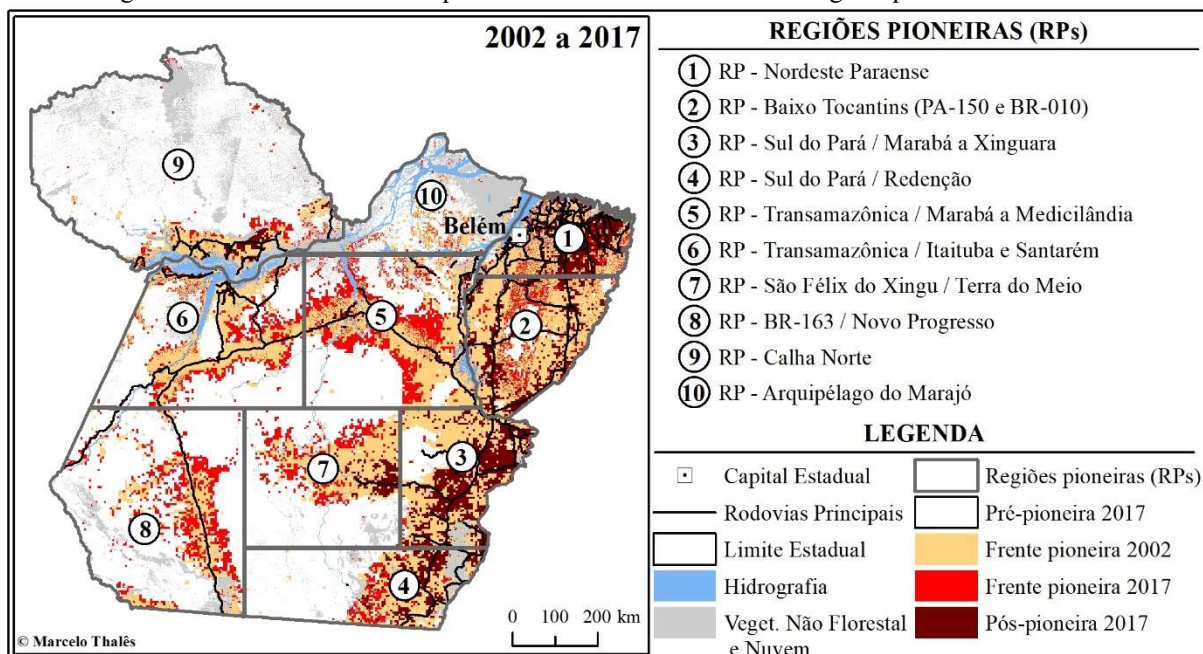
2.3.2 Delimitação das regiões pioneiras

Com a sobreposição dos mapas das frentes pioneiras de 2002 e 2017 foi possível representar de forma simplificada a dinâmica das frentes pioneiras e permitiu identificar e delimitar dez regiões pioneiras (RPs). Para delimitá-las, de forma menos subjetiva, foi realizada a seleção de um conjunto de células que contemple cada RP, apoiada em literaturas científicas e no conhecimento de especialistas sobre a dinâmica territorial (Figura 5).

Os recortes espaciais ortogonais simplificam a geografia regional, por outro lado, permitem identificar os contrastes regionais das frentes pioneiras. Outros recortes alternativos

poderiam ser praticados, como os limites administrativos, mas têm a desvantagem de dificultar a interpretação, uma vez que estes limites podem pertencer a várias RPs.

Figura 5 - Dinâmica das frentes pioneiras de 2002 a 2017 e as dez regiões pioneiras no estado do Pará.



Fonte: Autor.

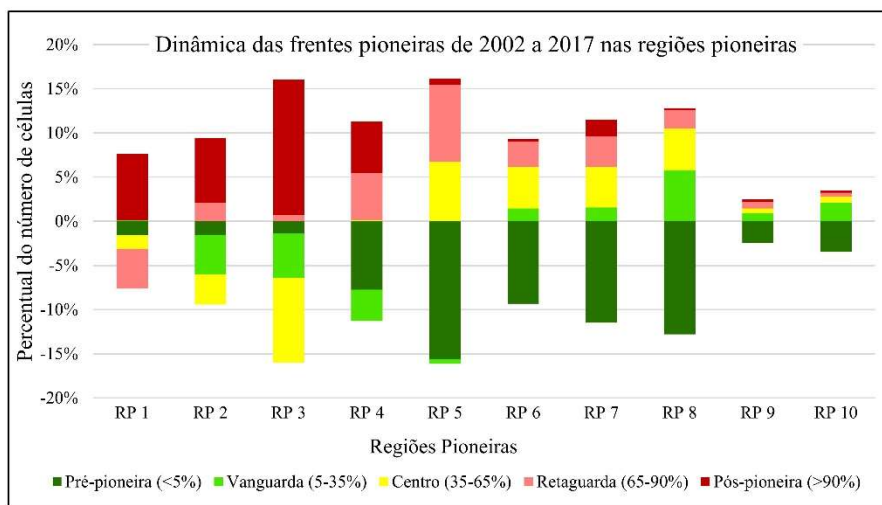
As RPs de 1 a 4 abrangem toda faixa oriental do estado, onde se iniciou a colonização. A RP 1 engloba o nordeste paraense, região mais antiga de colonização, mais povoada e com as melhores infraestruturas e serviços. A RP 2, logo abaixo, inclui o baixo Tocantins, as rodovias PA-150 e BR-010, e os polos de Paragominas e Tailândia. A RP 3 envolve o sul do Pará, de Marabá até polo de Xinguara, enquanto a RP 4 corresponde ao extremo sul com polo de Redenção.

As RPs 5 e 6 estão situadas ao longo da BR-230, a RP 5 vai de Marabá até Medicilândia, e a RP 6 de Medicilândia até Itaituba, incluindo o setor de Santarém (trecho norte da BR-163). Enquanto a RP 7 compreende a região de São Félix do Xingu e a RP 8 inclui o polo de Novo Progresso, ao longo da BR-163, no sudoeste do Pará. As RPs 9 e 10 correspondem à faixa norte do estado e abrangem a Calha Norte, na margem esquerda do rio Amazonas, e o arquipélago do Marajó, respectivamente.

2.3.3 A dinâmica das frentes pioneiras nas regiões pioneiras

A Figura 6 ilustra a quantificação dos percentuais do número de células que mudaram de classes na cartografia das frentes pioneiras de 2002 e 2017, em cada região pioneira (RP). Os valores negativos representam as classes que reduziram o número de células e os positivos as que aumentaram, evidenciando a dinâmica das frentes pioneiras.

Figura 6 – Dinâmica das frentes pioneiras de 2002 a 2017 nas regiões pioneiras.



Fonte: Autor.

A RP 1 sofreu poucas mudanças de classes, porém nítidas, ampliando unicamente a classe pós-pioneira, em detrimento da retaguarda. Essa dinâmica retrata a fase final do movimento pioneiro, ou seja, quando o território sai da dinâmica pioneira e entra em fase de desenvolvimento integrado ao resto do País. Nas RPs 2 e 3 a maturação do processo pioneiro é menos avançada, com aumento nas classes pós-pioneira e retaguarda e redução nas classes vanguarda e centro, em proporção maior na RP 3. Pela amplitude das mudanças nestas regiões ocorreram desmatamentos, mas com pouca intensidade no avanço da frente pioneira.

A evolução foi diferente na RP 4, mostrando um processo de maturação similar às anteriores (retaguarda e pós-pioneira), mas com perdas nas classes pré-pioneira e vanguarda, o que indica o avanço da frente pioneira. Nesse caso, a evolução foi mista, combinando um processo de maturação e avanço da frente pioneira.

A RP 5 foi a mais dinâmica, típica de uma frente pioneira ativa, em que o desmatamento ocasionou as maiores mudanças de classe, avançando nas áreas de floresta, conforme os percentuais de perda da classe pré-pioneira. Em contrapartida, houve aumento nas classes centro e retaguarda e menos expressiva na pós-pioneira. As RPs 6 e 7 apresentaram uma dinâmica similar a RP 5, seguindo os mesmos padrões das frentes pioneiras ainda jovem e ativa, mas em menores proporções. A RP 7 se destacou por um avanço maior na classe pós-pioneira.

A RP 8 mostrou um perfil típico de uma frente pioneira nova e ativa que traduz o avanço rápido em áreas florestais até então não atingidas pelo movimento pioneiro. Essa região apresentou um padrão menos evoluído e a construção territorial ainda se encontra em fases iniciais, crescendo, sobretudo, nas classes vanguarda e centro.

As RPs 9 e 10 apresentaram baixa quantidade de células que mudaram de classe, característica de um movimento pioneiro imobilizado, no qual os desmatamentos ocorreram em

menores proporções por serem as mais afastadas das rodovias e do movimento pioneiro. Mesmo assim, houve um avanço da frente pioneira comprovado pelas perdas de células pré-pioneiras e o aumento das classes de vanguarda, centro e retaguarda.

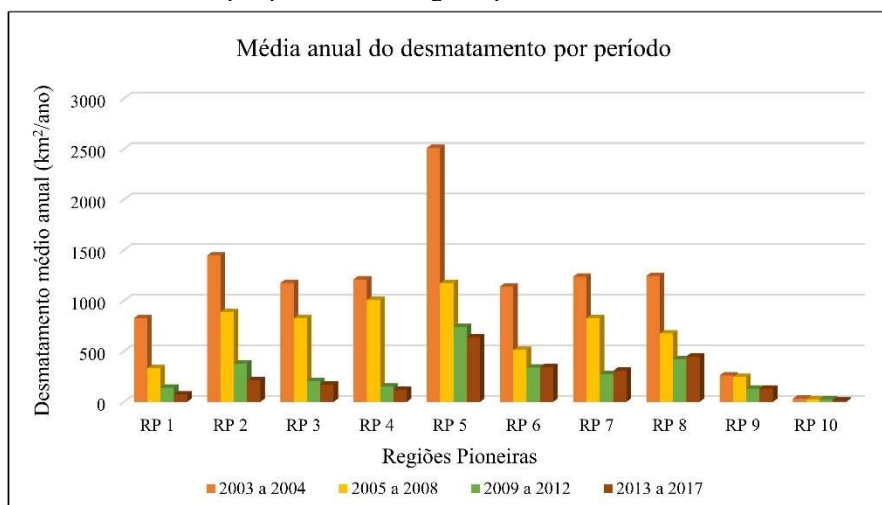
2.3.4 A dinâmica dos desmatamentos e a sua localização nas frentes pioneiras

O método também permitiu analisar a dinâmica dos desmatamentos nas regiões pioneiras e a sua localização em relação à cartografia das frentes pioneiras nos períodos estabelecidos.

2.3.4.1 A dinâmica dos desmatamentos

A Figura 7 ilustra a média anual dos desmatamentos nos períodos de 2003 a 2004, 2005 a 2008, 2009 a 2012 e 2013 a 2017, nas dez RPs. Observou-se, em primeiro lugar, que o ritmo do desmatamento tem variações internas em cada RP e entre as RPs. No comparativo entre as regiões desperta a atenção a RP 5 com os valores de desmatamento mais elevados e as RPs 9 e 10 com os valores mais baixos e estáveis.

Figura 7 – Desmatamento por períodos nas regiões pioneiras.



Fonte: Autor.

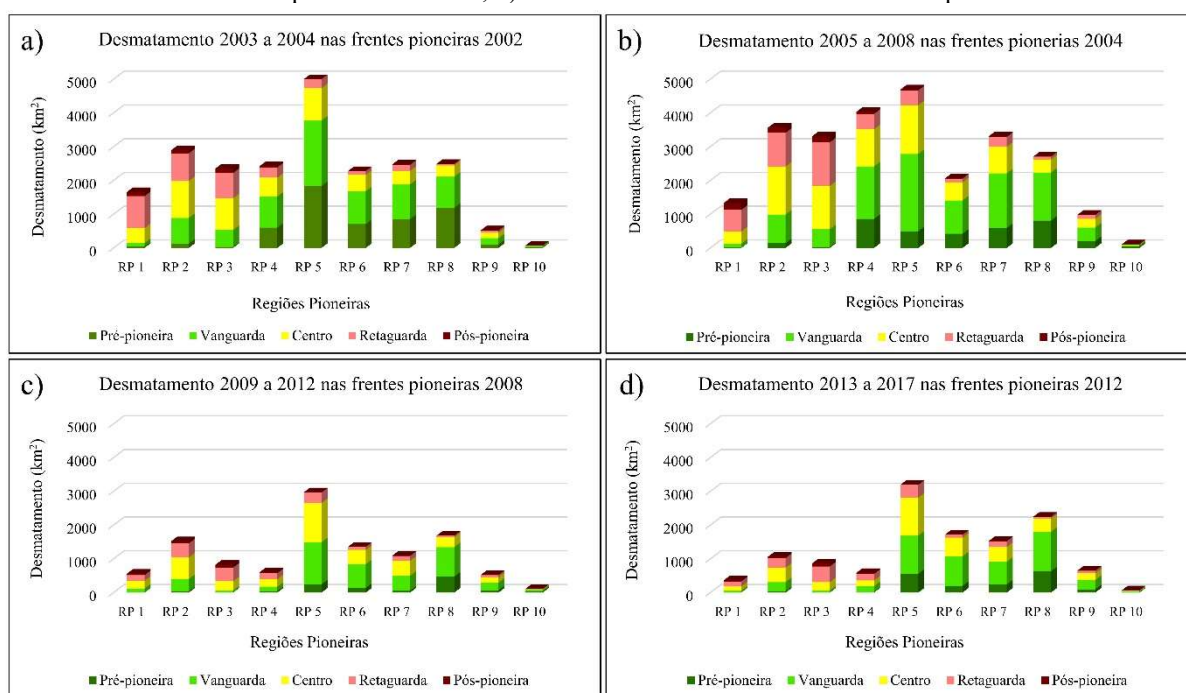
No período inicial (2003 a 2004), os desmatamentos foram mais elevados e relativamente distribuídos nas RPs 1 a 8, enquanto de 2005 a 2008 se mantiveram nas RPs 2 a 5 e 7. Nos períodos mais recentes (2009 a 2012 e 2013 a 2017) apresentaram os valores mais baixos de desmatamento, mas com intensidades diferentes entre as regiões e similares dentro de cada região. As RPs 2 a 4 reduziram os valores de desmatamento se juntando a RP 1, enquanto as RPs 5 e 7 mantiveram os altos desmatamentos se juntando as RPs 6 e 8. O desmatamento persistente, aquele ocorrido após 2013, se deu de maneira localizada, essencialmente nas RPs 5 a 8, enquanto nas demais RP a persistência foi menor.

2.3.4.2 Localização dos desmatamentos nas frentes pioneiras

Nas RPs 1 a 4, observou-se que o desmatamento declinou nas classes pré-pioneiras e vanguarda, com uma tendência mais nítida nos dois últimos períodos, passando a se concentrar nas classes centro e retaguarda. Esse padrão indica que o desmatamento se mantém em áreas mais integradas, próximas às rodovias e centros urbanos.

Nas RPs 5 a 8, o padrão é nitidamente diferente, caracterizado pelo avanço das frentes pioneiras nas áreas de floresta, entre 2002 a 2008, como observado pela proporção do desmatamento nas classes pré-pioneira e vanguarda. Essa tendência foi mais controlada de 2009 a 2012, quando praticamente não ocorreram desmatamentos na classe pré-pioneira, a exceção a RP 8, mas com uma retomada no período mais recente. Esse padrão significa que o movimento retomou seu curso, mas em proporções bem menores do que anterior a 2008. A RP 9 seguiu a mesma tendência, mas em extensões ainda menores.

Figura 8 – Localização dos polígonos de desmatamento nas frentes pioneiras: a) desmatamento 2003 a 2004 nas frentes pioneiras de 2002; b) desmatamento 2005 a 2008 nas frentes pioneiras de 2004; c) desmatamento de 2009 a 2012 nas frentes pioneiras de 2008; d) desmatamento 2013 a 2017 nas frentes pioneiras de 2012.

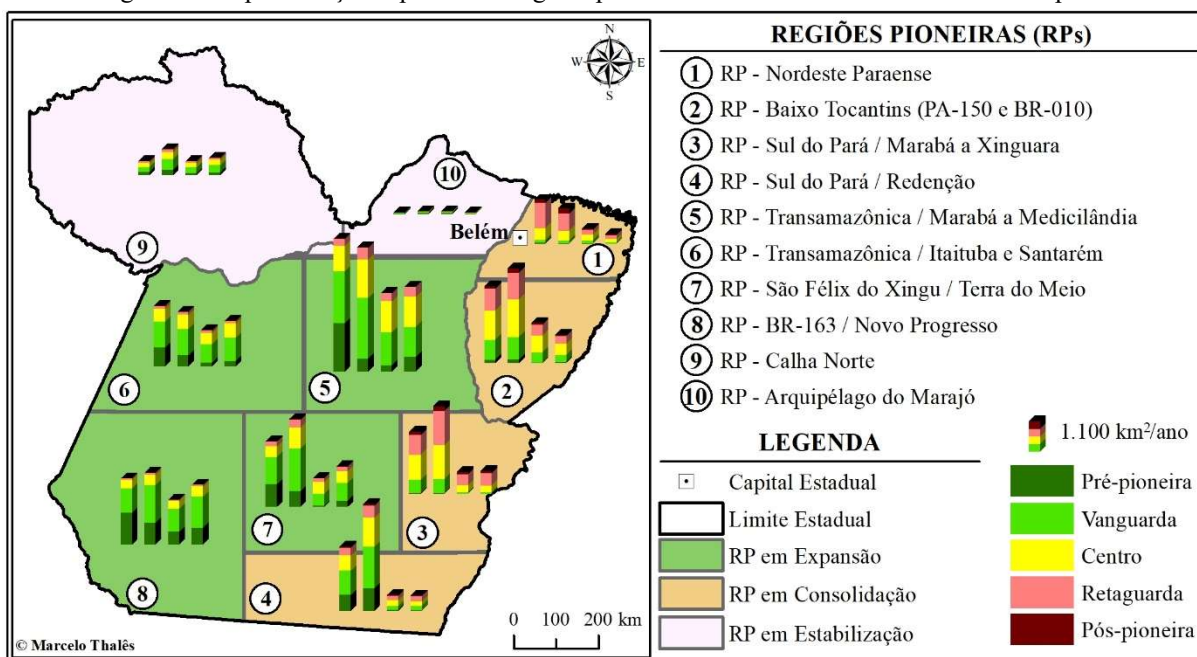


Fonte: Autor.

Essa análise mostrou grandes padrões, permitindo avaliar em que medida as RPs se enquadram. Há casos em que as RPs mudaram de padrão, como a RP 4, que no período entre 2002 e 2008 se caracterizou pelo avanço da frente pioneira, pois grande parte do desmatamento ocorreu nas classes pré-pioneira e vanguarda. Já no último período, seu padrão correspondeu ao congelamento da frente pioneira, similar às RPs vizinhas da faixa oriental, com desmatamento controlado e persistente principalmente na classe retaguarda. Também a RP 3

sofreu alteração ao longo do tempo, saindo de um processo intermediário nos períodos iniciais para um processo de consolidação, juntando-se à RP 1.

Figura 9 – Representação espacial das regiões pioneiras e dos desmatamentos nas frentes pioneiras.



Fonte: Autor.

2.4 Discussão

O método apresentado permitiu construir cartograficamente as fases de evolução das frentes pioneiras em cinco classes e analisar a sua dinâmica espaço-temporal, identificando dez RPs e padrões associados às três maiores tendências: expansão, estabilização e consolidação. A facilidade do uso de limites ortogonais supriu a dificuldade em delimitar de forma precisa as diferentes RPs e possibilitou analisá-las individualmente e compará-las. Outras opções poderiam ser consideradas ou complementadas, como os limites municipais, caso o objetivo fosse orientar a governança local.

Ao relacionar a dinâmica dos desmatamentos com a cartografia das frentes pioneiras foi possível observar os contrastes regionais e identificar as RPs livres de desmatamentos, seja pela não disponibilidade de florestas, ou porque conseguiram poupar as existentes, àquelas RPs onde os desmatamentos se concentraram nas fases iniciais da frente pioneira (usos mais extensivos) ou às RPs caminhando para a fase pós-pioneiras (usos mais intensivos). Além disso, foi possível observar as mudanças no comportamento das regiões ao se comparar os períodos iniciais em análise, quando os desmatamentos foram mais intensos, provocando mudanças nas estruturas espaciais das frentes pioneiras, aos períodos mais recentes, a partir de 2008, quando os desmatamentos foram menos intensos.

O método exposto ajudou a interpretar melhor as causas dos desmatamentos, destacando três situações:

i) Territórios para intensificação agropecuária: Os desmatamentos persistem nas classes de centro e retaguarda, nas quais o fundiário é mais valorizado com facilidades de acesso as tecnologias agropecuárias, serviços e logísticas, *a priori*, mais desenvolvidas, conforme o modelo de evolução das frentes pioneiras. Nesse caso, os desmatamentos estão ligados ao processo de intensificação agropecuária, o qual pressiona as florestas localizadas nas terras de maior aptidão e melhor localização (PIKETTY et al., 2015). Essa tendência é relativamente discreta, porém sólida e afeta sobretudo as RPs 1 a 4;

ii) Territórios em expansão: Os desmatamentos ocorrem nas classes pré-pioneira e vanguarda, caracterizando uma tendência de avanço da frente pioneira nas áreas de floresta. Nesse caso, funciona como estratégia de ocupação e especulação fundiária, cuja expectativa é de apropriação a baixo custo de uma terra livre e vendê-la posteriormente, e não se trata, ou raramente, de projetos com prioridade na produção agropecuária. Essa dinâmica fundiária e de desmatamento possuem grande impacto na estrutura econômica e social do território;

iii) Territórios livres de desmatamento: Os desmatamentos foram residuais e nessa perspectiva, a RP 1 aparece como uma região integralmente pós-pioneira e a RP 10 como uma região em que os desmatamentos não avançaram. Enquanto as RPs 3, 4 e 9 têm reduzido os desmatamentos, mas ainda precisando confirmar os progressos futuros.

O método exposto, ao qualificar e quantificar os desmatamentos, pode contribuir de forma significativa para a ampliação do debate sobre a prevenção e combate ao desmatamento, indicando aonde as opções de políticas ou medidas teriam maior relevância, ou como desenhá-las em função do contexto e dos mecanismos locais de desmatamento, assim como auxiliar no desenvolvimento territorial.

Pacheco et al. (2017) afirmam da necessidade de incentivos econômicos e fomento aos produtores para se atingir um modelo de livre de desmatamento, mas reforçam a importância das medidas de comando e controle ambiental, e também consideram que as políticas públicas devem paralelamente incentivar mecanismos de desenvolvimento de menor impacto ambiental.

2.5 Conclusão

O dado anual de desmatamento se mostrou um bom indicador na construção de um modelo cartográfico das frentes pioneiras e o método tem a vantagem do uso de poucos dados e de acesso livre, analisados com ferramentas simples e de fácil entendimento, gerando transparência para os tomadores de decisões e, até mesmos, para os não especialistas no assunto.

O método possibilitou analisar a dinâmica espaço-temporal do movimento pioneiro e os contrastes das regiões pioneiras que compõem o estado do Pará, além de qualificar o avanço do desmatamento nas classes das frentes pioneiras. Assim como, identificar os territórios ligados aos desmatamentos, onde as frentes pioneiras avançam em busca de incorporar novas áreas, ou sejam eles, ligados à intensificação agropecuária, ou mesmo livres de desmatamento.

As dinâmicas regionais observadas, considerando suas especificidades, indicam a possibilidade da construção de instrumentos de monitoramento que poderiam contribuir para as ações de controle do desmatamento e desenvolvimento do território, articulados a políticas adequadas às diferentes esferas administrativas e a coparticipação dos atores locais.

Vale ressaltar que a causalidade do desmatamento, apresentada nesse estudo é definida em função da sua localização e, por esse motivo, é apenas indicativa, o que remete ainda mais a importância do conhecimento local. Do mesmo modo, torna-se necessária a complementação das análises com novos indicadores, tais como fundiários e logísticos, para uma melhor compreensão das dinâmicas regionais e auxiliar na delimitação das regiões pioneiras.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará, ao Museu Paraense Emílio Goeldi, a CAPES, aos projetos ANR-13-AGRO-0003 e TERRACERT/FTA pelo financiamento e a Ana Cristina Cordeiro Ramos pela revisão.

Referências

- ALBADEJO, C.; TULET, J.-C. Les fronts pionniers de l'Amazonie brésilienne: des terrains pour une analyse des relations société-territoire. *In*: ALBADEJO, C.; TULET, J.-C. (Eds.). **Les fronts pionniers de l'Amazonie brésilienne**. La formation de nouveaux territoires. Paris: L'Harmattan, 1996. p. 17–41.
- ANDRADE, R. de P. “Conquistar a terra, dominar a água, sujeitar a floresta”: Getúlio Vargas e a revista “Cultura Política” redescobrem a Amazônia (1940-1941). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 5, n. 2, p. 453-468, 2010.
- ARIMA, E. Y. *et al.* Public policies can reduce tropical deforestation: lessons and challenges from Brazil. **Land Use Policy**, v. 41, p. 465–473, 2014.
- ARVOR, D. **Etude par télédétection de la dynamique du soja et de l'impact des précipitations sur les productions au Mato Grosso (Brésil)**. 2009. Université Rennes 2 - Haute-Bretagne, 2009.
- ARVOR, D. *et al.* Mapping and spatial analysis of the soybean agricultural frontier in Mato Grosso, Brazil, using remote sensing data. **GeoJournal**, v. 78, n. 5, p. 833–850, 2013.

- BARBER, C. P. *et al.* Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. **Biological Conservation**, v. 177, n. 2014, p. 203–209, 2014.
- BECKER, B. K. **Amazônia**. 2 ed. São Paulo - SP: Editora Ática, 1991.
- BECKER, B. K. **Amazônia**: geopolítica na virada do III milênio. Rio de Janeiro-RJ: Garamound, 2004.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71–86, 2005.
- BÖRNER, J. *et al.* Forest law enforcement in the Brazilian Amazon: costs and income effects. **Global Environmental Change**, v. 29, p. 294–305, 2014.
- BRITO, B. *et al.* Stimulus for land grabbing and deforestation in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 6, p. 1-8, 2019.
- BYERLEE, D.; STEVENSON, J.; VILLORIA, N. Does intensification slow crop land expansion or encourage deforestation? **Global Food Security**, v. 3, n. 2, p. 92–98, 2014.
- COY, M.; KLINGLER, M. Frentes pioneiras em transformação: o eixo da BR-163 e os desafios socioambientais. **Revista Territórios e Fronteiras**, v. 7, n. 1, p. 1-26, 2014.
- COY, M.; KLINGLER, M.; KOHLHEPP, G. De frontier até pós-frontier. **Confins**, n. 30, 2017. <https://doi.org/10.4000/confins.11683>.
- DROULERS, M. **Brésil, une géohistoire**. Paris: Presses Universitaires de France, 2015.
- DUBREUIL, V. *et al.* Paysages et fronts pionniers amazoniens sous le regard des satellites : l'exemple du Mato Grosso. **Espace Géographique**, v. 37, n. 1, p. 57–74, 2008.
- ESCADA, M. I. S. *et al.* Processos de ocupação nas novas fronteiras da Amazônia: o interflúvio do Xingu/ Iriri. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 9–23, 2005.
- FEARNSIDE, P. M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. **Ecology and Society**, v. 13, n. 1, 2008. <https://www.jstor.org/stable/26267941>.
- FEARNSIDE, P. M. Business as usual: a resurgence of deforestation in the Brazilian Amazon. **Yale Environment** 360, p. 1–6, 2017.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO – FUNAI. **Terras indígenas do Brasil**. 2018. Disponível em: <http://www.funai.gov.br/index.php/servicos/geoprocessamento>. Acesso em: 22 Nov. 2018.
- GARRETT, R. D. *et al.* Intensification in agriculture-forest frontiers: land use responses to development and conservation policies in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 53, p. 233–243, Nov. 2018.
- GIBBS, H. K. *et al.* Fazendeiros e frigoríficos responderam aos acordos de desmatamento zero na Amazônia brasileira? **Conservation Letters**, v. 9, n. 1, p. 32–42, 2016.

GODAR, J. *et al.* Actor-specific contributions to the deforestation slowdown in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 43, p. 15591–15596, 2014.

GOLLNOW, F. *et al.* Property-level direct and indirect deforestation for soybean production in the Amazon region of Mato Grosso, Brazil. **Land Use Policy**, v. 78, p. 377–385, Jul. 2018.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO. **Mapa temático e dados geoestatísticos das unidades de conservação federais**. 2018. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamentos/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s>. Acesso em: 22 Nov. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Desmatamento – Amazônia Legal**. 2020. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>. Acesso em: 30 Jun. 2020.

LAMBIN, E. F. *et al.* The role of supply-chain initiatives in reducing deforestation. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 2, p. 109–116, 2018.

LE TOURNEAU, F.-M.; DROULERS, M. **L’Amazonie brésilienne et le développement durable**. Paris: Belin, 2011.

MARTINS, J. de S. O tempo da fronteira. Retorno à controvérsia sobre o tempo histórico da frente de expansão e da frente pioneira. **Tempo Social**, v. 8, n. 1, p. 25–70, 1996.

MELLO, N. G. R. de; ARTAXO, P. Evolução do plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, n. 66, p. 108–129, Abr. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Download de dados geográficos**. 2018. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 22 Nov. 2018.

MONBEIG, P. **Pionniers et planteurs de l’état de São Paulo**. Paris: Armand Colin, 1952.

MONBEIG, P. Les mouvements pionniers en Amérique Latine. In: BATAILLON, C. **Les phénomènes de frontière dans les pays tropicaux**. Paris: Éditions de l’IHEAL, 1981. p. 49–57.

MUCHAGATA, M. O papel das organizações de agricultores nas transformações recentes do uso do espaço em região de fronteira amazônica: o caso da região de Marabá. In: SAYAGO, D.; TOURRAND, J.-F.; BURSZTYN, M. (Eds.). **Amazônia: cenas e cenários**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2004. p. 237–260.

PACHECO, P. *et al.* **Beyond zero deforestation in the Brazilian Amazon: progress and remaining challenges to sustainable cattle intensification**. [S.l.]: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2017.

PACHECO, P.; POCCARD-CHAPUIS, R. The complex evolution of cattle ranching development amid market integration and policy shifts in the Brazilian Amazon. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 102, n. 6, p. 1366–1390, Nov. 2012.

PACHECO, P. Agrarian reform in the Brazilian Amazon: its implications for land distribution and deforestation. **World Development**, v. 37, n. 8, p. 1337–1347, 2009.

PACHECO, P. Actor and frontier types in the Brazilian Amazon: assessing interactions and outcomes associated with frontier expansion. **Geoforum**, v. 43, n. 4, p. 864–874, 2012.

PIATTO, M.; SOUZA, L. I. de. **10 anos da moratória da soja na Amazônia**: histórias, impactos e a expansão para o Cerrado. Piracicaba, SP: Imaflora, 2017.

PIKETTY, M.-G. *et al.* Multi-level governance of land use changes in the Brazilian Amazon: lessons from Paragominas, state of Pará. **Forests**, v. 6, n. 12, p. 1516–1536, 2015.

POCCARD-CHAPUIS, R. **Les réseaux de la conquête**. Filières bovines et structuration de l'espace sur les fronts pionniers d'Amazonie orientale brésilienne. 2004. Université de Paris X - Nanterre, 2004.

POCCARD-CHAPUIS, R. *et al.* Os territórios de desmatamento na Amazônia. Uma análise geográfica no estado do Pará. **Confins**, n. 48, 2020. <https://doi.org/10.4000/confins.34636>.

RICHARDS, P. D.; VANWEY, L. Farm-scale distribution of deforestation and remaining forest cover in Mato Grosso. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 4, p. 418–425, 2016.

RODRIGUES, A. S. L. *et al.* Boom-and-bust development patterns across the Amazon deforestation frontier. **Science**, v. 324, n. 5933, p. 1435–1437, 2009.

SCHMINK, M. *et al.* From contested to 'green' frontiers in the Amazon? A long-term analysis of São Félix do Xingu, Brazil. **The Journal of Peasant Studies**, v. 46, n. 2, p. 377–399, 2019.

SILVA, R. G. da C. Amazônia globalizada: da fronteira agrícola ao território do agronegócio – o exemplo de Rondônia. **Confins**, n. 23, 2015. <https://doi.org/10.4000/confins.9949>.

STRAND, J. *et al.* Spatially explicit valuation of the Brazilian Amazon forest's ecosystem services. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 11, p. 657–664, 2018.

THALÊS, M.; POCCARD-CHAPUIS, R. Dinâmica espaço-temporal das frentes pioneiras no estado do Pará. **Confins**, n. 22, 2014. <https://doi.org/10.4000/confins.9860>.

THÉRY, H. Brésil: franges pionnières d'hier et d'aujourd'hui. In: ZAGEFKA, Polymnia (Ed.). **Amérique latine 2006**. Paris: La Documentation Française, 2006. p. 113–129.

THÉRY, H. Des frontières pionnières. **L'Archicube**, v. 13, p. 194–204, 2012.

THÉRY, H. **Rondônia, mutations d'un territoire fédéral en Amazonie brésilienne**. 1976. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 1976.

WEIHS, M.; SAYAGO, D.; TOURRAND, J.-F. Dinâmica da fronteira agrícola do Mato Grosso e implicações para a saúde. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 323–338, 2017.

CAPÍTULO 3 DINÂMICA DA PAISAGEM NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: TRÊS DÉCADAS DE MUDANÇAS DE USO DA TERRA NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS, ESTADO DO PARÁ

Resumo

Compreender e avaliar a dinâmica da paisagem são elementos-chave para o planejamento territorial na Amazônia. As bases de dados espaciais, dentre elas, as séries históricas de uso da terra, atualmente estão disponíveis e de fácil acesso, mas requerem uma estrutura analítica associada ao conhecimento local para apoiar as partes interessadas na tomada de decisão. Neste capítulo serão apresentados os resultados da análise da dinâmica da paisagem em Paragominas, município localizado em uma região em processo de consolidação. Os resultados foram obtidos ao sobrepor-se os mapas de uso da terra com o de aptidão do solo, assim como ao distanciamento das rodovias principais. Ao final, será exposto um modelo de restauração da paisagem. Nesta análise espacialmente explícita e retrospectiva, que engloba um período de trinta e três anos (1985-2018), revelou uma dinâmica da paisagem representada em dois sistemas principais de uso da terra: o primeiro, baseado na expansão de extensas pastagens nos vales arenosos e, o segundo, na agricultura mecanizada que, atualmente, expande-se nos planaltos argilosos. Quantificar e explicar as mudanças de uso da terra permitiram extrair três lições principais da dinâmica da paisagem em Paragominas. A primeira lição é contrária à linha de raciocínio que se estabeleceu sobre o aumento da produtividade, ou seja, a intensificação do uso da terra poupa áreas para a conservação. Na prática, essa intensificação aumenta a pressão sobre as florestas, principalmente àquelas localizadas em áreas de maior aptidão do solo. A segunda lição destaca que a intensificação do uso da terra libera áreas que não são adequadas à mecanização e que podem ser utilizadas para restauração florestal, passiva e de baixo custo, o que conduz a uma nova matriz florestal, em áreas críticas para os serviços ecossistêmicos. A terceira lição sinaliza que, se a governança local for baseada na aptidão do solo e no distanciamento dos eixos centrais, ajudará a definir políticas espacialmente explícitas capazes de conduzir a transição da paisagem. Para melhor apoiar as partes interessadas nas decisões são necessárias informações espaciais complementares em relação à intensificação do uso da terra, bem como, à degradação das florestas e das pastagens.

Palavras-chave: Dinâmica da paisagem. Mudanças de uso da terra. Aptidão do solo. Pará.

Abstract

Understanding and evaluating the landscape dynamics are key elements for territorial planning in the Amazon. Spatial databases, including historical land use series, are currently available and easily accessible, but require an analytical framework associated with local knowledge to support stakeholders in decision making. We present the results of the analysis of the landscape dynamics in Paragominas, a municipality located in a region undergoing consolidation, by overlaying the land use maps with the land suitability and remoteness from the main highways, and at the end propose a landscape restoration model. This spatially explicit and retrospective analysis covers the period 1985-2018 and reveals the landscape dynamics representing two main land use systems; the first based on the expansion of extensive pastures in sandy valleys and the second on mechanized agriculture that currently expands on the clayey plateaus. Quantifying and explaining land use changes has enabled us to draw three main lessons for the landscape dynamics in Paragominas. The first lesson is contrary to the line of reasoning which holds that, increasing productivity, that is, land-use intensification spares land for conservation, whereas in practice, intensification increases pressure on forests, especially those located in highly suitable land for agriculture. The second lesson is that intensifying land use frees up areas that are not suitable for mechanization, which can be used for passive and low-cost forest restoration, leading a new forest matrix in areas critical to ecosystem services. The third lesson is that, if local governance is based on soil suitability and remoteness from the central axes, it would help to define spatially explicit policies capable of driving the landscape transition. However, to better support stakeholders in decisions, complementary spatial information is needed concerning the intensification of land use, as well as the degradation of forests and pastures.

Keywords: Landscape dynamics. Land use changes. Soil suitability. Pará.

3.1 Introdução

As mudanças de uso da terra são de considerável importância para monitorar o futuro da floresta amazônica em diversas escalas: local, regional e global (AMIGO, 2020). Pesquisas direcionadas para essa temática revelam que houve aumento no desmatamento e na degradação florestal (MONTIBELLER et al., 2020; SEYMOUR; HARRIS, 2019) que em sinergia com as mudanças climáticas, ameaçam atingir um ponto de inflexão, alterando o ciclo hidrológico e, consequentemente, promovendo mudanças nos ecossistemas não florestais no leste, sul e centro da Amazônia (LOVEJOY; NOBRE, 2018). O desmatamento diminuiu drasticamente entre 2004 e 2012, seguido por um período de estabilidade e, desde 2015, segue em uma tendência de crescimento. Essa persistência sugere que a eficiência das políticas de contenção do desmatamento atingiu o limite antes de alcançar a meta de desmatamento zero (CARVALHO et al., 2019b).

É importante ressaltar que as mudanças de uso da terra, embora seja um tópico antigo de pesquisa, algumas publicações limitam-se ao próprio processo de desmatamento e da sua relação a fatores individualizados, como o papel das estradas, posse da terra, mercados, cadeias de *commodities*, finanças, políticas públicas ou atores específicos. Como esses fatores estão interligados em sistemas complexos de uso da terra e/ou embutidos em dinâmicas de desenvolvimento regional contrastantes (SCHIELEIN; BÖRNER, 2018), o que dificulta prever tendências futuras, mesmo a curto prazo, principalmente, pela falta de conhecimento da lógica espacial dos atores (AGUIAR et al., 2016; DALLA-NORA et al., 2014). Pesquisadores e formuladores de políticas enfrentam uma lacuna de conhecimento sobre as mudanças de uso da terra na Amazônia, o que compromete a sua capacidade de prevenir ou controlar essas mudanças em andamento.

A transição florestal é uma teoria que procura conectar as mudanças de uso da terra em uma trajetória cronológica (PERZ, 2007). As análises dessa transição são embasadas nas mudanças em grandes escalas, de tempo e espaço, relacionando fatores macroscópicos, como transições demográficas, industrialização, urbanização ou produto interno bruto (RUDEL, 1998). Mas é importante frisar que não fornecem uma estrutura analítica para a avaliação dos serviços ecossistêmicos e das demandas sociais.

Diante dessa realidade, a dinâmica da paisagem oferece dois avanços pertinentes ao proporcionar uma leitura da paisagem como um elemento integrador entre os componentes da natureza e sociedade, auxiliando na compreensão do espaço (CAVALCANTI, 2018). O primeiro direciona o foco para além da cobertura florestal, o que permite evidenciar outros

elementos da paisagem, como: usos da terra, solo, relevo, etc. Um exemplo pode ser observado na interligação entre a agricultura e floresta. Nesse caso, a intensificação agrícola não necessariamente consolida a proteção da floresta, visto que as propriedades ou regiões precisam ser desenvolvidas dentro de uma estrutura de proteção florestal eficiente, adaptadas à compreensão e à incorporação dos objetivos de produção dos proprietários (ANGELSEN, 2010). O segundo é a compatibilidade da escala da paisagem com a dinâmica socioecológica, pois permite compreender as especificidades e os motivadores locais que permanecem invisíveis quando utilizadas em escalas menores (LAMBIN; MEYFROIDT, 2010).

No que concerne às demandas sociais, a dinâmica da paisagem deve fornecer elementos para a governança local, pois podem ser a chave para combinar a conservação ambiental e a expansão da produção agrícola, e atender as exigências do mercado (BOYD et al., 2018; DIGIANO; STICKLER; DAVID, 2020). A fim de que ocorra a transição para um novo modelo da paisagem são necessárias bases sólidas, o que exige processos e métodos de aprendizagem dedicados a construir conhecimento local e ferramentas de monitoramento (CHAZDON et al., 2020).

Atualmente, as fontes de dados e ferramentas de monitoramento tornaram-se cada vez mais acessíveis, o que significa um avanço para os pesquisadores e tomadores de decisão. Um exemplo é o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil que disponibiliza em uma plataforma os mapas de uso da terra das últimas três décadas e permite analisar as mudanças em determinado período (MAPBIOMAS, 2020). Porém, essas informações analisadas isoladamente não são suficientes para a construção do conhecimento, assim como para subsidiar a tomada de decisão local. Para uma melhor compreensão da complexidade da dinâmica da paisagem, faz-se necessário integrar as mudanças de uso da terra com o conhecimento e a experiência local.

Este artigo, propõem-se a analisar a dinâmica da paisagem nas últimas três décadas a partir das mudanças de uso da terra e das interações com a aptidão do solo e o distanciamento das rodovias principais, contribuindo para a formulação de propostas de um modelo de restauração da paisagem no município de Paragominas.

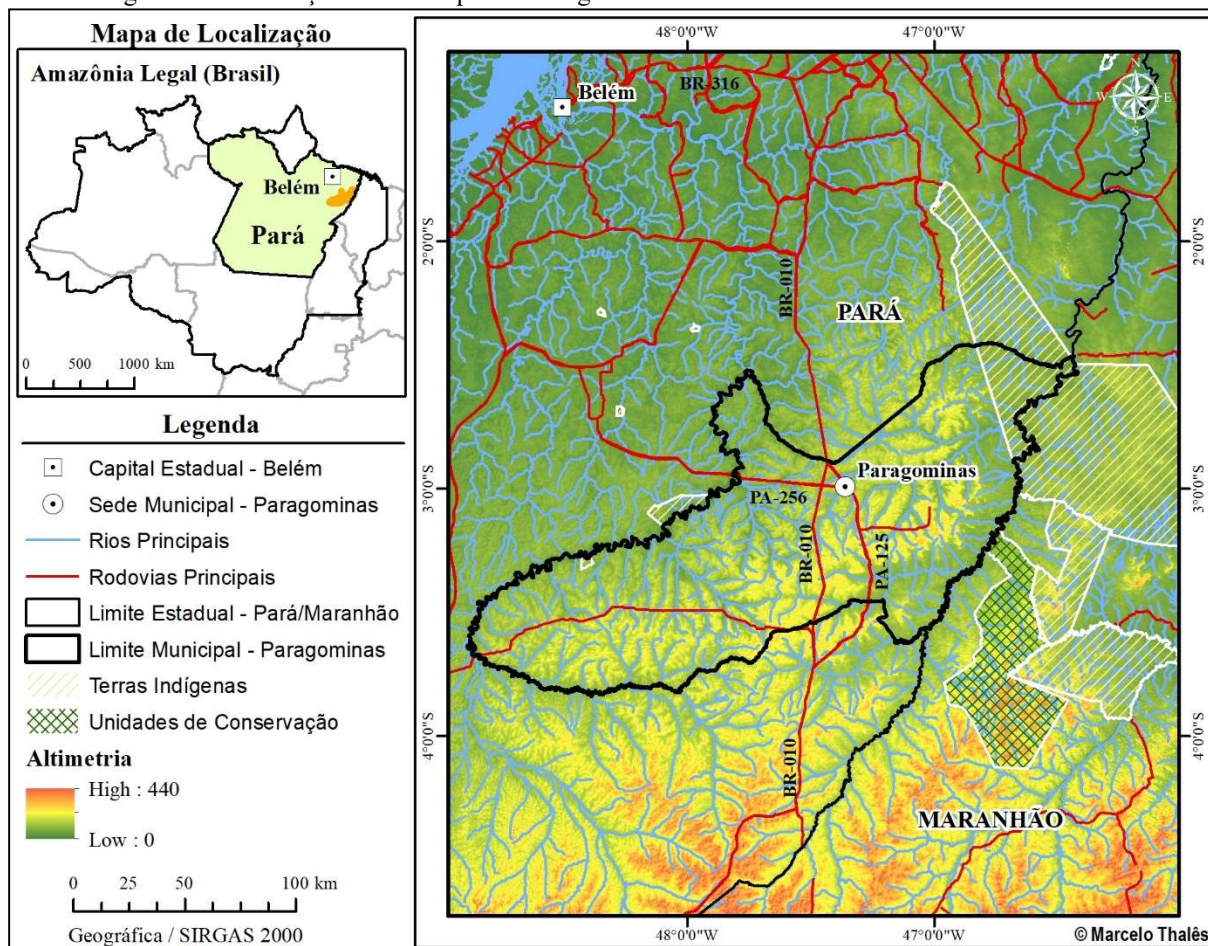
3.2 Material e método

3.2.1 Área de estudo

O município de Paragominas foi fundado na década de 1960 e está situado na porção oriental do estado do Pará, ao longo da rodovia Belém-Brasília, primeira estrada construída na

Amazônia brasileira, e um dos eixos principais de ligação entre a capital do estado ao centro-sul do país. Atualmente, possui 19.342 km² de área territorial e abriga 115.000 habitantes (IBGE, 2020), conforme a Figura 1.

Figura 1 - Localização do município de Paragominas.



Fonte: Adaptado de Poccard-Chapuis et al. (2021).

A breve história do uso da terra no município de Paragominas foi marcada pela expansão da pecuária, associada à exploração madeireira (UHL; VIEIRA, 1989) e, desde 2000, tornou-se o principal polo da agricultura mecanizada do Pará (ALVES; CARVALHO; SILVA, 2014). Paragominas, em 2008, estava inserido na lista do Ministério do Meio Ambiente como um dos municípios que mais desmatavam na Amazônia. Numa estratégia de reverter essa realidade, a governança local implementou um modelo de desenvolvimento chamado de Municípios Verdes, que visava controlar o desmatamento, melhorar a capacidade institucional e envolver os agricultores nos compromissos privados e públicos (PIKETTY et al., 2015; VIANA, 2017).

Desde 2019, o município vem implantando um Plano de Inteligência e Desenvolvimento Territorial que apresenta como principal objetivo implementar o microzoneamento, tendo como referência a dinâmica de uso da terra e as informações relevantes do território, na busca de melhorar a prestação de serviços ecossistêmicos (POCCARD-

CHAPUIS et al., 2019). Diante disso, as instituições locais da região vêm adquirindo notável experiência e conhecimento prático, fator decisivo para a governança da paisagem (CHAZDON et al., 2020) e fundamental para a escolha do município como área de estudo.

O território de Paragominas está localizado na bacia geológica do Grajaú, que é composta por sedimentos clásticos do Cretáceo ao Paleógeno. A topografia é organizada em amplos vales arenosos e planaltos argilosos com elevações de 70 a 150 m acima do fundo do vale. Os solos são principalmente latossolos, de acordo com a classificação da Embrapa (SANTOS et al., 2013), profundamente intemperizados, vermelhos ou amarelos, muito difundidos nos trópicos úmidos, mas com características que variam na área de estudo e determinam sua fertilidade. Nos planaltos, os solos são latossolos argilosos com 70 a 80% de caulinita. Nas encostas dos vales superiores, os solos são pedregosos, formados pelo desmantelamento da ferrugem e no fundo dos vales e, nas encostas mais baixas, os solos são latossolos arenosos formados por intemperismo de arenito (KOTSCHOUBEY; TRUCKENBRODT; CALAF, 2005). O clima é tropical úmido, tipo Aw na classificação de Köppen, com altas temperaturas (26,6° C), alta pluviosidade anual (1.931mm) e uma marcada estação seca que dura seis meses, responsável por apenas 14% da precipitação anual (LAURENT et al., 2017). A vegetação natural é a floresta tropical úmida densa que foi afetada por severo desmatamento desde 1960, o que provocou a perda de 45% do território florestal em 2018 (INPE, 2020).

3.2.2 Arcabouço analítico

Esse estudo foi realizado como parte de um programa de pesquisa interdisciplinar dedicado à dinâmica territorial em Paragominas. Vários aspectos do território estão sendo analisados desde 2014, incluindo governança local (PIKETTY et al., 2015); dinâmica da pecuária (PACHOUD et al., 2017; POCCARD-CHAPUIS et al., 2015); degradação florestal (BOURGOIN et al., 2018; TRITSCH et al., 2016); métodos cartográficos de textura do solo (LAURENT et al., 2017); extração de drenagens (PEREIRA et al., 2018) e de unidades de paisagem (PIMENTEL; POCCARD-CHAPUIS; DA SILVA, 2018). Três teses de doutorado foram elaboradas, com foco em diferentes aspectos da dinâmica da paisagem: “As decisões dos pecuaristas” (PLASSIN et al., 2017); “Os principais determinantes espaciais nas mudanças de uso e cobertura da terra” (OSIS; LAURENT; POCCARD-CHAPUIS, 2019) e “A oferta e demanda por serviços ecossistêmicos” (PINILLOS et al., 2020). Os resultados das teses mostraram que a aptidão do solo e a distância as rodovias principais desempenham papéis decisivos na dinâmica da paisagem na escala municipal.

O arcabouço analítico da dinâmica da paisagem consiste em álgebras espaciais em sistemas de informação geográfica, combinando as mudanças de uso da terra com base na aptidão do solo e no distanciamento das rodovias pavimentadas, em todo o território municipal. As quantificações derivadas dessas operações permitem analisar e explicar as interações específicas ao longo do tempo envolvendo os três principais componentes da paisagem.

3.2.3 Dados utilizados

3.2.3.1 Mapas de uso da terra

O projeto Mapbiomas é uma iniciativa que objetiva gerar uma série histórica de mapas anuais de uso da terra que abrange o território brasileiro, organizados por biomas e disponibilizados em formato matricial, com resolução de 30x30m (MAPBIOMAS, 2020). Nesse estudo foram utilizados os mapas de uso da terra da coleção 4.1 que disponibiliza a série histórica de 1985 a 2018, e o *software* ArcGIS 10.5© nas análises dos mapas.

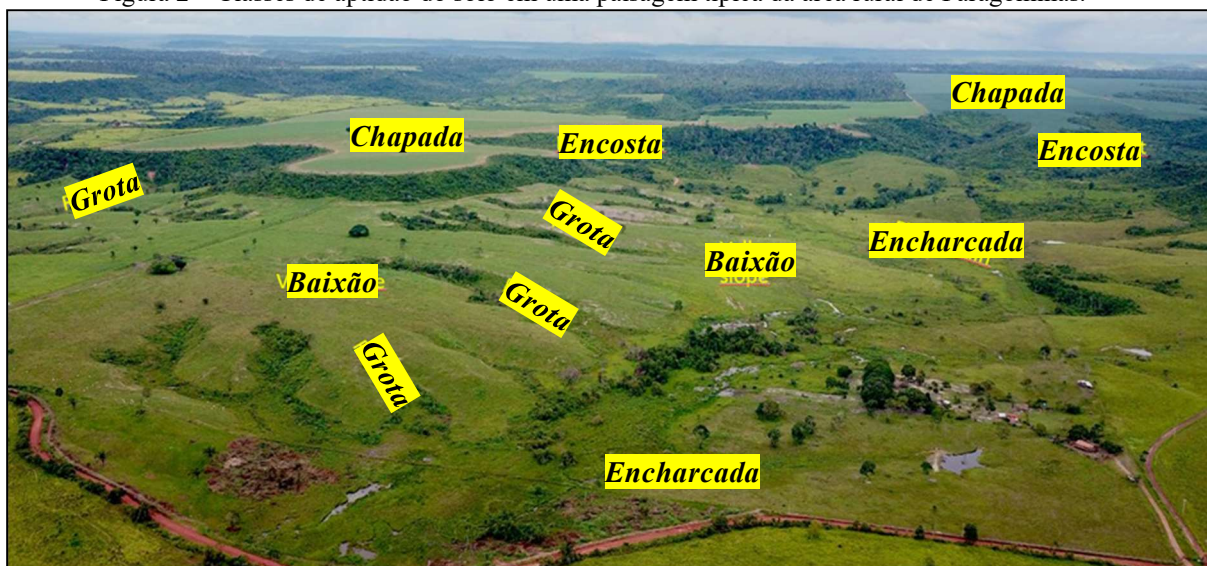
Nos mapas foram selecionadas as classes “floresta”, “agricultura mecanizada” e “pastagem”, além da classe “mosaico de agricultura e pastagem” que foi agregada à “pastagem”, para reduzir o número de classes. A classe “plantação florestal”, por diferir acentuadamente das informações locais e dos mapas existentes (MARTINS et al., 2013; MERCIER et al., 2019; PARAGOMINAS, 2017), e as classes “água” e “áreas não vegetadas”, por não serem utilizadas nas análises, foram reclassificadas em uma classe denominada “outros usos”. Também distingue-se a classe “floresta” em “floresta primária” e “floresta secundária”, considerando que a “floresta primária” é aquela que não foi convertida em qualquer outra classe de uso, enquanto a “floresta secundária” é a que, em algum momento, foi convertida em pastagem ou agricultura mecanizada (SILVA JUNIOR et al., 2020). A distinção entre as classes de floresta foi possível após a análise das mudanças de uso da terra entre os períodos estabelecidos. Nesse estudo, as florestas secundárias que existiam antes de 1990 foram consideradas como primárias.

Para facilitar a interpretação das mudanças de uso da terra, os trinta e três anos de dados foram divididos em seis períodos de cinco anos, de 1985 a 2015, e um período de três anos, entre 2015 e 2018. Também foram construídos três indicadores específicos: a idade da primeira conversão de floresta primária em algum tipo de uso; a duração de um determinado uso em cada período (persistência de um uso específico entre duas conversões) e sucessões de uso da terra em cada período (uso da terra anterior e o subsequente).

3.2.3.2 Mapa de aptidão do solo

O mapa de aptidão do solo utilizado foi o descrito por Osis; Laurent; Poccard-Chapuis (2019) e Pinillos et al. (2020) e incorporado na base de dados espacial do município (CARVALHO et al., 2019a). Esse mapa distingue as cinco classes definidas com base em formas de relevo e critérios dos agricultores: chapada, baixão, encharcada, encosta e grotas (Figura 2). Em duas dessas classes, chapada e baixão, a atividade agrícola pode ser mecanizada e o terreno é altamente adequado para uma produção agrícola intensiva. As chapadas são áreas planas com solos argilosos e de boa fertilidade, adequados para culturas anuais, incluindo soja ou milho. A mecanização agrícola não pode ser usada nas outras três classes (encharcada, encosta e grotas), tornando-as menos adequadas à intensificação agrícola. Essas classes são indispensáveis à proteção do solo e águas superficiais, além de apropriadas ao fornecimento de serviços ecossistêmicos florestais.

Figura 2 – Classes de aptidão do solo em uma paisagem típica da área rural de Paragominas.



Fonte: Adaptado de Poccard-Chapuis et al. (2021).

3.2.3.3 Mapa de distância das rodovias pavimentadas

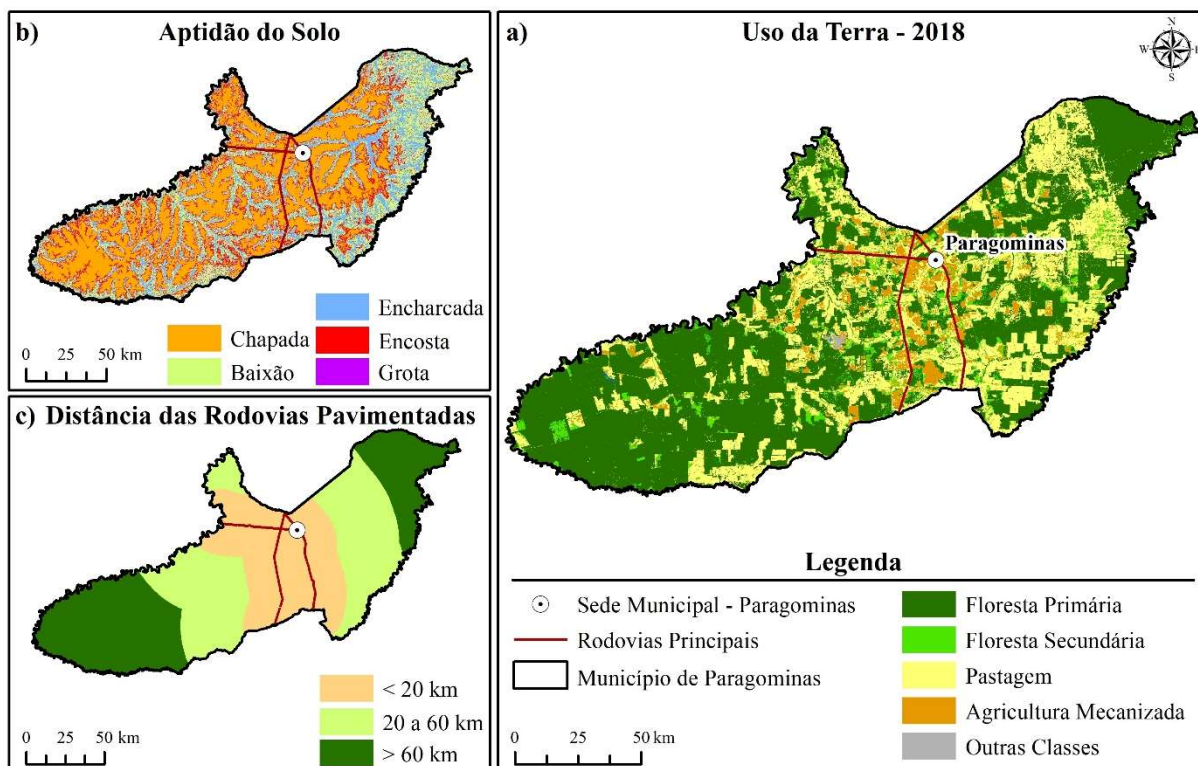
Paragominas tem mais de 19.000 km² e apenas 220 km de rodovias pavimentadas, as quais são mantidas pelo governo estadual e federal, conforme ilustrado na Figura 3. As estradas vicinais, geralmente são mal conservadas e mantidas pelo município ou pelos agricultores. Consequentemente, a localização no município em função do acesso as rodovias é um forte impulsionador das atividades produtivas e afeta as mudanças de uso da terra (OSIS; LAURENT; POCCARD-CHAPUIS, 2017).

Com base em estudos anteriores foram definidas três áreas, tendo como referência o distanciamento da malha rodoviária pavimentada do município. A área central é definida por

uma distância máxima de 20 km na qual o transporte terrestre é de fácil acesso, formando um corredor central no território. A área remota está localizada a mais de 60 km de distância das rodovias pavimentadas, nas extremidades leste e oeste do município, e a área intermediária entre 20 a 60 km.

A Figura 3 ilustra o mapa de uso da terra de 2018 e os mapas de aptidão do solo e o de distância das rodovias pavimentadas com suas respectivas classes.

Figura 3 – Uso da terra em 2018 (a), aptidão do solo (b) e distância das rodovias pavimentadas (c).



Fonte: Autor.

Na Tabela 1 são apresentadas as extensões, em km², e os respectivos percentuais referentes às classes de aptidão de solo em relação às distâncias das rodovias pavimentadas no município de Paragominas.

Tabela 1 – Extensões entre as classes de aptidão do solo e de distâncias das rodovias principais.

Classes de Aptidão do solo	Área Central (< 20km)		Área Intermediária (20 a 60km)		Área Remota (> 60km)		Total	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Chapada	2.498,18	13%	2.682,85	14%	2.300,16	12%	7.481,18	38%
Baixão	1.200,96	6%	2.043,49	10%	2.220,84	11%	5.465,30	28%
Encharcada	612,44	3%	1.042,55	5%	958,88	5%	2.613,87	13%
Encosta	795,07	4%	1.085,14	5%	766,64	4%	2.646,85	13%
Grota	386,53	2%	581,88	3%	589,99	3%	1.558,40	8%
Total	5.493,18	28%	7.435,91	37%	6.836,51	35%	19.765,60	100%

Fonte: Autor.

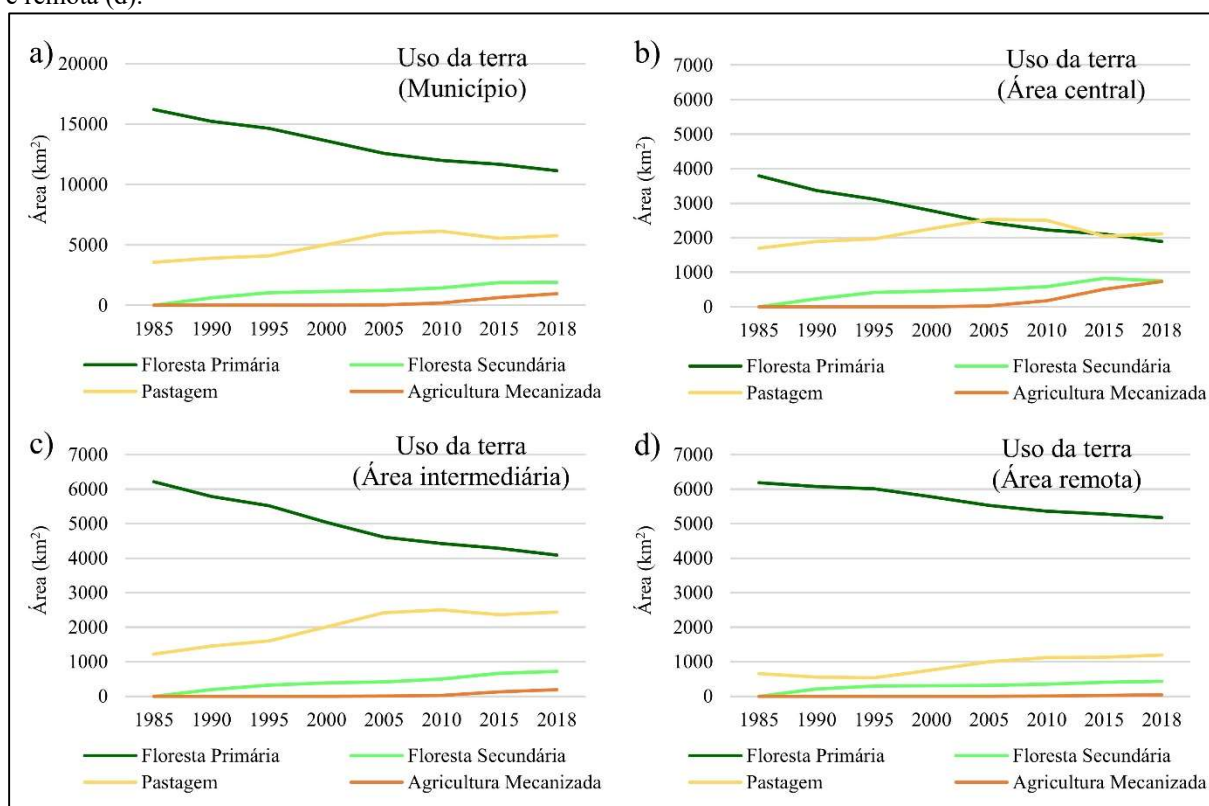
3.3 Resultados

3.3.1 O uso da terra e o distanciamento das rodovias principais

A Figura 4 mostra dois períodos principais da expansão das classes de uso da terra em todo o território de Paragominas. De 1985 a 2005, as áreas de floresta primária diminuíram gradualmente, enquanto as pastagens e as florestas secundárias se expandiram. A partir de 2005, iniciou-se a segunda fase que se caracterizou pela estagnação das áreas de pastagem e a expansão da agricultura mecanizada, enquanto a taxa de declínio da floresta primária continuou constante, como no período anterior. As florestas secundárias estagnaram-se a partir de 2015.

As extensões das classes de uso da terra diferem em função da distância das rodovias principais. As mesmas tendências são observadas a partir 2005, com mais intensidade na área central do que na intermediária e não perceptíveis na área remota. Além disso, a extensão da floresta primária está diminuindo mais rapidamente na área central do que na área intermediária e remota. Isso mostra que há um intervalo de tempo para que os mecanismos da dinâmica de uso da terra da área central se movam do centro para a periferia.

Figura 4 – Classes de uso da terra no município de Paragominas (a), na área central (b), intermediária (c) e remota (d).



Fonte: Autor.

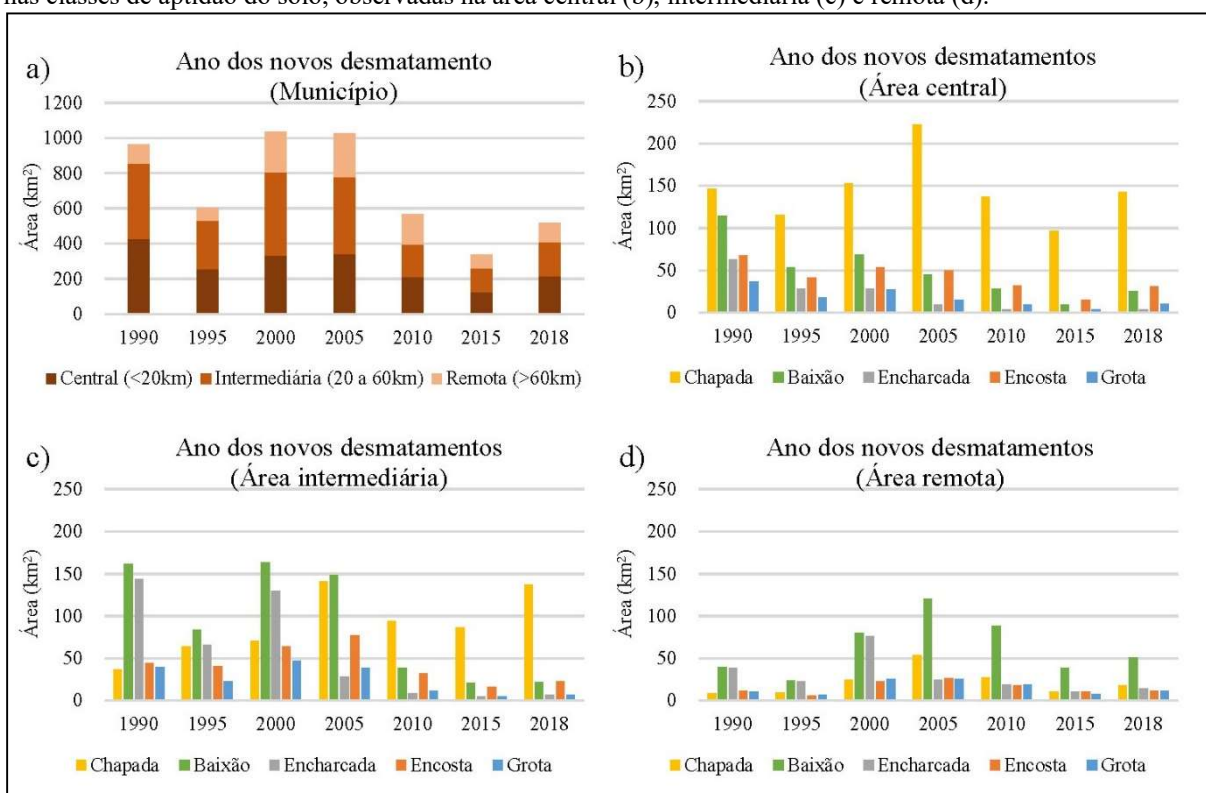
3.3.2 O papel da aptidão do solo na dinâmica do território

3.3.2.1 O desmatamento

O percentual desmatado, até 1985, corresponde a 18% do território de Paragominas em comparação aos 45% até 2018. Na Figura 5, pode-se observar que os novos desmatamentos, identificados nos anos selecionados, ocorrem de forma desigual em termos de aptidão do solo e das distâncias das rodovias pavimentadas.

O desmatamento na área central sempre se concentrou nas chapadas, diminuindo gradativamente nas áreas de baixões e encharcadas. Nas chapadas, o desmatamento atingiu o pico em 2005, reduziu entre 2005 e 2015, mas voltou a aumentar em 2018 (Figura 5b). Na área intermediária, até 2000, o desmatamento se localizou nas áreas de baixões e encharcadas, mas a partir de 2005 passou a se concentrar nas chapadas, com padrão semelhante à área central (Figura 5c). A área remota tem os menores desmatamentos, com picos entre 2000 e 2010. Esses desmatamentos concentraram-se, até 2000, nas áreas de baixões e encharcadas, semelhante a área intermediária e, após este período, apenas nos baixões (Figura 5d).

Figura 5 – Extensão dos novos desmatamentos nas classes de distância das rodovias pavimentadas (a), e nas classes de aptidão do solo, observadas na área central (b), intermediária (c) e remota (d).

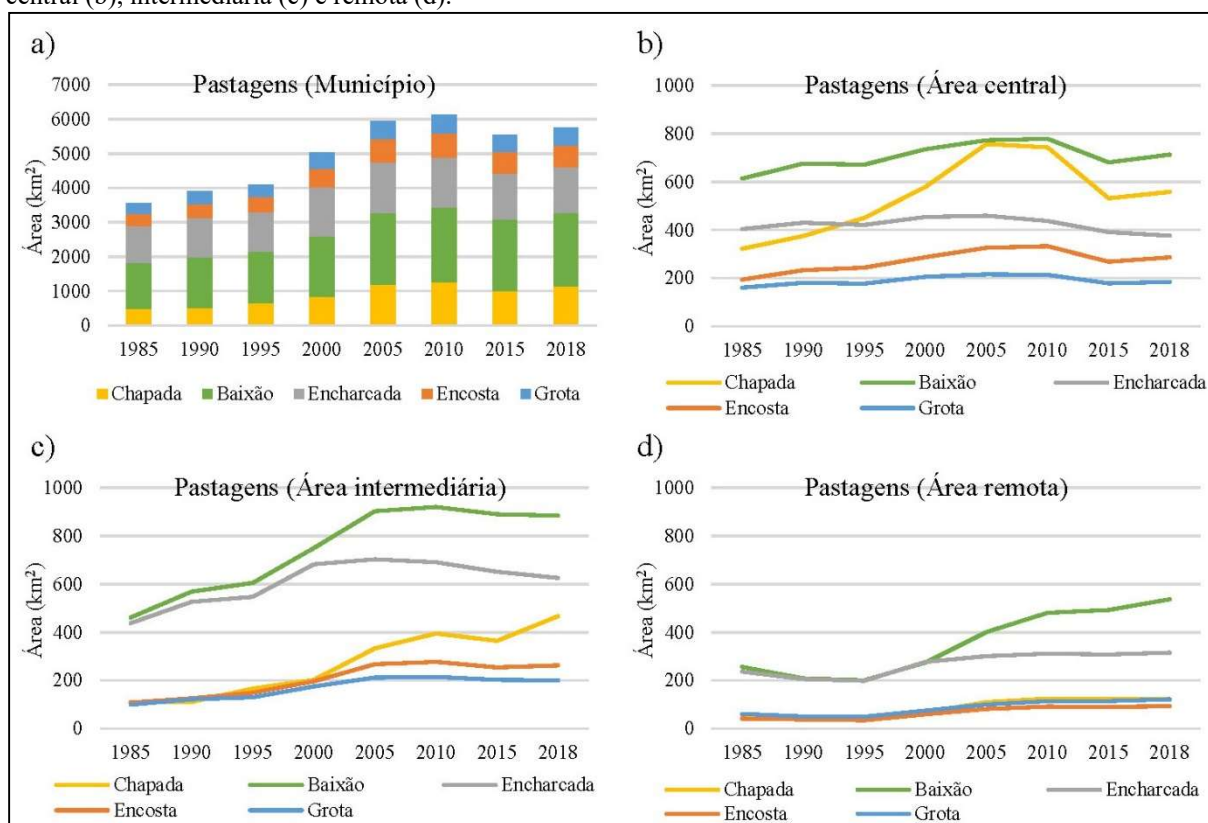


Fonte: Autor.

3.3.2.2 O uso da terra

Ao longo do período analisado, a expansão das pastagens ocorreu de forma diferenciada nas classes de aptidão do solo em Paragominas. No primeiro momento, as pastagens se expandiram nas duas áreas de aptidão de solo preferidas pelos agricultores, ou seja, nos baixões e encharcadas. A partir do momento em que essas áreas foram ocupadas, as pastagens se expandiram para as áreas das chapadas (Figura 6). Na área central do território, esse processo ocorreu antes de 1985, uma vez que não existem muitos baixões e encharcadas nesta porção do território (Figura 6b). Em contraste, na área intermediária as pastagens se expandiram amplamente nos baixões e nas encharcadas e, a partir de 2000, nas chapadas (Figura 6c). Na área remota, a expansão das pastagens ocorreu em menor proporção, concentradas apenas nos baixões e nas encharcadas e, após 2000, apenas nos baixões (Figura 6d).

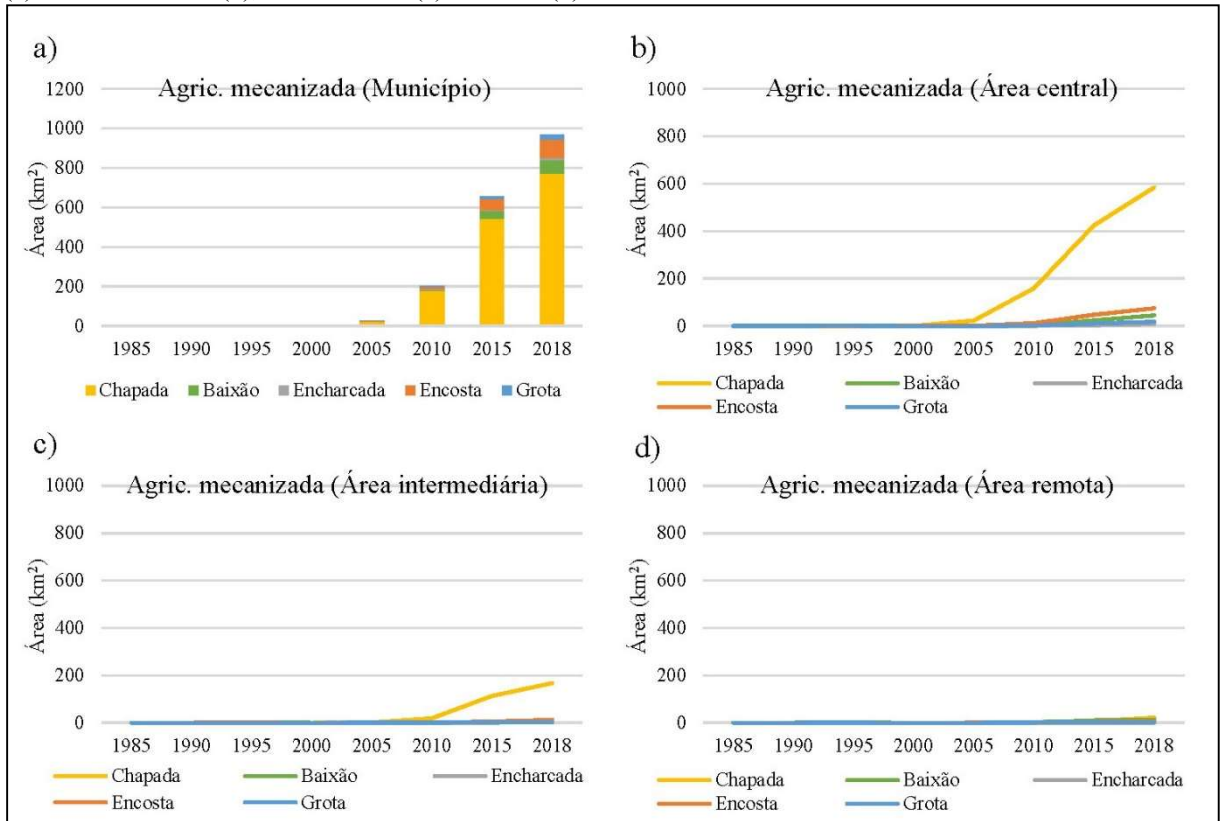
Figura 6 – Áreas de pastagens e as classes de aptidão do solo no município de Paragominas (a) e na área central (b), intermediária (c) e remota (d).



Fonte: Autor.

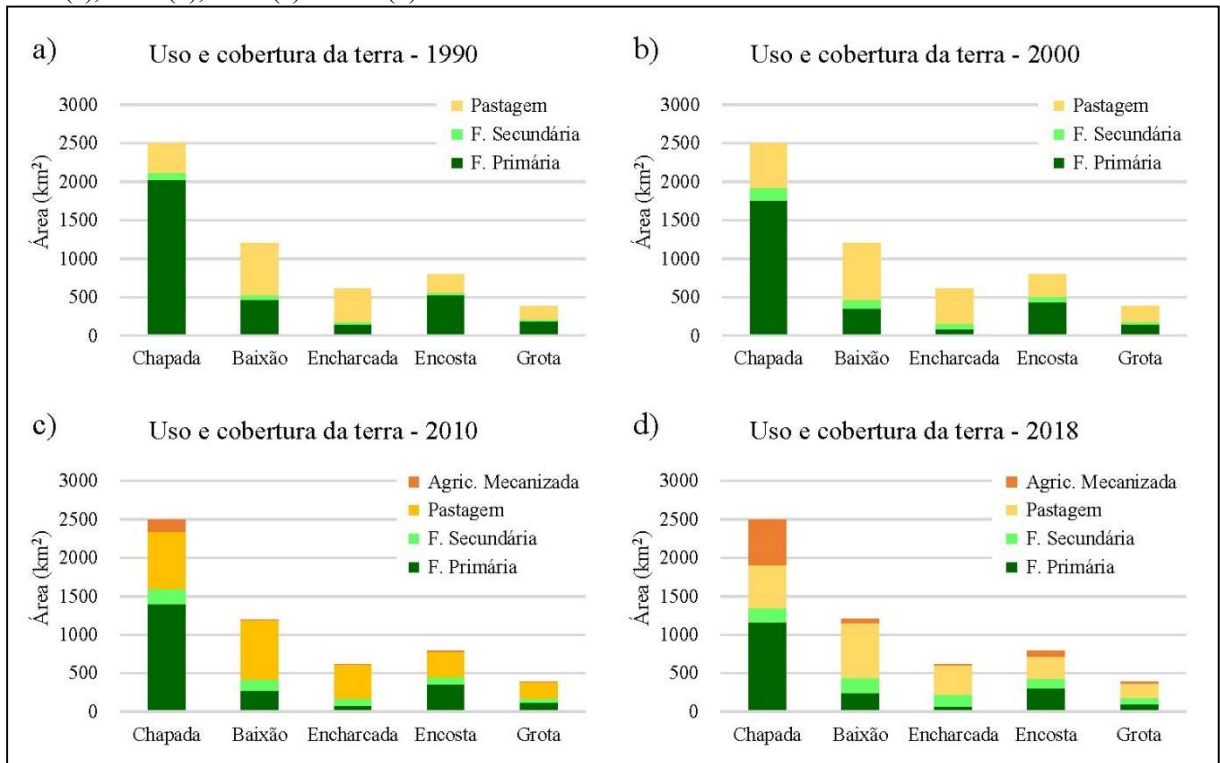
A Figura 7 mostra que a agricultura mecanizada está altamente concentrada na área central do município, mas também tem se expandido rapidamente na área intermediária, principalmente nas chapadas. Observou-se na área central, a partir de 2015, a expansão nas encostas, isto é, nas bordas das chapadas, enquanto na área remota, até 2018, não foi detectada a expansão dessa classe.

Figura 7 – Áreas de agricultura mecanizada e as classes de aptidão do solo no município de Paragominas (a) e na área central (b), intermediária (c) e remota (d).



Fonte: Autor.

Figura 8 – Classes de uso da terra e de aptidão do solo na área central do município de Paragominas em 1990 (a), 2000 (b), 2010 (c) e 2018 (d).



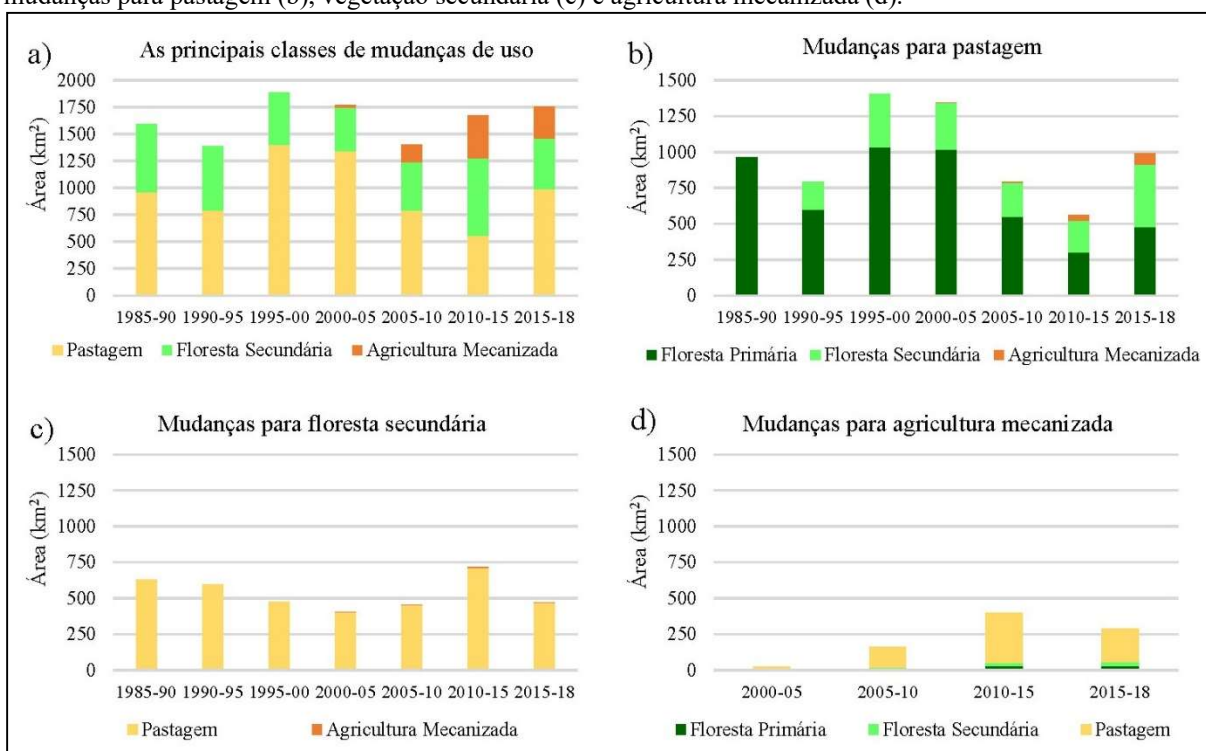
Fonte: Autor.

A Figura 8 fornece detalhes sobre as classes de uso da terra na área central de Paragominas. Até 2000, apenas uma porção das áreas de pastagem ocupava as chapadas e, nos anos seguintes, expandiu-se mais rapidamente, enquanto a agricultura mecanizada acelerou a sua expansão a partir de 2010. As florestas primárias, por sua vez, começaram a desaparecer nas encostas e grotas, até então preservadas, ao passo que as florestas secundárias se expandiram em todas as classes de aptidão do solo.

3.3.3 As mudanças de uso da terra

A Figura 9 ilustra as três grandes mudanças de uso da terra no território, identificando as classes que foram convertidas em áreas de pastagem, agricultura mecanizada e floresta secundária. Até 2005, as pastagens expandiram-se principalmente nas áreas de floresta primária. Entre 2005 a 2015, passaram a ocupar as áreas de floresta secundária e a reduzir nas florestas primárias e, a partir de 2015, a expansão das pastagens nessas duas áreas praticamente se igualou (WANG et al., 2020). Durante esse período, parte das áreas de pastagens do município foi abandonada e convertida em áreas de floresta secundária, em uma dinâmica praticamente uniforme, ou convertendo-se em áreas de agricultura mecanizada, processo que vem ocorrendo de forma crescente desde 2010.

Figura 9 – As principais mudanças de uso da terra no município de Paragominas (a) e em detalhes as mudanças para pastagem (b), vegetação secundária (c) e agricultura mecanizada (d).

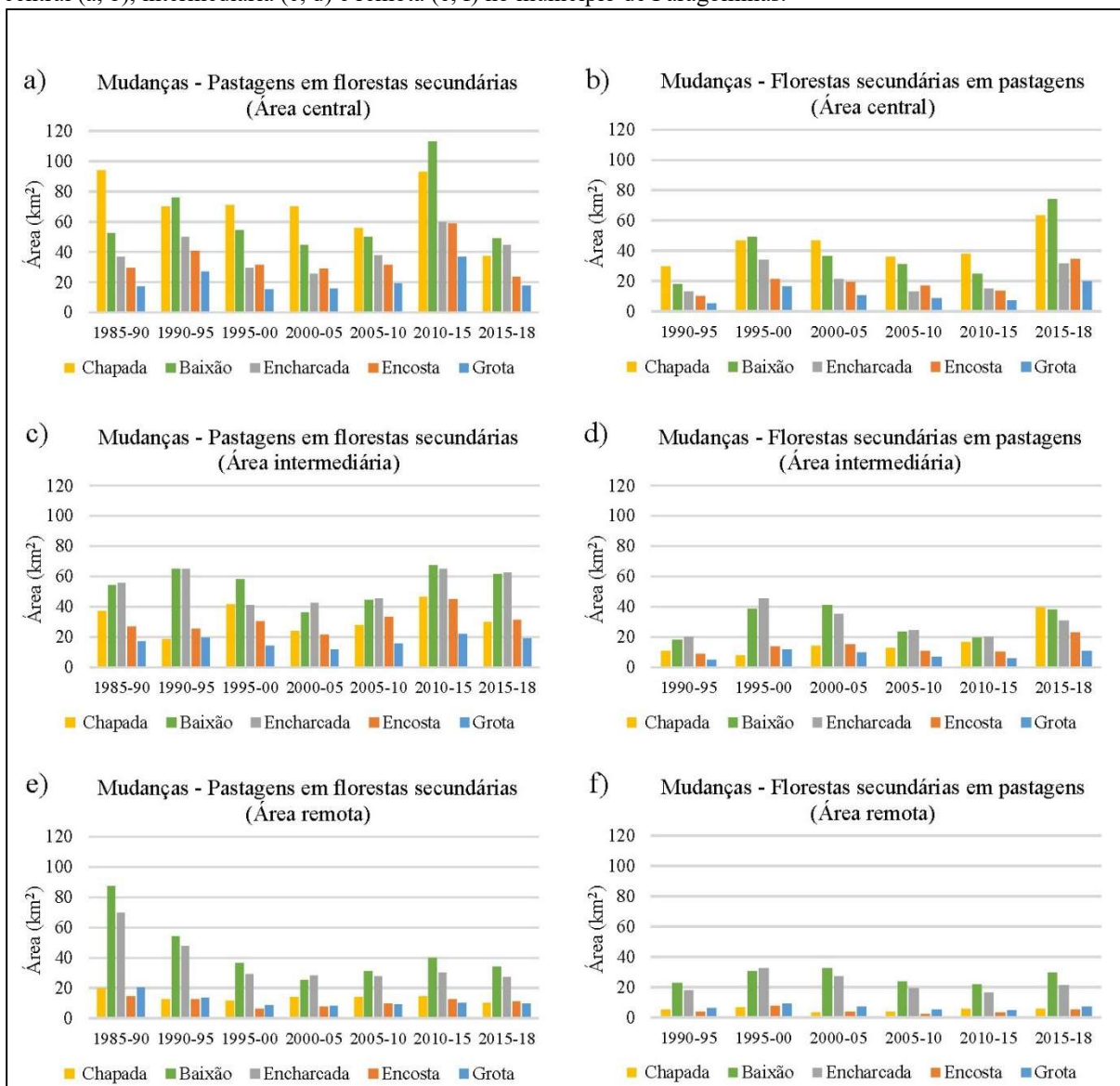


Fonte: Autor.

3.3.3.1 As mudanças entre pastagem e floresta secundária

A Figura 10 apresenta as mudanças de uso da terra entre as classes pastagem e floresta secundária. De forma geral, pode-se observar, dentro de uma análise quantitativa, que a conversão de pastagem em floresta secundária ocorreu com maior intensidade do que no sentido inverso. Ambas as dinâmicas ocorrem, preferencialmente, nas mesmas classes de aptidão do solo (baixões e encharcadas), ou seja, elas estão espacialmente conectadas, mas diferenciam-se em função da distância das rodovias pavimentadas e da linha do tempo.

Figura 10 – As mudanças entre pastagem e floresta secundária em cada classe de aptidão do solo na área central (a, b), intermediária (c, d) e remota (e, f) no município de Paragominas.



Fonte: Autor.

Na área remota, a conversão das áreas de pastagem em floresta secundária ocorreu com maior intensidade até 1995. Desde 2000, mantém-se estável e sempre concentrada nos baixões e encharcadas, o mesmo ocorreu na área intermediária, durante todo o período. Na área central,

essa conversão se concentrou nas chapadas e baixões, mas também ocorreu nas encharcadas e encostas, reduzindo a intensidade no período mais recente.

A mudança reversa, isto é, a conversão da floresta secundária em pastagem é similar à conversão anterior nas três classes de distanciamento. Na área central, é indispensável destacar, a expansão nas chapadas está em andamento desde a década de 1990 e aumentou, consideravelmente, nos últimos anos. Na área intermediária, essa mesma dinâmica é visível nas chapadas e baixões, entre 2015 e 2018.

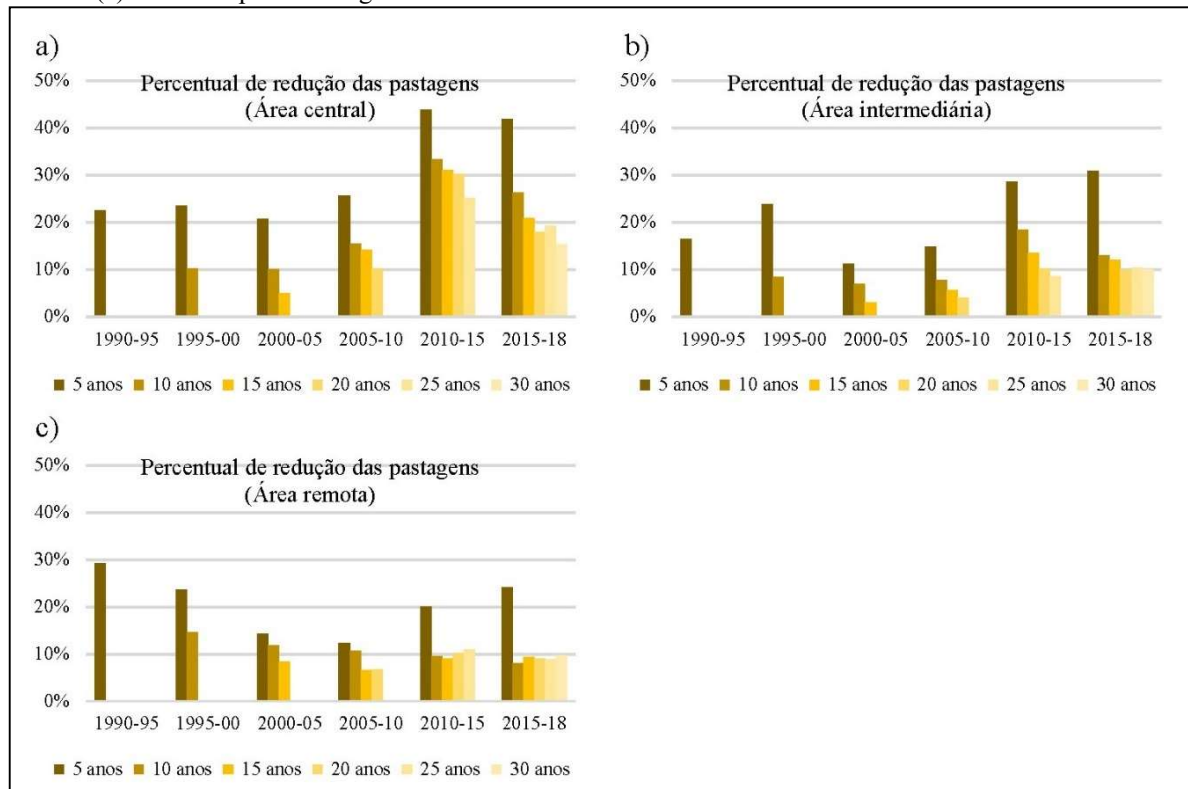
3.3.3.2 Ciclo de vida das pastagens

A Figura 11 mostra informações sobre o ciclo de vida das pastagens, desde 1990. Essa imagem, após as observações, revelou que as pastagens jovens (menos de cinco anos) têm os maiores percentuais de conversão em outros usos, em todas as classes de distância das rodovias. Por exemplo, foram identificadas na área central 429 km² de novas pastagens entre 1985 e 1990 e, cinco anos depois, em 1995, restavam apenas 332 km², o que representa uma redução de 22%. O ciclo de vida das pastagens mais velhas é muito mais longo, em virtude de o percentual de conversão diminuir com a idade. Por outro lado, o percentual das pastagens localizadas na área central que são convertidas em outros usos aumentou nos períodos a partir de 2010, em níveis acima de 40% nas pastagens mais novas e abaixo de 20% nas pastagens mais velhas. Essa dinâmica também está em andamento nas áreas intermediária e remota, embora com menor intensidade. Esses dados indicam que, desde 2005, uma proporção substancial das pastagens, especialmente as mais novas, foi convertida em áreas de cultivo mecanizado (Figura 9).

3.3.3.3 Ciclo de vida das florestas secundárias

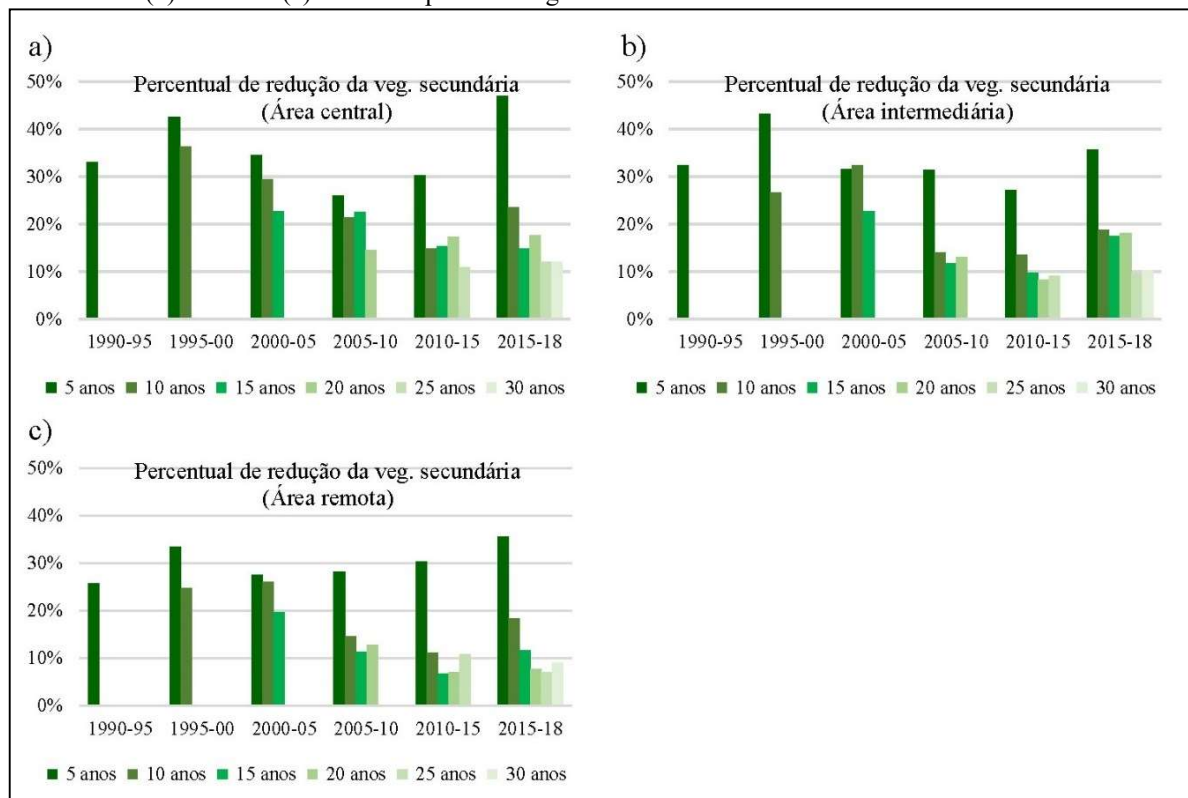
A Figura 12 fornece informações sobre as reduções das áreas de floresta secundária nas classes de distância das rodovias. Assim como nas pastagens, a rotatividade nas florestas secundárias jovens também foi maior do que nas florestas secundárias antigas, em especial, nas áreas centrais. Torna-se importante destacar que 42% das florestas secundárias que surgiram entre 1990 e 1995 foram convertidas em outros usos em 2000. Em 2018, 47% das florestas secundárias jovens, identificadas nos últimos cinco anos, foram convertidas em outros usos, enquanto apenas 12% das florestas secundárias antigas. Ao contrário do ciclo de vida das pastagens, nenhuma tendência contrastante surgiu após 2005, visto que os padrões permaneceram constantes ao longo do tempo. As variações temporais não são observadas espacialmente, ou seja, esses padrões permaneceram os mesmos em todo o município (ALMEIDA et al., 2010; WANG et al., 2020).

Figura 11 – Percentuais de redução das áreas de pastagens por idade, na área central (a), intermediária (b) e remota (c) do município de Paragominas.



Fonte: Autor.

Figura 12 – Percentuais de redução das áreas de vegetação secundária por idade, na área central (a), intermediária (b) e remota (c) do município de Paragominas.



Fonte: Autor.

3.3.4 Agricultura mecanizada e desmatamento

A expansão da agricultura mecanizada está claramente relacionada a distância das rodovias pavimentadas e à aptidão do solo. Como pode ser visto na Figura 9, essa expansão foi beneficiada pelo aumento das áreas de pastagem que ocorreu, anteriormente, nas décadas de 1980 e 1990, principalmente nas chapadas da área central, causada pela escassez de terras mais adequadas (baixões e encharcadas). O aumento das áreas de agricultura mecanizada também afetou a floresta primária pelo efeito do desmatamento indireto: as pastagens são cultivadas por um curto período após o desmatamento, como um primeiro preparo do solo antes da conversão em culturas anuais. Os desmatamentos diretos e indiretos, observados nas áreas de agricultura mecanizada indicam que 42% ocorreram entre 1995 e 2005 e 20% após 2005 até 2018, em outras palavras, esses desmatamentos ainda persistiram em período recente e estão entre os principais impulsionadores dos desmatamentos no município.

3.4 Discussão

3.4.1 Revelando a dinâmica da paisagem

A dinâmica da paisagem compreende as mudanças de uso da terra, ao longo de trinta e três anos, e as relações com as classes de aptidão do solo e o efeito do distanciamento das rodovias pavimentadas. Esse último elemento revelou que as dinâmicas anteriores que ocorreram na área central podem ser observadas, atualmente, na área remota, corroborando com os princípios clássicos de difusão espacial, ou seja, mostram que as mudanças na paisagem iniciam-se e expandem-se do centro para a periferia (CHAUVEAU; CORMIER-SALEM; MOLLARD, 1999). Diante dessa realidade, análises cruzadas permitem a caracterização de dois principais sistemas de uso que representam a dinâmica da paisagem em Paragominas.

3.4.1.1 Sistema de uso inicial: ocupação extensiva nos vales

Inicialmente, a floresta primária cobria todas as outras formas de relevo no território e, a partir da intensa dinâmica de uso da terra, a configuração da paisagem passou a se caracterizar pela expansão das pastagens e florestas secundárias nos vales, preferencialmente nas áreas de baixões e encharcadas. No intervalo de tempo do estudo, as evidências do sistema de uso inicial foram observadas nas áreas intermediárias, até 2005, e nas áreas remotas, até 2018.

Esse padrão é típico da “colonização pela pecuária” em que a dinâmica de uso da terra é impulsionada pela abundância de água superficial necessária para o rebanho bovino em sistemas extensivos de produção. As áreas encharcadas são as preferidas, uma vez que o acesso

à água superficial é fácil e a presença de umidade do solo permite a produção de biomassa nas pastagens, mesmo na estação seca (OSIS; LAURENT; POCCARD-CHAPUIS, 2017). O percentual de conversão das áreas de pastagem em floresta secundária é maior que o inverso, confirmando que o manejo da pastagem é extensivo e de baixo custo. Essa prática permite que a degradação das pastagens e a conversão em florestas secundárias jovens avancem rapidamente (CARVALHO; AGUIAR; AMARAL, 2020; DIAS-FILHO, 2015). Como consequência da degradação das pastagens, os produtores adotam duas estratégias principais, conforme evidenciado pelos resultados obtidos. A primeira propõe a expansão de novas pastagens nas áreas de floresta primária para acessar os solos mais férteis e ampliar a propriedade (POCCARD-CHAPUIS et al., 2010; VEIGA et al., 2004). A segunda estratégia sugere abandonar as pastagens degradadas até que se tornem florestas secundárias jovens. O uso de fogo para recuperar as pastagens, geralmente, não é controlado (CAMMELLI; COUDEL; ALVES, 2019) e pode afetar os corredores de floresta primária remanescente, localizados nos vales, encostas e grotas. Embora a segunda estratégia seja mais barata, não agrega valor à terra (ESCADA et al., 2005; UHL; BUSCHBACHER, 1985; VEIGA et al., 2004).

Essa paisagem se modifica quando as áreas de melhor aptidão do solo (encharcadas e baixões) são ocupadas. A partir daí, o produtor continua a expandir-se em maior proporção nas chapadas e em menor proporção nas encostas, fenômeno já observado há trinta anos na área central pelo fato das áreas preferencias ocorrerem em menor proporção (Figura 3). Tendências semelhantes também foram observadas, desde 1995, na área intermediária, e, desde 2000, em uma extensão muito limitada, na área remota (Figura 4).

3.4.1.2 Segundo sistema de uso: mecanização, intensificação e diversificação

O ano de 2005 representou um período chave na transição da paisagem em Paragominas, por dois motivos: o surgimento de políticas públicas federais de combate ao desmatamento e a diversificação com outros usos da terra. O primeiro plano federal de prevenção e combate ao desmatamento foi introduzido em 2005 (PPCDAM, 2004). A moratória da soja foi adotada em 2006 (GIBBS et al., 2015). A aplicação rigorosa da lei foi confirmada em 2008 com a operação “arco de fogo”, que apelou para as instituições locais a responsabilidade ambiental (ASSUNÇÃO; ROCHA, 2019; VIANA, 2017). Os compromissos assumidos pelo setor de carne bovina (ALIX-GARCIA; GIBBS, 2017). As operações de fiscalização contra os desmatadores e o novo código florestal aprovado em 2012 consolidaram a aplicação da lei contra o desmatamento (AZEVEDO et al., 2017). Essas iniciativas limitaram a expansão de áreas agrícolas e a expectativa dos agricultores em acumular novas áreas, o que promoveu

estratégias de intensificação dos usos da terra, em vez de expansão (ARIMA et al., 2014; NEPSTAD et al., 2014). A partir de então, o acesso restrito a essas áreas começou a influenciar na dinâmica da paisagem.

A dinâmica da paisagem correspondeu, em parte, a uma iniciativa do setor privado com o surgimento e a rápida expansão da agricultura mecanizada no território. Os primeiros testes de cultivo de soja foram conduzidos em 1998 e a expansão da produção comercial iniciou-se a partir de 2002, mas o presente estudo destaca a partir de 2005. A rentabilidade é maior em agricultura mecanizada do que em pastagens extensivas, e essa diferença tornou-se um impulsionador das mudanças de uso da terra. Essas mudanças ocorreram em áreas preferenciais de aptidão do solo, uma vez que a agricultura mecanizada tem preferência nas chapadas argilosas, por serem planas, aptas à mecanização e com solos de boa fertilidade (ALVES; CARVALHO; SILVA, 2014; OSIS; LAURENT; POCCARD-CHAPUIS, 2017).

A demanda por terras para agricultura mecanizada nas chapadas da área central e, mais recentemente, na intermediária, foi evidenciada por meio de três processos: aumento do desmatamento das florestas primárias e da supressão das florestas secundárias, além do aumento da conversão de pastagens em agricultura mecanizada. Nessa nova estrutura da paisagem, as áreas de agricultura mecanizada tendem a dominar nas chapadas e tornam-se permanentes, diferenciando-se das pastagens extensivas. Com a redução da disponibilidade de novas áreas para a agricultura mecanizada nas chapadas, essas áreas deslocam-se para as bordas das chapadas (encostas) e baixões. Nesses espaços, as pastagens e as florestas secundárias estão disponíveis para conversão. Porém, na prática, a principal expansão da agricultura mecanizada está ocorrendo na área intermediária e, no futuro, possivelmente na área remota.

3.4.2 Matriz florestal e a dinâmica da paisagem

Observa-se que, desde 2005, houve um declínio do desmatamento em Paragominas, mas a persistência dessa prática está limitada a espaços específicos, principalmente nas chapadas, localizadas nas áreas central e intermediária. Na área central, a presença de floresta primária é menor quando comparada à área remota em que a cobertura de floresta primária ainda domina. Essa diferença pode levar a uma estrutura que considera a área central amplamente desmatada, dedicada à produção agrícola, e às extremidades densamente florestada. A partir da análise detalhada da paisagem, observou-se uma estrutura de compartilhamento das florestas secundárias ocupando certas classes de aptidão do solo (encharcadas, encostas e grotas).

O sistema inicial de uso caracteriza-se por uma alta rotatividade das pastagens e uma reserva de floresta secundária temporária que pode ser convertida em pastagens a qualquer

momento. Nesse sistema, as práticas de manejo das pastagens são extensivas (CARVALHO; AGUIAR; AMARAL, 2020), o que pode levar à rápida degradação das pastagens e gradativamente, transformar-se em florestas secundárias jovens. Portanto, as florestas secundárias estão presentes em todas as classes de aptidão do solo, mantendo assim, uma certa presença florestal na paisagem.

No segundo sistema de uso, as dinâmicas se diferem e são contrastadas. As florestas secundárias desaparecem nas chapadas e, mais recentemente, nos baixões, e são substituídas por áreas de cultivo mecanizado e permanente. Por outro lado, a floresta secundária se expande e é cada vez menos utilizada em áreas não mecanizáveis com baixa fertilidade do solo (encharcadas e encostas). Isso sugere que a adoção de práticas mecanizadas abandona áreas específicas, ou seja, aquelas não mecanizáveis e de baixa fertilidade, que podem ser utilizadas na restauração florestal da paisagem. Nessa perspectiva, a agricultura mecanizada passa a ter um impacto positivo. Essas áreas abandonadas, por serem estreitas e contínuas, podem desempenhar o papel de corredores florestais ao conectar os blocos de florestas primárias remanescentes e, desse modo estabelecer a transição para um novo modelo de paisagem.

As florestas secundárias estão desempenhando um papel cada vez mais relevante na dinâmica do desmatamento (WANG et al., 2020) e os resultados indicam que a supressão dessas áreas de floresta secundária é igualmente generalizada e deve ser melhor contabilizada, confirmando pesquisas anteriores (NUNES et al., 2015; SILVA JUNIOR et al., 2020). A definição de desmatamento, utilizada nacionalmente como as florestas primárias que sofreram corte raso, tornou-se ambígua e precisa ser adaptada, conforme proposto por *Global Forest Watch* (HANSEN et al., 2013).

3.4.3 A intensificação dos usos da terra e a pressão sobre a cobertura florestal

A dinâmica da paisagem reflete uma transição entre os dois sistemas de uso da terra e duas preferências contrastantes de aptidão do solo pelos produtores. No primeiro sistema de uso da terra, baseado na pecuária extensiva, a preferência são os vales arenosos e, no segundo sistema, baseado nas culturas anuais mecanizadas, os planaltos argilosos são preferidos. Em vez das mudanças ocorrerem de pastagens para culturas anuais, observa-se a reorganização da paisagem provocada pela intensificação agrícola nos baixões, estendendo-se até as chapadas.

Essa dinâmica da paisagem está anulando o efeito potencialmente protetor das áreas de floresta que existiria com a intensificação dos usos da terra, comumente citado na literatura como uma solução para a proteção das florestas na Amazônia (STRASSBURG et al., 2014). A tendência contraria à teoria de desacoplamento da produtividade agrícola e desmatamento, na

qual uma grande proporção da produção aumenta, ao lado de uma pequena proporção do desmatamento (ASSUNÇÃO et al., 2017; LAPOLA et al., 2014). O presente estudo fornece evidências de que a intensificação do uso da terra coloca uma nova pressão sobre as florestas, tanto nas florestas primárias quanto nas secundárias, sendo estas afetadas nas mesmas proporções e em áreas específicas que dependem da aptidão do solo e do distanciamento.

3.4.4 Da dinâmica à restauração da paisagem: desafios da política local

A legislação ambiental brasileira tem um papel fundamental em controlar e evitar o desmatamento nas florestas primárias, mas na prática, não fornece uma estrutura relevante para monitorar a complexa dinâmica da paisagem, como a que está em andamento em Paragominas. Especificamente, o código florestal não considera a aptidão do solo, a sucessão secundária, ou a diversificação e intensificação do uso da terra. A moratória da soja também é limitada no contexto da paisagem de Paragominas, uma vez que as áreas agrícolas de soja desmatadas após 2006 representam menos de 20% do total dessas áreas, enquanto as variações na produção entre fazendas atingiram mais de 20%, o que significa que essa produção pode ser facilmente “diluída” em uma venda legítima (GIBBS et al., 2015). É possível confirmar que as restrições na produção das propriedades podem não ser suficientes para desencorajar o desmatamento em pequena escala (CARVALHO et al., 2019b; GIBBS et al., 2016). Além disso, a moratória da soja e as restrições da carne bovina concentraram-se apenas em florestas primárias e não em florestas secundárias. No entanto, o Pará tem avançado na regulamentação da supressão das vegetações secundárias e estabeleceu em 2015 a Instrução Normativa nº 8 (SEMAS, 2021).

As políticas locais poderiam preencher esse vazio normativo, introduzindo regulamentações referentes à paisagem para complementar as políticas nacionais. Esse é o objetivo das abordagens jurisdicionais, atualmente emergentes na Amazônia, em direção ao desmatamento zero ou metas do REDD+ (ALENCAR et al., 2012; STICKLER et al., 2018). As instituições locais em Paragominas estão testando essa abordagem para impulsionar as mudanças socioeconômicas subjacentes à dinâmica do uso da terra, desde o colapso da indústria madeireira em 2000 (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996). Esses experimentos de longo prazo são indispensáveis para a governança da paisagem (CHAZDON et al., 2020; LAMBIN; MEYFROIDT, 2010). Nessa perspectiva, os resultados apresentados revelam um conjunto de novos desafios e oportunidades para os tomadores de decisão local.

A dinâmica da paisagem em Paragominas está sendo impulsionada pela expansão de um novo sistema de uso do terra baseado na agricultura mecanizada e, que deve se consolidar cada vez mais, visto que é uma tendência nas regiões pós-pioneira da Amazônia Oriental

(POLGE; POCCARD-CHAPUIS; PIRAUX, 2015; SCHIELEIN; BÖRNER, 2018). O desafio dos tomadores de decisão local é regular a dinâmica da paisagem atual para alcançar um processo de restauração da paisagem que combine a consolidação de uma matriz florestal eficiente, assim como o aumento da produção econômica em áreas desmatadas. Isso implica evitar dois riscos decorrentes da expansão da agricultura mecanizada: novas pressões sobre os remanescentes florestais nas chapadas e o cultivo em áreas de declividade (encostas). Ambos os riscos podem afetar as áreas de floresta e sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos.

A restauração da paisagem também pode se beneficiar da expansão da agricultura mecanizada, em duas oportunidades. Em primeiro lugar, quando os sistemas agrícolas mecanizados substituem os sistemas extensivos de uso da terra, áreas específicas não mecanizadas são liberadas para a restauração florestal, o que podem configurar como uma oportunidade para a restauração passiva de baixo custo. Em segundo lugar, a agricultura mecanizada poderia expandir-se nos baixões, por serem áreas abundantes, apesar de a fertilidade natural ser inferior às chapadas, aplicando métodos de melhorias no manejo das pastagens, incluindo os sistemas de integração lavoura-pecuária. Essas oportunidades podem ser a solução não apenas para a preservação das florestas nas chapadas, como também para a restauração e consolidação das florestas secundárias em áreas não mecanizáveis (grotas e encharcadas).

Para evitar os riscos e aproveitar as oportunidades, a governança local precisa regulamentar os usos da terra de acordo com a aptidão do solo. Os municípios poderiam introduzir leis de microzoneamento na escala da propriedade, aplicadas em todo o território, mantendo os baixões e as chapadas já desmatadas para sistemas agrícolas mecanizados (ou outras práticas melhoradas), priorizando encostas, grotas e encharcadas para restauração florestal, mesmo que a restauração seja passiva. A autorização legal para a produção (LAR), os compromissos da cadeia de abastecimento (como da carne bovina ou a moratória da soja) e as linhas de crédito podem incluir tais regulamentações em suas próprias regras a fim de acelerar a restauração da paisagem em uma estratégia ganha-ganha e avançar na questão ambiental, assim como na econômica. Outra oportunidade é o monitoramento cuidadoso de qualquer melhoria na logística do município, uma vez que pode pressionar as florestas em áreas mais distantes.

Nessas condições, conforme sugerido por Angelsen (2010), políticas direcionadas espacialmente para estimular a agricultura intensiva podem ser eficazes quanto à conservação florestal. Na área central, podem-se observar paisagens em processo de restauração, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Exemplo de paisagem em processo de restauração, conforme a aptidão do solo, nas áreas de pastagem e vegetação secundária.



Fonte: Autor.

3.4.5 Limites do estudo

As limitações dos resultados apresentados são inerentes às limitações dos dados de uso da terra do Mabiomas. Esses dados têm a vantagem da resolução espacial e as longas séries temporais, mas possuem limitações que envolvem processos-chave na dinâmica da paisagem, não permitindo medir com precisão, no entanto, com a possibilidade de produzir indicadores indiretos relevantes, como demonstra este artigo. Dentre os processos seria a identificação de sistemas inovadores (sistemas agroflorestais e integrados), assim como a intensificação dos usos da terra e a degradação florestal e das pastagens. Além disso, desconhecia-se as informações sobre as florestas secundárias existentes antes de 1985, o que pode distorcer a análise da dinâmica das florestas secundárias. É possível afirmar que o período de 1985-2018 representa muito tempo, mais do que qualquer outra base de dados de uso da terra da região.

Outra limitação está na resolução espacial do mapa de aptidão do solo que é insuficiente, resultando em efeitos de borda. Por exemplo, as bordas das chapadas se confundem com as encostas, sugerindo que a agricultura mecanizada seja usada em áreas de declive, quando na verdade é apenas um efeito de borda.

Nessa abordagem, presume-se que as lógicas de uso da terra são homogêneas entre os atores locais, mas, na prática, existe uma diversidade que inclui grandes, médios e pequenos produtores, população nativa (caboclos) e as reservas indígenas. Esses grupos não foram

incluídos na análise, pois, objetiva-se simplificar a análise e a quantificação das mudanças de uso da terra e, conseqüentemente, da dinâmica da paisagem. No município, outras pesquisas usando abordagens socioeconômicas estão em andamento e podem complementar esse estudo.

A análise dos fatores que afetam as mudanças de uso do solo limitou-se ao distanciamento e à aptidão do solo. Outros fatores, como sistemas de decisão dos agricultores e sistemas de produção, também impulsionam as mudanças de uso da terra, porém estavam além do escopo do presente estudo. Enfim, faz-se necessária uma análise mais aprofundada na escala da propriedade.

3.5 Conclusão

Nesse estudo, forneceu-se evidências da importância da aptidão do solo e do distanciamento das rodovias pavimentadas nas mudanças no uso da terra. Esses aspectos devem ser levados em consideração nas políticas públicas, sempre visando a melhoria da conservação das florestas.

Os três aspectos, abaixo listados, fornecem uma valiosa contribuição para o debate regional, no caso de Paragominas:

- A intensificação dos usos da terra pode colocar nova pressão sobre a cobertura florestal, uma vez que a aptidão do solo não é a mesma para sistemas intensivos e sistemas extensivos de usos da terra. Essa intensificação visa as terras com alto potencial de produção, o que pode provocar deslocamentos das áreas de uso localizadas nas terras de baixa aptidão para as de alta aptidão que não sejam, necessariamente, as já desmatadas. A restauração das áreas degradadas e a intensificação dos usos da terra devem ser planejadas, levando-se em consideração o contexto local para garantir que as áreas desmatadas, mesmo que estejam degradadas, sejam exploradas. O que poderia ser uma tentativa de evitar a pressão sobre as áreas de floresta, mesmo em terras altamente adequadas para a agricultura.
- A intensificação dos usos da terra representa uma grande oportunidade para a restauração florestal passiva e de baixo custo em áreas não mecanizáveis. Uma nova matriz florestal pode surgir como consequência indireta dessa intensificação, o que seria extremamente eficiente graças à sua localização espacial em áreas críticas para a proteção do solo, regulação do ciclo da água e biodiversidade. Ao ser combinada com a intensificação dos usos da terra em áreas desmatadas, essa matriz florestal é um modelo para a restauração da paisagem, bem como uma forma eficiente de otimizar os serviços ecossistêmicos. A agrossilvicultura deve desempenhar um papel importante neste processo.
- É necessária uma governança específica para projetar essas paisagens restauradas. As

políticas locais podem complementar as políticas federais e os compromissos da cadeia de *commodities*, baseadas em uma estrutura de aptidão do solo para regulamentar as mudanças no uso da terra.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará, ao Museu Paraense Emílio Goeldi, a CAPES, aos projetos ANR-13-AGRO-0003 e TERRACERT/FTA pelo financiamento.

Referências

- AGUIAR, A. P. D. *et al.* Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 22, n. 5, p. 1821–1840, Maio 2016.
- ALENCAR, A. *et al.* **Rumo ao REDD+ jurisdicional**: pesquisa, análises e recomendações ao programa de incentivos aos serviços ambientais do Acre (ISA Carbono). Brasília, DF: IPAM, 2012.
- ALIX-GARCIA, J.; GIBBS, H. K. Forest conservation effects of Brazil's zero deforestation cattle agreements undermined by leakage. **Global Environmental Change**, v. 47, p. 201–217, Nov. 2017.
- ALMEIDA, C. A. *et al.* Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal brasileira. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 2, p. 289–301, 2010.
- ALVES, L. W. R.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, L. G. T. **Diagnóstico agrícola do município de Paragominas, PA**. 1. ed. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014.
- AMIGO, I. When will the Amazon hit a tipping point? **Nature**, v. 578, n. 7796, p. 505–507, 25 Fev. 2020.
- ANGELSEN, A. Policies for reduced deforestation and their impact on agricultural production. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 46, p. 19639–19644, 16 Nov. 2010.
- ARIMA, E. Y. *et al.* Public policies can reduce tropical deforestation: lessons and challenges from Brazil. **Land Use Policy**, v. 41, p. 465–473, Nov. 2014.
- ASSUNÇÃO, J. *et al.* Agricultural productivity and deforestation in Brazil. **Climate Policy Initiative**, 22 Mai 2017. Disponível em: <https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/electrification-agricultural-productivity-deforestation-brazil/>. Acesso em 15 Jan. 2021.
- ASSUNÇÃO, J.; ROCHA, R. Getting greener by going black: the effect of blacklisting municipalities on Amazon deforestation. **Environment and Development Economics**, v. 24, n. 2, p. 115–137, 25 Abr. 2019.

AZEVEDO, A. A. *et al.* Limits of Brazil's forest code as a means to end illegal deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 29, p. 7653–7658, 18 Jul. 2017.

BOURGOIN, C. *et al.* The potential of multisource remote sensing for mapping the biomass of a degraded amazonian forest. **Forests**, v. 9, n. 6, p. 303, 29 Maio 2018.

BOYD, W. *et al.* Jurisdictional approaches to REDD+ and low emissions development: progress and prospects. **World Resources Institute**, June 2018. Disponível em: <https://www.wri.org/publication/ending-tropical-deforestation-jurisdictional-approaches-redd-and-low-emissions>. Acesso em 15 Jan. 2021.

CAMMELLI, F.; COUDEL, E.; ALVES, L. F. N. Smallholders' perceptions of fire in the Brazilian Amazon: exploring implications for governance arrangements. **Human Ecology**, v. 47, n. 4, p. 601–612, 15 Ago. 2019.

CARVALHO, J. *et al.* Project Terracert: a new paradigm in forest legislation for building efficient landscapes in municipalities within the Amazon. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, n. Special issue, p. 486, 2019a.

CARVALHO, R.; AGUIAR, A. P. D.; AMARAL, S. Diversity of cattle raising systems and its effects over forest regrowth in a core region of cattle production in the Brazilian Amazon. **Regional Environmental Change**, v. 20, n. 2, 2020.

CARVALHO, W. D. *et al.* Deforestation control in the Brazilian Amazon: a conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted and bypassed. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 3, p. 122–130, Jul. 2019b.

CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

CHAUVEAU, J.-P.; CORMIER-SALEM, M.-C.; MOLLARD, É. **L'innovation en agriculture** - questions de méthodes et terrains d'observation. Paris: IRD Éditions, 1999.

CHAZDON, R. L. *et al.* Key challenges for governing forest and landscape restoration across different contexts. **Land Use Policy**, Jul. 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104854>.

DALLA-NORA, E. L. *et al.* Why have land use change models for the Amazon failed to capture the amount of deforestation over the last decade? **Land Use Policy**, v. 39, p. 403–411, Jul. 2014.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. Belém, PA: Edição do autor (MBDF), 2015.

DIGIANO, M.; STICKLER, C.; DAVID, O. How can jurisdictional approaches to sustainability protect and enhance the rights and livelihoods of indigenous peoples and local communities? **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, 22 Maio 2020.
<https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00040>.

ESCADA, M. I. S. *et al.* Processos de ocupação nas novas fronteiras da Amazônia: o interflúvio do Xingu/ Iriri. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 9–23, Ago. 2005.

GIBBS, H. K. *et al.* Brazil's soy moratorium. **Science**, v. 347, n. 6220, p. 377–378, 2015.

GIBBS, H. K. *et al.* Fazendeiros e frigoríficos responderam aos acordos de desmatamento zero na Amazônia brasileira? **Conservation Letters**, v. 9, n. 1, p. 32–42, 2016.

HANSEN, M. C. *et al.* High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, v. 342, n. 6160, p. 850–853, 15 Nov. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Portal Cidades@**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/paragominas/panorama>. Acesso em: 22 Nov. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Desmatamento – Amazônia Legal**. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>. Acesso em: 22 Nov. 2020.

JOHNS, J. S.; BARRETO, P.; UHL, C. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 89, n. 1–3, p. 59–77, Dez. 1996.

KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W.; CALAF, J. M. C. Evolução geológica da porção meridional da província bauxitífera de Paragominas durante o Neógeno/Pleistoceno (noroeste da bacia do Grajaú, nordeste do Pará e extremo oeste do Maranhão). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 2, p. 263–272, 2005.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Land use transitions: socio-ecological feedback versus socio-economic change. **Land Use Policy**, v. 27, n. 2, p. 108–118, Abr. 2010.

LAPOLA, D. M. *et al.* Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 1, p. 27–35, 20 Jan. 2014.

LAURENT, F. *et al.* Soil texture derived from topography in north-eastern Amazonia. **Journal of Maps**, v. 13, n. 2, p. 109–115, 30 Nov. 2017.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon tipping point. **Science Advances**, v. 4, n. 2, p. 1, Fev. 2018.

MAPBIOMAS. **Mapas de cobertura e uso do solo - Coleção 4.1**. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 12 Jun. 2020.

MARTINS, H. D. *et al.* Mapeamento da cobertura do solo de Paragominas-PA com imagens de satélite de alta resolução: aplicações para o cadastro ambiental rural (CAR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais[...]**. São José dos Campos, SP: INPE, 2013. p. 1283–1290.

MERCIER, A. *et al.* Evaluation of sentinel-1 and 2 time series for land cover classification of forest–agriculture mosaics in temperate and tropical landscapes. **Remote Sensing**, v. 11, n. 8, p. 979, 24 Abr. 2019.

MONTIBELLER, B. *et al.* Increasing fragmentation of forest cover in Brazil’s Legal Amazon from 2001 to 2017. **Scientific Reports**, v. 10, n. 5803, 2 Abr. 2020.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-62591-x>.

NEPSTAD, D. *et al.* Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1118–1123, 6 Jun. 2014.

NUNES, S. S. *et al.* A 22 year assessment of deforestation and restoration in riparian forests in the eastern Brazilian Amazon. **Environmental Conservation**, v. 42, n. 3, p. 193–203, 4 Set. 2015.

OSIS, R.; LAURENT, F.; POCCARD-CHAPUIS, R. Spatial relationships between natural resources and land use dynamics in the Amazonian agricultural frontier. 9th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images. **Anais[...].IEEE**, Jun. 2017. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8035242/>. Acesso em 24 Nov. 2020.

OSIS, R.; LAURENT, F.; POCCARD-CHAPUIS, R. Spatial determinants and future land use scenarios of Paragominas municipality, an old agricultural frontier in Amazonia. **Journal of Land Use Science**, v. 14, n. 3, p. 258–279, 4 Maio 2019.

PACHOUD, C. *et al.* Energy analysis and measurement of the greenhouse gas emissions of livestock systems. A comparison of different livestock systems in the eastern Brazilian Amazon. **Journal of Agriculture and Environmental Sciences**, 6, n. 1, p. 30-37, 2017.
<https://doi.org/10.15640/jaes.v6n1a3>.

PARAGOMINAS. **PPA - Plano plurianual 2018-2021**. Paragominas, PA, 2017. Disponível em: <https://paragominas.pa.gov.br/portal-da-transparencia/plano-plurianual-ppa/>. Acesso em: 12 Jan. 2021.

PEREIRA, J. L. G. *et al.* Avaliação de ferramentas automáticas para a extração da rede de drenagem a partir de dados de elevação SRTM para o município de Paragominas, estado do Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 13, n. 3, p. 409–433, 2018.

PERZ, S. G. Grand theory and context-specificity in the study of forest dynamics: forest transition theory and other directions. **The Professional Geographer**, v. 59, n. 1, p. 105–114, Fev. 2007.

PIKETTY, M.-G. *et al.* Multi-level governance of land use changes in the Brazilian Amazon: lessons from Paragominas, state of Pará. **Forests**, v. 6, n. 12, p. 1516–1536, 30 Abr. 2015.

PIMENTEL, G. M.; POCCARD-CHAPUIS, R. J.-M.; DA SILVA, C. N. Delimitação de unidades de paisagem: do conceito geossistêmico ao método aplicado ao município de Paragominas/PA. **Boletim de Geografia**, v. 36, n. 1, p. 62–75, 2018.

PINILLOS, D. *et al.* Understanding landscape multifunctionality in a post-forest frontier: supply and demand of ecosystem services in eastern Amazonia. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, 21. Jan. 2020. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00206>.

PLASSIN, S. S. *et al.* Paysage et intensification de l'élevage en Amazonie brésilienne : de nouvelles dynamiques spatio-temporelles à l'échelle des exploitations agricoles. **Confins**, n. 33, 21 Dez. 2017. <https://doi.org/10.4000/confins.12551>.

POCCARD-CHAPUIS, R. *et al.* Cattle production in the Amazon rainforest: reasons for the success, challenges for ecological intensification. **Advances in Animal Biosciences**, v. 1, n. 2, p. 520–520, 1 Nov. 2010.

POCCARD-CHAPUIS, R. *et al.* Des cendres de la forêt à l'économie verte, l'évolution agraire en Amazonie orientale traduit-elle un mouvement d'intensification écologique ? **Fourrages**, v. 222, p. 125–133, 2015.

POCCARD-CHAPUIS, R. *et al.* Jurisdictional approach of farm-forest interfaces in Paragominas, PA: a municipal strategy to guarantee agricultural sustainable intensification and forest conservation in Amazonian landscapes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, n. Special issue, p. 118, 2019.

POCCARD-CHAPUIS, R. *et al.* Mapping land suitability to guide landscape restoration in the Amazon. **Land**, v. 10, n. 4, 2 Abr. 2021. <https://doi.org/10.3390/land10040368>.

POLGE, E.; POCCARD-CHAPUIS, R.; PIRAUX, M. Territoires émergents d'Amazonie: analyse comparée des dynamiques territoriales dans le baixo amazonas et le nordeste paraense. **Confins**, n. 24, 22 Jul. 2015. <https://doi.org/10.4000/confins.10290>.

PPCDAM. **Plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal**. Brasília, DF, 2004. Disponível em: http://combateadesmatamento.mma.gov.br/images/conteudo/PPCDAM_1aFase.pdf. Acesso em: 22 Nov. 2020.

RUDEL, T. K. Is there a forest transition? deforestation, reforestation, and development. **Rural Sociology**, v. 63, n. 4, p. 533–552, Dez. 1998.

SANTOS, H. G. DOS *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SCHIELEIN, J.; BÖRNER, J. Recent transformations of land-use and land-cover dynamics across different deforestation frontiers in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 76, July 2018, p. 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.052>.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE DO PARÁ – SEMAS. **Instrução Normativa 08 de 28 Out. 2015**. Diário Oficial do Estado do Pará, n. 33.003 de 03 Nov. 2015, p. 31-33. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2015/11/03/instrucao-normativa-no-08-de-28-de-outubro-de-2015/>. Acesso em: 26 Mar. 2021.

SEYMOUR, F.; HARRIS, N. L. Reducing tropical deforestation. **Science**, v. 365, n. 6455, p. 756–757, 23 Ago. 2019. DOI: 10.1126/science.aax8546.

SILVA JUNIOR, C. H. L. *et al.* Benchmark maps of 33 years of secondary forest age for Brazil. **Scientific Data**, v. 7, n. 1, p. 269, 14 Dez. 2020.

STICKLER, C. *et al.* Subnational jurisdictional approaches: policy innovation and partnerships for change. *In*: ANGELSEN, A. *et al.* (Eds.). **Transforming REDD+**: lessons and new directions. Bogor, Indonesia: CIFOR, 2018. p. 145–159.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* When enough should be enough: improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 84–97, Set. 2014.

TRITSCH, I. *et al.* Multiple patterns of forest disturbance and logging shape forest landscapes in Paragominas, Brazil. **Forests**, v. 7, n. 12, p. 1–15, 2016.

UHL, C.; BUSCHBACHER, R. A disturbing synergism between cattle ranch burning practices and selective tree harvesting in the eastern Amazon. **Biotropica**, v. 17, n. 4, p. 265, Dez. 1985.

UHL, C.; VIEIRA, I. C. G. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: a case study from the Paragominas region of the state of Pará. **Biotropica**, v. 21, n. 2, p. 98, Jun. 1989.

VEIGA, J. B. *et al.* **Expansão e trajetórias da pecuária na Amazônia. Pará, Brasil.** Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília, 2004.

VIANA, C. F. **O município como escala para o combate ao desmatamento: atores e agendas emergentes.** 2017. 274 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2017.

WANG, Y. *et al.* Upturn in secondary forest clearing buffers primary forest loss in the Brazilian Amazon. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 4, p. 290–295, 2020.

CAPÍTULO 4 O USO DE ÍNDICES DE VETEGAÇÃO NA CARACTERIZAÇÃO DAS PASTAGENS EM ÁREAS AMOSTRAIS NO SUDENTE PARAENSE

Resumo

O crescimento da pecuária bovina tem impactado diretamente a Amazônia brasileira com o aumento do desmatamento para formação de pastagens. Apesar da melhoria no sistema de produção, parte dessas pastagens está em processo de degradação, o que reduz a sua capacidade produtiva. O uso de dados de sensoriamento remoto possui grande potencial de avaliação da degradação das pastagens, o que pode contribuir para o planejamento do uso mais eficiente do território. O presente artigo objetiva avaliar os índices de vegetação extraídos das imagens Landsat 7 (ETM+) como potenciais indicadores das características e processos de degradação das pastagens em três áreas amostrais, localizadas na mesorregião sudeste do Pará. Foram coletados em campo 191 pontos de observação com a descrição visual das características das pastagens, selecionando aquelas indicadoras de degradação para a construção da tipologia das pastagens. Nessa tipologia foram definidas as pastagens bem formadas, com diferenças em relação à altura e o percentual de cobertura verde, as degradadas e em degradação com diferenças nos percentuais de solo exposto e de plantas invasoras na altura e acima das pastagens. A partir da localização dos pontos de observação das pastagens em seis imagens Landsat 7 (ETM+) foram definidas as amostras e extraídos os valores médios dos quatro índices de vegetação (NDVI, EVI-2, NDII-5 e NDII-7) que, posteriormente foram relacionados à tipologia das pastagens. Ao passo que as pastagens bem formadas reduziam os percentuais de cobertura verde e de altura, observou-se uma redução nos valores dos índices de vegetação. Nas pastagens degradadas e em degradação houve certa confusão com as pastagens bem formadas, apesar de melhor identificar as pastagens degradadas ou em degradação biológica, ou seja, com alto percentual de solo exposto, apesar da confusão com as pastagens bem formadas com baixa cobertura verde. Por outro lado, as pastagens degradadas ou em degradação agrícola confundiram-se com as pastagens bem formadas, com alto a médio percentual de cobertura verde. A metodologia apresenta potencial para ser aprimorada e poderá ser utilizada como um instrumento no planejamento do território, facilitando o monitoramento das pastagens e a identificação de áreas críticas para intervenções, visando a melhoria da sua qualidade.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Índices de vegetação. Pastagem. Pará.

Abstract

The growth of cattle ranching has directly impacted the Brazilian Amazon with the increase in deforestation to form pastures. Despite the improvement in the production system, part of these pastures is in the process of degradation, which reduces their productive capacity. The use of remote sensing data has the potential to assess pasture degradation, which can contribute to planning the most efficient use of the territory. This article aims to evaluate the vegetation indices extracted from Landsat 7 (ETM +) images as potential indicators of the characteristics of pastures and degradation processes in three sample areas located in the southeastern mesoregion of Pará. 191 observation points were collected in the field. with the visual description of the characteristics of the pastures, selecting those indicators of degradation for the construction of the typology of the pastures. In the typology of pastures, well-formed pastures were defined, with differences in relation to height and percentage of green cover, and degraded and degrading pastures with differences in the percentage of exposed soil and invasive plants, in height and above the pastures. From the location of the observation points of the pastures in the Landsat 7 (ETM +) images, the samples were defined and the average values of the four vegetation indices (NDVI, EVI-2, NDII-5 and NDII-7) were extracted, which were later related to pasture typology. While well-formed pastures reduced the percentage of green cover and height, a reduction in the values of vegetation indices was observed. Degraded and degraded pastures there was some confusion with well-formed pastures, although it is better to identify degraded or biological degradation pastures, that is, with a high percentage of exposed soil, but there was confusion with pastures well formed with low coverage green. On the other hand, degraded pastures or agricultural degradation were confused with well-formed pastures with a high to medium percentage of green cover. The methodology has potential, but needs to be improved in order to improve the identification of pastures. From there, it can be used as an instrument that helps in the planning of the territory, facilitating the monitoring of pasture areas and the identification of critical areas for possible interventions in improving the quality of pastures.

Keywords: Remote sensing. Vegetation indices. Pasture. Pará.

4.1 Introdução

Uma preocupação mundial é atender às demandas crescentes por alimentos e minimizar a pressão sobre os ecossistemas naturais. Atualmente, o Brasil é um dos principais produtores e o maior exportador de carne bovina no mundo e vem registrando um aumento no volume exportado, assim como no abastecimento do mercado interno (ABIEC, 2020). Esse crescimento da pecuária impacta diretamente na Amazônia brasileira que apresenta os maiores percentuais de crescimento do rebanho bovino e, ao mesmo tempo, aumento do desmatamento para formação de pastagens.

Dentre os estados da Amazônia brasileira, o Pará se destaca com um rebanho bovino em torno de 21 milhões de cabeças, o que representa 10% do rebanho nacional, o quarto maior do país e um crescimento de 24% na última década (IBGE, 2020). Paralelo a esse crescimento do rebanho, o Pará também vem se destacando com as maiores taxas de desmatamento (INPE, 2020). As pastagens representam dois terços das áreas desmatadas e, desse total, 28% estão em processo de degradação, segundo os dados do projeto TERRACLASS de 2014. É importante destacar que esse percentual é controverso.

Nos últimos anos tem-se observado um aumento maior do rebanho bovino em relação as áreas de desmatamento e pastagem (IBGE, 2020; INPE, 2020; MAPBIOMAS, 2020), o que pode significar uma melhoria no sistema de produção. Essa diferença pode estar relacionada à pressão das ações governamentais e às intervenções na cadeia produtiva da pecuária, visando o redução do desmatamento e, consequentemente, as emissões de gases de efeito estufa (GIBBS et al., 2016; MELLO; ARTAXO, 2017), ou ainda, a investimentos na recuperação das áreas degradadas e em sistemas de produção mais eficientes.

A pecuária bovina e as pastagens têm acompanhado, nas ultimas seis décadas, as transformações territoriais que ocorrem de forma heterogênea, em um processo de transição entre regiões em expansão e aquelas já consolidadas, que interagem entre si (POCCARD-CHAPUIS et al., 2015; THALÊS; POCCARD-CHAPUIS; RUIVO, 2021). As regiões em expansão são utilizadas como estratégia de apropriação fundiária e valorização da terra, seja para a comercialização futura ou a implantação de um sistema de produtivo extensivo (CLAUDINO; DARNET; POCCARD-CHAPUIS, 2016; ESCADA et al., 2005). Nesse caso, as pastagens não conseguem manter a mesma produtividade por longos períodos, consequentemente, passam a formar extensas áreas pastagens degradadas ou abandonadas, tendo a necessidade da abertura de novas áreas (DIAS-FILHO; LOPES, 2020). Por outro lado, nas regiões em consolidação, a pecuária está mais conectada ao mercado e às vezes sem

alternativas para expansão, buscando a partir dessa realidade alternativas que possam melhorar da produtividade. Geralmente, essas regiões encontram-se em processo de intensificação e/ou diversificação dos usos com a expansão de outras atividades agrícolas (PIKETTY et al., 2015).

Uma das alternativas para o aumento da produtividade da pecuária está na recuperação das pastagens degradadas, o que possibilita o contínuo crescimento da produção sem a necessidade de expandir novas áreas de pastagem, portanto, reduzindo o desmatamento na região (DIAS-FILHO, 2015; DIAS-FILHO; LOPES, 2020). Macedo e Zimmer (1993) definiram degradação das pastagens como um processo evolutivo da perda de vigor, de produtividade, de capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar os níveis de produção e qualidade exigida pelos animais, assim como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras. As principais causas da degradação de pastagens podem ser consequências diretas ou indiretas da má formação durante o estabelecimento da pastagem ou o manejo inadequado, principalmente em razão da não reposição dos nutrientes perdidos no processo produtivo, erosão, lixiviação e volatilização, ao longo dos anos (DIAS-FILHO, 2015).

Dias-Filho (2015, 2017) caracteriza a degradação das pastagens em dois tipos extremos: a degradação agrícola que está associada ao aumento excessivo de plantas invasoras, a que causa uma competição e reduz a disponibilidade das pastagens; e a degradação biológica relacionada a deterioração do solo, que apresenta um aumento na proporção de solo descoberto e facilita a erosão, a perda de matéria orgânica e de nutrientes do solo. Com base nas diferenças entre os tipos de degradações, anteriormente citados, Dias-Filho (2017) sugere uma classificação em quatro níveis de degradação, agregados em dois grandes grupos: pastagens em degradação (leve e moderado) e pastagens degradadas (forte e muito forte). Nessa classificação, os parâmetros de avaliação das pastagens são os percentuais de plantas invasoras e solo exposto em relação aos de pastagens, assim como a redução na capacidade de suporte.

As imagens de sensoriamento remoto são de grande importância para subsidiar o planejamento do uso eficiente do território e podem contribuir para o mapeamento e monitoramento da degradação das pastagens. Essas imagens são de diferentes resoluções espectrais, espaciais e temporais. Nelas, são aplicadas as técnicas de processamento das imagens que podem ser validadas com informações observadas em campo, seja escala local ou regional. Dentre as imagens de satélite merece destacar as disponibilizadas pela missão do satélite Landsat, que inclui o Landsat 8 (OLI) e os antecessores, cujos dados são suficientemente consistentes e permitem estudos de longo prazo das mudanças de uso da terra (IRONS; DWYER; BARSI, 2012).

Os índices de vegetação estão entre as técnicas amplamente utilizadas para identificar e monitorar a dinâmica da vegetação, bem como estimar certos parâmetros biofísicos característicos da cobertura vegetal, dentre eles: biomassa, índice de área foliar, fração de radiação fotossintética. ativo etc. Na Amazônia brasileira, estudos têm usado os dados de sensoriamento remoto na avaliação das pastagens. Numata et al. (2007) mostraram uma boa correlação entre as imagens derivadas dos índices de vegetação e modelo linear de mistura espectral com os parâmetros biofísicos das pastagens. Fonseca; Locatelli; Silva Filho (2018) identificaram uma relação entre os intervalos de valores de NDVI e cinco níveis de degradação (não degradado a extremamente degradado), como um indicativo da quantidade de fitomassa que, por sua vez, possui relação direta com os níveis de degradação. Aguiar et al. (2017) informam que as séries temporais dos índices de vegetação EVI-2, derivados do MODIS, têm potencial em detectar processos de degradação das pastagens e intervenções antrópicas, evidenciando a importância de análises multitemporais.

Na busca de alternativas metodológicas, o presente artigo tem como objetivo avaliar os índices de vegetação extraídos das imagens Landsat 7 (ETM+) como potenciais indicadores das características e processos de degradação das pastagens em três áreas amostrais, localizadas na região mesorregião sudeste do Pará.

4.2 Material e método

4.2.1 Área de estudo

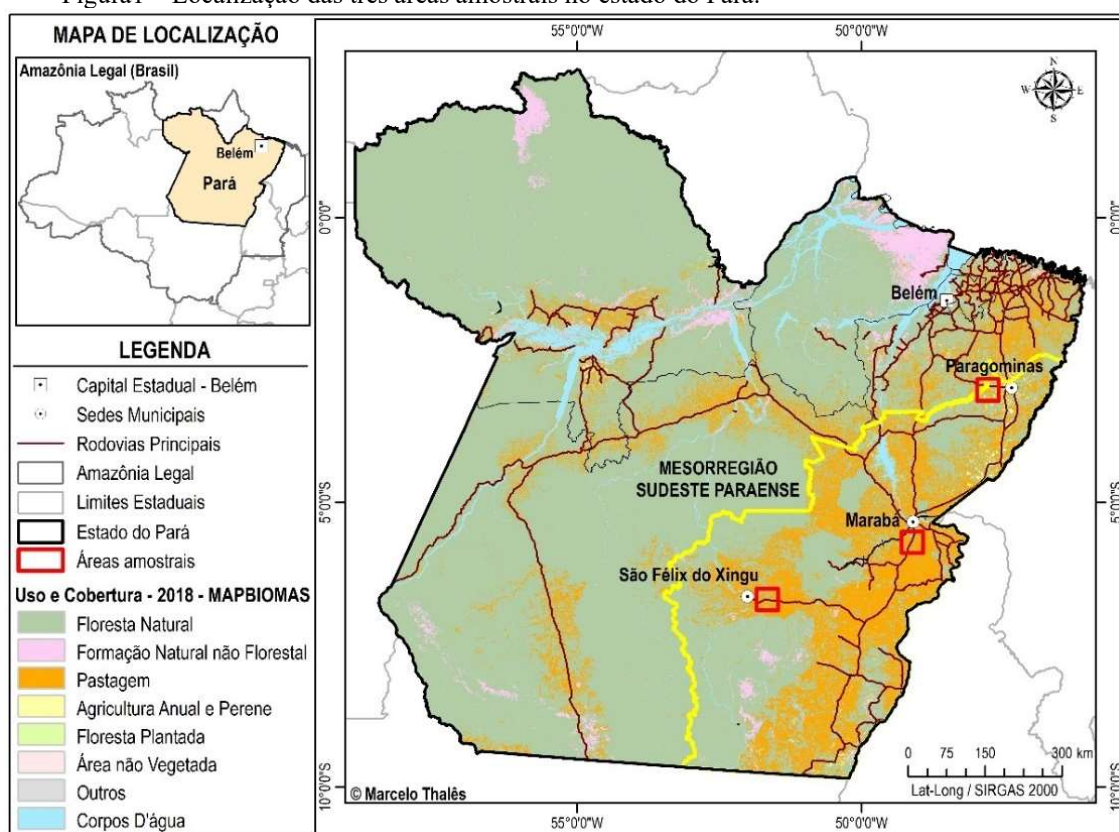
O estudo foi conduzido em três áreas amostrais selecionadas no quadro dos projetos do GEOMA e GEODEGRADE, localizadas nos municípios de São Félix do Xingu, Marabá e Paragominas, inseridos na mesorregião sudeste do Pará, porção leste do estado (Figura 1). Nessa mesorregião, a pecuária se destaca como uma das principais atividades econômicas e tem contribuído no processo de construção territorial, contemplando, em seu território, metade da área desmatada e, aproximadamente, dois terços das áreas de pastagens e do rebanho bovino do estado em 2018 (IBGE, 2020; INPE, 2020; MAPBIOMAS, 2020). Nesses espaços estão instalados os principais frigoríficos e laticínios.

Os municípios apresentam diferentes características quanto ao desenvolvimento da pecuária. São Felix do Xingu e Marabá possuem os dois maiores rebanhos bovino no estado (IBGE, 2020), ambos especializados em pecuária, mas se diferenciam pelo histórico de ocupação. O município de São Félix do Xingu é classificado como uma frente pioneira recente e ativa, com altos índices de desmatamento, e uma pecuária ainda em expansão, enquanto o de

Marabá se destaca como frente pioneira mais antiga e consolidada, e uma pecuária em processo de tecnificação.

O município de Paragominas se destacou, a partir de 2008, com a iniciativa “Município Verde” que promoveu avanços na gestão ambiental municipal: a redução das taxas de desmatamento, recuperação de áreas degradadas e boas práticas agrícolas (PIKETTY et al., 2015). Mas essa iniciativa não foi suficiente para controlar o desmatamento e a degradação das florestas, principalmente com a expansão da agricultura mecanizada. Vale destacar que, recentemente, vem implementando o Plano de Inteligência e Desenvolvimento Territorial cujo objetivo é conciliar a preservação da biodiversidade e das florestas naturais com o desenvolvimento agrícola em benefício das populações locais (CIRAD, 2020).

Figura 1 – Localização das três áreas amostrais no estado do Pará.



Fonte: Autor.

4.2.2 Dados das pastagens coletados em campo

Nas três áreas amostrais foram realizadas campanhas de campo para identificar os pontos de observação e coletar os dados referentes à descrição visual das características das pastagens em uma área homogênea, em torno de 50m de raio. A seleção desses pontos deu-se em função da diversidade do estado das pastagens e da facilidade de acesso às propriedades. Cada ponto de observação foi registrado em uma ficha previamente definida, descrevendo as

seguintes características: percentuais de cobertura de solo, de pastagem e de plantas invasoras; altura da pastagem e das invasoras; a coloração, percentual de cobertura verde e a espécie das pastagens; umidade e declividade do solo; número de palmeiras e árvores; espécie da planta invasora dominante. Adicionando a essas informações, a localização geográfica e os registros fotográficos (NOGUEIRA et al., 2012).

Dentre os parâmetros descritos nas fichas, foram identificados os que poderiam auxiliar na caracterização das pastagens e indicadores de degradação, destacando os percentuais de cobertura (pastagem, invasoras e solo exposto), altura da pastagem, percentual de cobertura verde e coloração. A partir de uma análise integrada desses parâmetros foi construída uma tipologia das pastagens, posteriormente, relacionadas às medidas espectrais extraídas das imagens de satélite.

4.2.3 Seleção e aquisição das imagens Landsat 7 (ETM+)

Foram selecionadas seis imagens do satélite Landsat 7-ETM+ que recobrem os pontos de observação das pastagens em data próxima à coleta dos dados em campo e o mínimo de cobertura de nuvens, com o propósito de minimizar os efeitos das variações relacionadas ao clima e manejo das pastagens (Tabela 1). Essas imagens foram adquiridas na plataforma *Earth Explorer – USGS* (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) e já disponibilizadas com os valores de reflectância espectral da superfície e ortorretificadas com base nos modelos digitais de elevação (USGS, 2020).

Tabela 1 – Imagens do Landsat 7 (ETM+) e o número de pontos de observação nas áreas amostrais.

Áreas amostrais	Imagens do Landsat 7 (ETM+)		Pontos de observação
	Órbita/Ponto	Data	
São Félix do Xingu	225/065	22.07.2009	36
Marabá	223/064	16.09.2011	26
		01.08.2012	48
Paragominas	223/062	05.12.2011	32
	222/062	28.11.2011	29
		13.10.2012	20

Fonte: Autor.

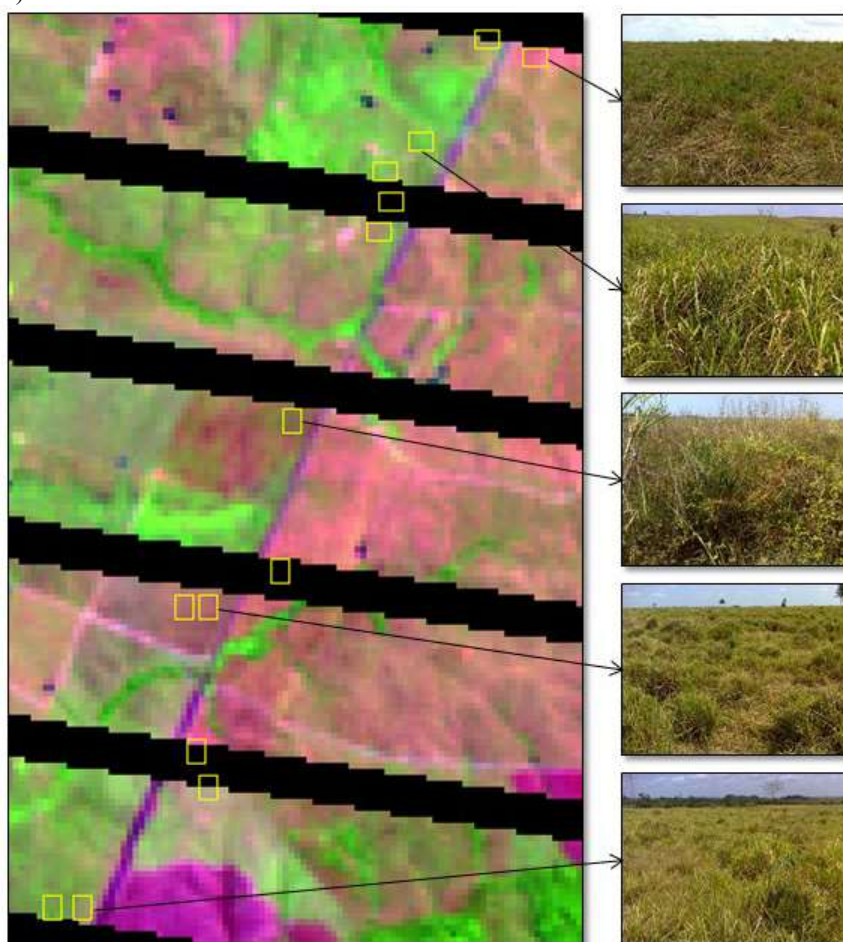
As imagens do Landsat 7 (ETM+) possuem seis bandas multiespectrais entre 0,45 µm a 2,35µm (três bandas na região do visível, uma no infravermelho próximo e duas bandas no infravermelho médio) e resolução espacial de 30m. Desde 30 de maio de 2003, essas imagens apresentam lacunas de dados devido a falha do *Scan Line Corrector* (SLC), o que permite adquirir 75% dos dados de qualquer imagem. Até o momento, o sensor continua a operar com o mesmo nível de exatidão e precisão como operava antes da anomalia, tanto radiometricamente como geometricamente (NASA, 2020).

Os períodos de coleta de dados em campo, principalmente em Marabá e Paragominas, coincidiram com a baixa disponibilidade das imagens do satélite Landsat, relacionados a problemas graves do satélite Landsat 5 (TM) que, posteriormente, foi desativado, e o Landsat 8 (OLI) que começou a operar somente no início de 2013. Apesar dos problemas mencionados, as imagens do Landsat 7 (ETM+) atenderam à demanda para a extração dos valores espectrais de parte dos pontos de observação, descartando aqueles localizados nas lacunas das imagens.

4.2.4 Extração dos parâmetros espectrais e a transformação em índices de vegetação

Para a extração dos parâmetros espectrais das imagens refletância de superfície foram definidas as amostras a partir da seleção de aproximadamente de 12 *pixels*, utilizando como referência a localização geográfica de cada ponto de observação em campo (Figura 2). Os valores médios dos *pixels* foram extraídos das bandas espectrais utilizadas nos cálculos dos índices de vegetação (IV) em cada amostra, e em seguida, tabulados e analisados em relação à tipologia das pastagens e os níveis de degradação. As amostras localizadas nas lacunas das imagens foram descartadas.

Figura 2 – Definição das amostras de pastagens para a extração dos parâmetros espectrais das imagens Landsat 7 (ETM+).



Fonte: Autor.

Os valores de reflectância das imagens do Landsat 7 (ETM+) extraídos das amostras foram transformados em quatro índices de vegetação, construídos a partir das bandas espectrais localizadas nas regiões do visível e infravermelho. O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI-2 (*Enhanced Vegetation Index-2*) utilizam a banda 3, no vermelho (R), na região do visível e, a banda 4, na região do infravermelho próximo (NIR). Os demais índices, NDII 5 (*Normalized Difference Infrared Index 5*) e NDII 7 (*Normalized Difference Infrared Index 7*), substituem a banda 3 pelas bandas 5 e 7 do infravermelho médio (SWIR), respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2 – Índices de vegetação utilizados no estudo.

Índices de Vegetação	Fórmula	Fonte
<i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</i>	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$	Rouse et al. (1973)
<i>Enhanced Vegetation Index-2 (EVI-2)</i>	$EVI\ 2 = 2,5 (NIR - R) / (NIR + (2,4 R) + 1)$	Jiang et al. (2008)
<i>Normalized Difference Infrared Index 5 (NDII 5)</i>	$NDII\ 5 = (NIR - SWIR\ 5) / (NIR + SWIR\ 5)$	Hardisky et al. (1983)
<i>Normalized Difference Infrared Index 7 (NDII 7)</i>	$NDII\ 7 = (NIR - SWIR\ 7) / (NIR + SWIR\ 7)$	

Fonte: Autor.

Os valores de NDVI, proposto por Rouse et al. (1973), variam de -1 a 1, com os valores negativos para as superfícies sem cobertura vegetal, como: neve, água ou nuvens, para as quais os valores de reflectância na região do vermelho é maior do que no infravermelho próximo. Em áreas de solo exposto, com valores de reflectâncias na mesma ordem de magnitude nas duas bandas espectrais, o NDVI mostra valores próximos a 0 e, nas áreas de cobertura vegetal apresenta valores positivos, geralmente entre 0,1 e 0,7, relacionados à quantidade da vegetação e ao vigor. O NDVI é sensível ao conteúdo de clorofila da folha e ao índice de área foliar na vegetação, mas tem a limitação em áreas de biomassa elevada (HUETE et al., 2002). O EVI 2 também é um indicativo da quantidade e da atividade da vegetação, mas diferencia-se pelos fatores de ajustes para minimizar os efeitos do solo e atmosfera (JIANG et al., 2008). Enquanto os demais índices de vegetação, NDII5 e NDII7, são mais sensíveis ao conteúdo de água das folhas da vegetação e, portanto, são muito úteis no monitoramento da vegetação em áreas secas (GAO, 1996; HARDISKY; KLEMAS; SMART, 1983; HUNT; ROCK, 1989; NUMATA et al., 2007).

4.3 Resultados

4.3.1 Tipologia das pastagens

Na tabela abaixo estão descritas a quantidade de pontos de observação em cada área amostral e os seus respectivos períodos da coleta, totalizando 191 pontos. As características das pastagens coletadas nesses pontos de observação foram utilizadas na construção de uma tipologia das pastagens (Tabela 3).

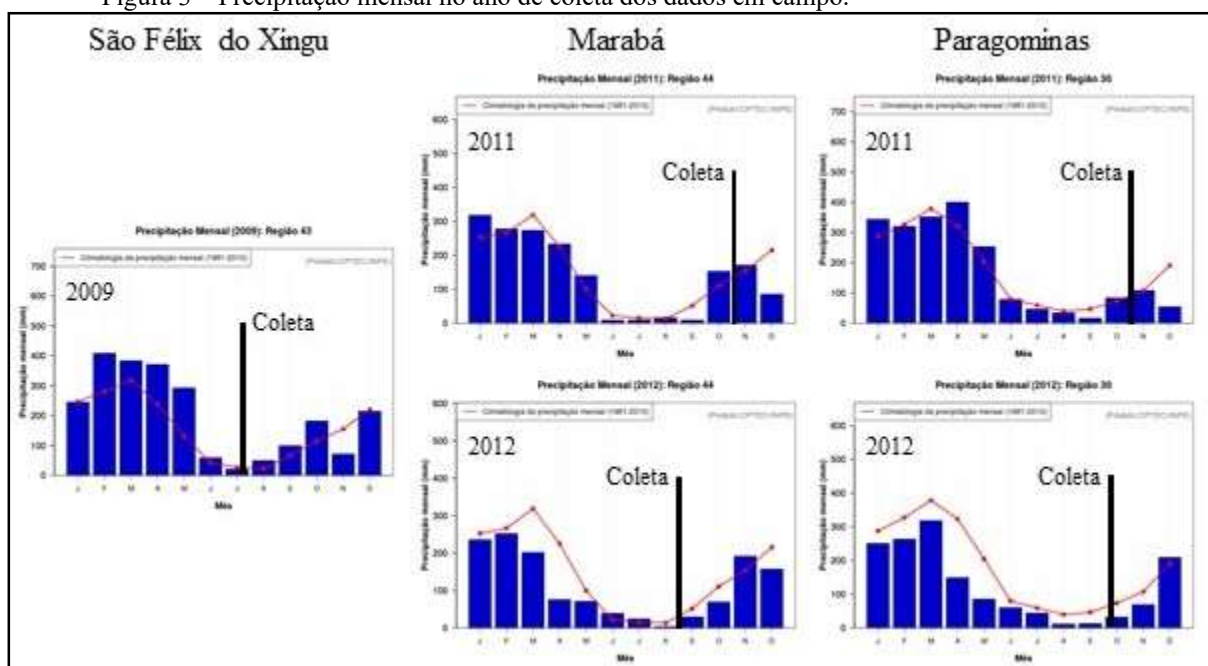
Tabela 3 – Pontos de observação das pastagens coletadas em campo.

Municípios	Pontos de observação das pastagens			Fonte / Projeto
	Nº	%	Período	
São Félix do Xingu	36	19%	16/07 a 30/07/2009	GEOMA GEODEGRADE
Marabá	26	14%	29/10 a 02/11/2011	
	48	25%	28/08 a 06/09/2012	
Paragominas	61	32%	20/10 a 14/11/2011	
	20	10%	05/10 a 22/10/2012	

Fonte: Autor.

Os pontos de observação foram coletados em períodos de menor precipitação nas três áreas amostrais, entre os meses de julho e novembro. Em São Felix do Xingu as coletas ocorreram em julho de 2009, no mês de menor precipitação. Enquanto, em Marabá e Paragominas foram realizadas em dois anos sequenciais, 2011 e 2012, contemplando os meses de retomada do aumento da precipitação e o fim do período de menor precipitação, respectivamente (Figura 3).

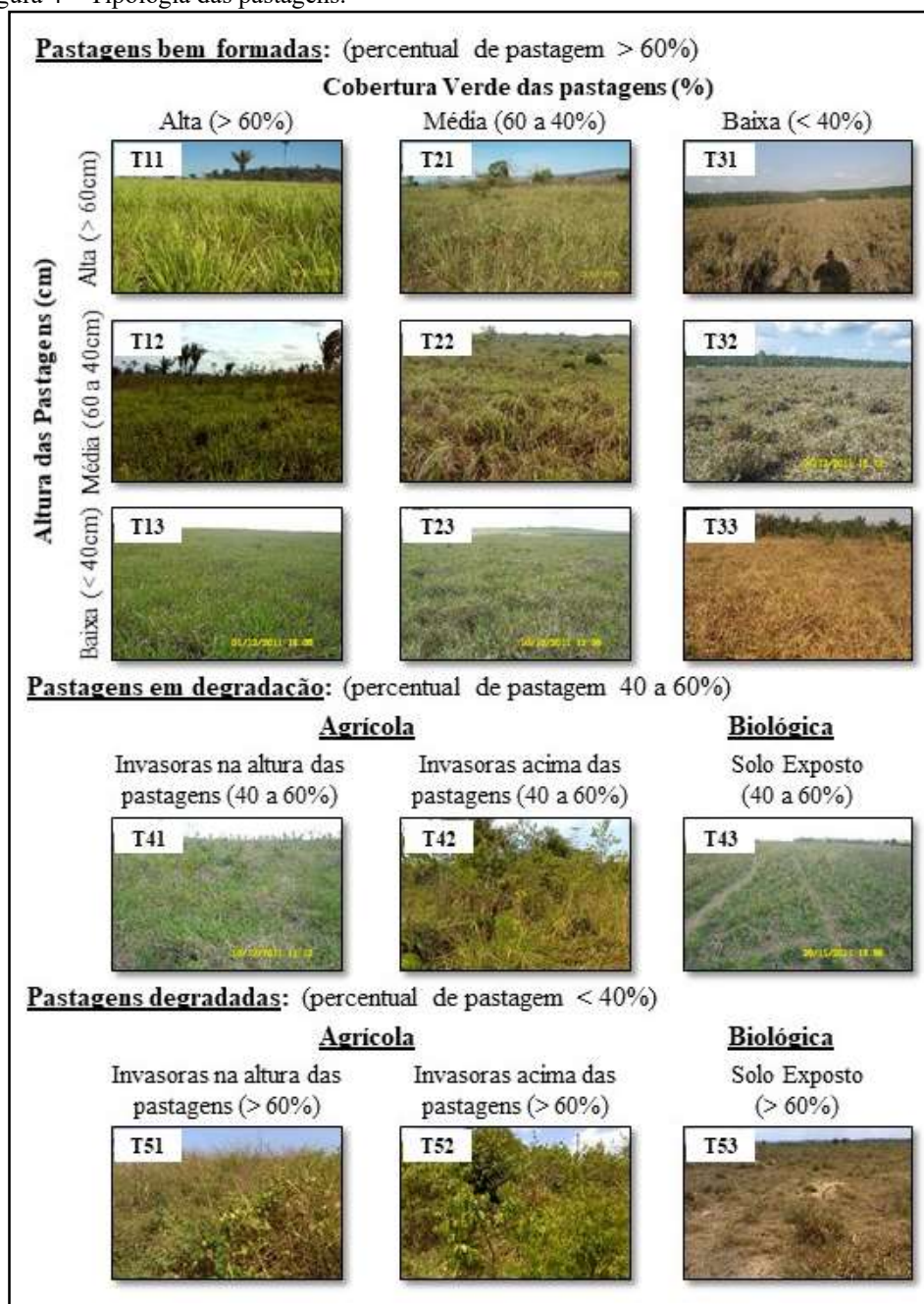
Figura 3 – Precipitação mensal no ano de coleta dos dados em campo.



Fonte: Adaptado do CPTEC, 2020.

Os percentuais de cobertura da pastagem, de solo exposto e das invasoras, na altura e acima das pastagens, possibilitaram a construção de uma tipologia que identificou três tipos principais: pastagens bem formadas, em degradação e degradadas. As pastagens bem formadas são pastagens limpas, com alto percentual de cobertura de pastagem ($>60\%$) e baixo percentual de invasoras e solo exposto ($<40\%$). Ao passo que se reduz o percentual de pastagens e aumentam os de invasoras e solo exposto a valores intermediários (40 a 60%) passam a ser chamadas de pastagens em degradação, e as pastagens em que predominam a cobertura de solo exposto e invasoras ($>60\%$) tornam-se degradadas (Figura 4).

Figura 4 – Tipologia das pastagens.



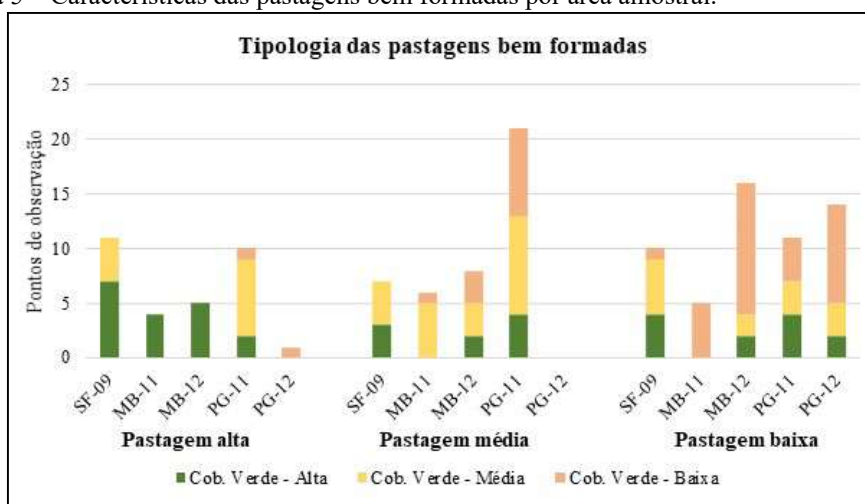
Fonte: Autor.

As pastagens bem formadas sofrem variações quando se analisa o próprio percentual de cobertura das pastagens, mas diferenciam-se em relação à altura das pastagens e ao percentual de cobertura verde. De forma semelhante, as variações nas pastagens em degradação e as degradadas estão relacionadas ao aumento dos percentuais de invasoras na altura e acima das pastagens e de solo exposto. Essas variações são chamadas de agrícolas e biológicas, respectivamente (Figura 4).

As pastagens bem formadas representam 68% dos pontos de observação, distribuídas em 16% consideradas altas (>60cm), 22% e 30% de alturas média (40 a 60cm) e baixa (<40cm), respectivamente. De forma geral, observa-se uma relação entre as alturas das pastagens e os percentuais de cobertura verde.

Nas pastagens consideradas altas, em torno de 60% são caracterizadas pelo alto percentual de cobertura verde e estão localizadas, principalmente, em São Félix do Xingu e Marabá, enquanto 35% dessas pastagens, em médio percentual de cobertura verde. Na outra extremidade, 55% das pastagens baixas são caracterizadas por baixos percentuais de cobertura verde, concentradas nas áreas de Paragominas e Marabá. Além disso, 50% das pastagens de altura média são caracterizadas com médios percentuais de cobertura verde, distribuídas nas três áreas amostrais. Vale destacar em São Félix do Xingu que as pastagens com diferentes alturas apresentam percentuais de cobertura verde médio a alto e, em Paragominas 2012, as amostras concentram-se nas pastagens baixas (Figura 5).

Figura 5 – Características das pastagens bem formadas por área amostral.

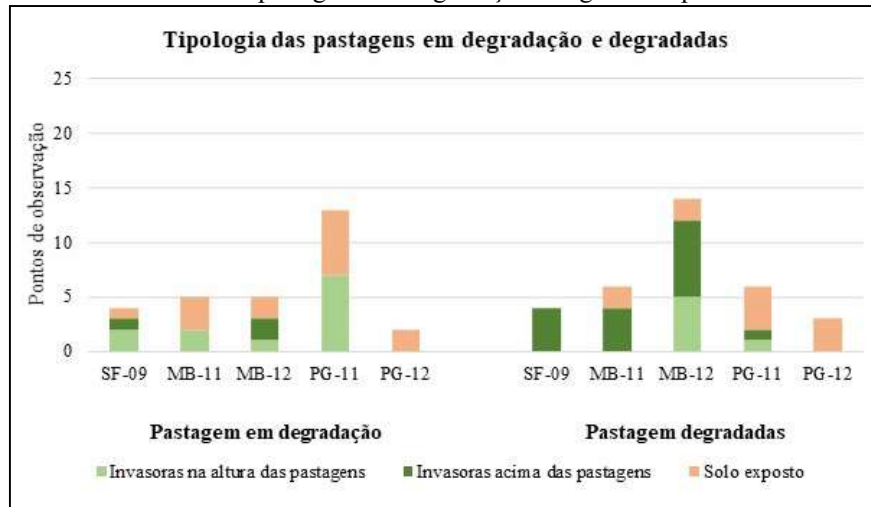


Fonte: Autor.

As pastagens em degradação representam 15% dos pontos de observação e caracterizam-se, principalmente pela presença de invasoras na altura das pastagens e solo exposto, com maior número em Paragominas 2011. No entanto, as pastagens degradadas por invasoras acima das pastagens representam 17% dos pontos de observação e, estão presentes

nas áreas de São Felix do Xingu e Marabá. No município de Paragominas, as pastagens em degradação e as degradadas são caracterizadas pelo percentual com solo exposto (Figura 6).

Figura 6 – Características das pastagens em degradação e degradadas por área amostral.

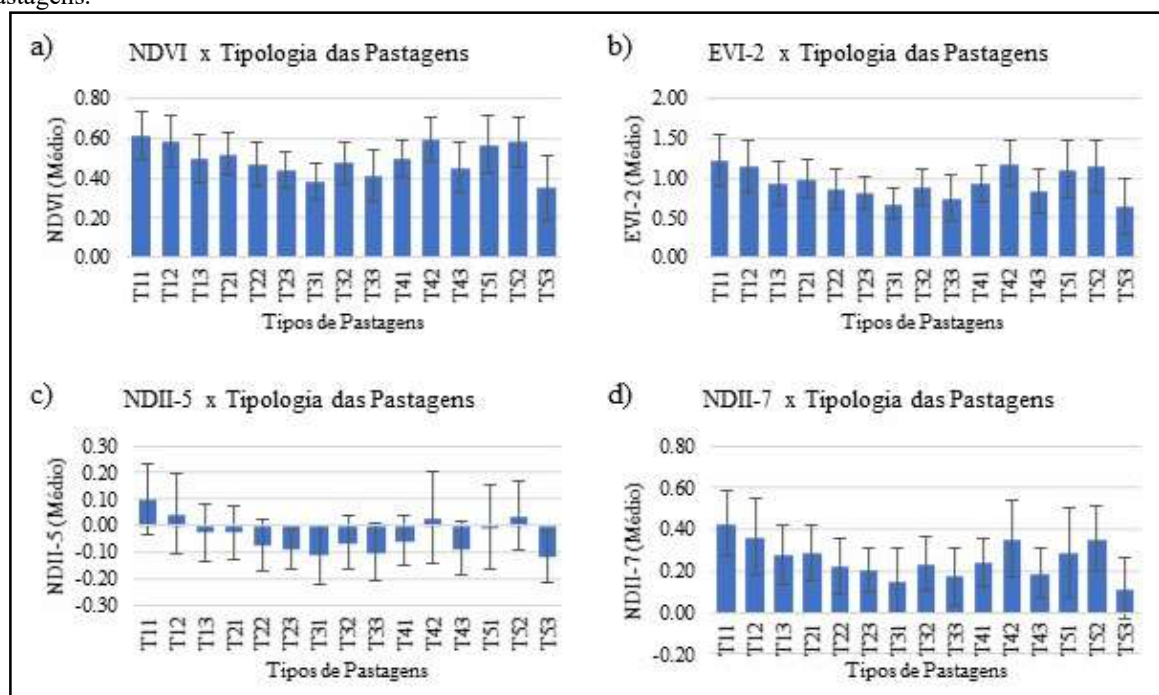


Fonte: Autor.

4.3.2 Os índices de vegetação por tipologia das pastagens

Os valores dos quatro índices de vegetação extraídos das amostras das pastagens apresentaram uma alta correlação entre si, principalmente entre o NDVI e EVI-2 com valor igual a 1, enquanto os demais, acima de 0,90. Na Tabela 4 estão representados os valores médios e os desvios-padrão dos índices de vegetação relativos à tipologia das pastagens e, na Figura 7, a representação gráfica.

Figura 7 – Representação gráfica da média e desvio-padrão dos índices de vegetação por tipologias de pastagens.



Fonte: Autor.

Tabela 4 – Os valores de média e desvio-padrão dos índices de vegetação por tipologia das pastagens.

Tabela 4 – Os valores de média e desvio-padrão dos índices de vegetação por tipologia das pastagens.										
Tipologia	Cód.	Freq.	NDVI		EVI-2		NDII-5		NDII-7	
			Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P
Pastagens bem formada com alto percentual de Cobertura Verde (>60%)										
Alta (>60cm)	T11	18	0,61	0,12	1,22	0,33	0,10	0,14	0,43	0,16
Média (40 a 60cm)	T12	9	0,59	0,13	1,16	0,33	0,04	0,15	0,36	0,18
Baixa (<40cm)	T13	12	0,50	0,12	0,94	0,27	-0,03	0,11	0,28	0,14
Pastagens bem formada com médio percentual de Cobertura Verde (40 a 60%)										
Alta (>60cm)	T21	11	0,52	0,11	0,99	0,25	-0,03	0,10	0,29	0,14
Média (40 a 60cm)	T22	21	0,47	0,11	0,87	0,25	-0,08	0,10	0,22	0,13
Baixa (<40cm)	T23	13	0,44	0,09	0,80	0,20	-0,09	0,08	0,21	0,10
Pastagens bem formada com baixo percentual de Cobertura Verde (<40%)										
Alta (>60cm)	T31	2	0,39	0,09	0,68	0,19	-0,11	0,11	0,15	0,16
Média (40 a 60cm)	T32	12	0,48	0,11	0,88	0,24	-0,06	0,10	0,23	0,13
Baixa (<40cm)	T33	31	0,41	0,13	0,74	0,29	0,10	0,11	0,17	0,14
Pastagens em degradação										
Invasoras na altura das pastagens	T41	12	0,50	0,09	0,93	0,22	-0,06	0,10	0,24	0,11
Invasoras acima da altura das pastagens	T42	3	0,59	0,11	1,17	0,29	0,03	0,17	0,35	0,19
Solo exposto	T43	14	0,45	0,13	0,84	0,28	-0,09	0,10	0,19	0,12
Pastagens degradadas										
Invasoras na altura das pastagens	T51	6	0,57	0,15	1,11	0,35	0,00	0,16	0,28	0,22
Invasoras acima da altura das pastagens	T52	16	0,58	0,12	1,15	0,32	0,04	0,13	0,35	0,15
Solo exposto	T53	11	0,35	0,16	0,63	0,35	-0,12	0,09	0,11	0,14

Fonte: Autor.

Nas pastagens bem formadas com alta cobertura verde, observa-se uma redução nos valores dos índices de vegetação quando a altura das pastagens é reduzida (T11 a T13), o que também se verifica nas pastagens de médio percentual de cobertura verde (T21 a T23). Nas pastagens bem formadas com baixo percentual de cobertura verde observa-se as pastagens altas e baixas (T31 e T33) com valores similares, mas seguindo a tendencia de redução dos índices de vegetação, exceto a pastagem de altura média (T32) que apresentou um valor de índice de vegetação maior.

As pastagens em degradação e degradadas com invasoras na altura (T41 e T51) e acima das pastagens (T42 e T52) apresentam os valores de índices de vegetação mais elevados do que as pastagens com presença de solo exposto (T43 e T53). Cabe destacar que as pastagens com invasoras apresentam valores de índices de vegetação similares às pastagens bem formadas com alto percentual de cobertura verde. Ao passo que as pastagens em degradação com solo exposto

apresentam valores similares às pastagens com baixo percentual de cobertura verde e, as degradadas com solo exposto, os valores mais baixos.

Para avaliar a possibilidade de discriminar os agrupamentos da tipologia das pastagens foi calculada a distância euclidiana entre as médias do conjunto amostral para cada um dos índices de vegetação. A apresentação das distâncias entre as médias dos conjuntos amostrais foi realizada por meio de dendrogramas para a formação dos grupos (Figura 8).

Figura 8 – Agrupamentos da tipologia das pastagens.

ID	Tipos	Freq	NDVI	EVI2	NDII5	NDII7	GRUPOS
1	T11	18	0.61	1.22	0.10	0.43	Grupo I
2	T12	9	0.59	1.16	0.04	0.36	
11	T42	3	0.59	1.17	0.03	0.35	
14	T52	16	0.58	1.15	0.04	0.35	
13	T51	6	0.57	1.11	0.00	0.28	Grupo I ou II
3	T13	12	0.50	0.94	-0.03	0.28	Grupo II
4	T21	11	0.52	0.99	-0.03	0.29	
10	T41	12	0.50	0.93	-0.06	0.24	Grupo II ou III
5	T22	21	0.47	0.87	-0.08	0.22	Grupo III
6	T23	13	0.44	0.80	-0.09	0.21	
8	T32	12	0.48	0.88	-0.06	0.23	
12	T43	14	0.45	0.84	-0.09	0.19	Grupo III ou IV
7	T31	2	0.39	0.68	-0.11	0.15	Grupo IV
9	T33	31	0.41	0.74	-0.10	0.17	
15	T53	11	0.35	0.63	-0.12	0.11	

Fonte: Autor.

Em uma análise gráfica foi possível observar a formação de quatro grupos. O Grupo I é caracterizado por alta biomassa e de cobertura verde. Esse grupo permite observar as pastagens bem formadas com alto percentual de cobertura verde e altura média a alta (T11 e T12), como também as pastagens degradadas e em degradação com invasoras acima das pastagens (T42 e T52). Na outra extremidade, o Grupo IV, com as pastagens degradadas com solo exposto (T53) e as pastagens bem formadas e com baixo percentual de cobertura verde, de alturas alta e baixa (T31 e T33).

Dentre os grupos intermediários, observa-se o Grupo II com pastagens de médio a alto percentual de cobertura verde e com alturas baixa e alta (T13 e T21), enquanto o Grupo III apresenta as pastagens em degradação com solo exposto (T43) e pastagens de médio a baixo percentual de cobertura verde e de alturas média a baixa (T22, T23, T32). Esses dois grupos intermediários apresentam características semelhantes às pastagens encontradas nos Grupos I e IV, respectivamente.

As pastagens degradadas com invasoras na altura das pastagens (T51) apresentaram variações nos agrupamentos e pertenciam ao Grupo I ou II, em função do índice de vegetação

utilizado. O mesmo ocorreu com as pastagens em degradação por invasoras na altura das pastagens (T41) e por solo exposto (T43), referentes ao Grupo II ou III e Grupos III ou IV, respectivamente.

De modo geral, os índices de vegetação apresentaram limitação quanto à degradação das pastagens, apesar de melhor identificar as pastagens degradadas ou em degradação biológica, ou seja, com alto percentual de solo exposto, mas confundiram-se com as pastagens bem formadas com baixa cobertura verde. Por outro lado, as pastagens degradadas ou em degradação agrícola não se diferenciaram das pastagens bem formadas com alto a médio percentual de cobertura verde.

4.4 Discussão

A avaliação das características e os processos de degradação das pastagens utilizando os dados de sensoriamento remoto têm sido um desafio complexo em função de um conjunto de fatores que interferem nos parâmetros biofísicos das pastagens. Dentre eles, destacam-se as estratégias de manejo das pastagens (altura das pastagens, presença de invasoras, idade, limpeza e recuperação com fogo ou mecanizada, época e período de pastejo etc.); as gramíneas utilizadas (mombaça, braquiária, quicuío etc.) e o clima.

Na região amazônica, a presença de plantas invasoras é um dos principais problemas no processo de degradação das pastagens, chamado de degradação agrícola. A quantidade de invasoras aumenta a biomassa, o que dificulta a separabilidade das pastagens limpas com alta biomassa. Andrade et al. (2013), avaliando o uso de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens, constataram que a presença de plantas invasoras pode ter sido um dos fatores que contribuíram para o aumento dos valores de um dos índices de vegetação utilizados no estudo.

Numata et al.(2007), apontaram que a reflectância nas bandas do infravermelho próximo, ligados ao teor de água na vegetação, depende mais da quantidade de pastagem seca do que da variação do material verde relacionado ao conteúdo de clorofila na vegetação. Davidson et al. (2009) e Numata et al. (2007) utilizaram o modelo de mistura espectral para estimar a quantidade de vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV). Vale enfatizar que ao utilizar os modelos de mistura, faz-se necessária a identificação e seleção dos componentes puros nas imagens, nada simples em se tratando de NPV. No entanto, o modelo de mistura da ferramenta ImgTools, disponibilizado pelo IMAZON e aplicado na identificação da degradação florestal (SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005), as bibliotecas espectrais já estão inseridas, mas esse modelo precisaria ser testado e avaliado na caracterização das pastagens.

Para avançar nos indicadores de degradação das pastagens, as séries temporais a partir de imagens de sensoriamento remoto têm a vantagem de acompanhar e avaliar o comportamento espectral das variações nas pastagens. Porém, faz-se necessário conhecimento prévio da identificação dos padrões espectrais das características das pastagens, validadas com as informações de campo. Aguiar et al. (2017) utilizaram o índice de vegetação, EVI-2, derivado das imagens do MODIS com resolução de 250m, e concluíram que as séries temporais se apresentaram como potenciais indicadores de renovação/recuperação e reforma das pastagens e de redução de biomassa. Atualmente, com maior disponibilidade das imagens de média resolução, seria possível avaliar a utilização das séries temporais com esses sensores.

4.5 Conclusão

O método utilizado na coletada, em campo, dos parâmetros das pastagens apresenta a vantagem de ser relativamente rápido, o que permite o recobrimento de extensas e diversas áreas de pastagens, mas pode apresentar diferenças nas avaliações, em virtude de ser um método puramente visual. Atualmente, alguns desses parâmetros poderiam ser melhor mensurados e validados com o apoio de Veículos Aéreos não Tripuláveis (VANT) equipados com sensores multiespectrais, na região do visível e infravermelho, ou com câmera fotográfica que permite fazer registros verticais a uma determinada altura. O protocolo de coleta de dados em campo precisaria ser expandido, se possível, oferecendo informações relacionadas ao manejo das pastagens, assim como, a coleta dos parâmetros das pastagens com observações em períodos ao longo do ano com o intuito de avaliar as mudanças das características das pastagens e as estratégias de manejo.

A baixa disponibilidade de imagens de satélite e as lacunas presentes nas imagens do Landsat 7 (ETM+) no período próximo à coleta de dados, em campo, impossibilitou a utilização de um conjunto maior de número de pontos de observação, ou seja, não foi possível oferecer uma análise com dados mais consistentes.

Ao passo que as pastagens bem formadas reduzem os percentuais de cobertura verde e altura, observou-se uma redução nos valores dos índices de vegetação. Nas pastagens degradadas e em degradação houve uma confusão com as pastagens bem formadas, apesar de melhor identificar as pastagens degradadas ou em degradação biológica, em outras palavras, com alto percentual de solo exposto. Houve confusão com as pastagens bem formadas com baixa cobertura verde. Por outro lado, as pastagens degradadas ou em degradação agrícola se confundiram com as pastagens bem formadas com alto a médio percentual de cobertura verde.

A abordagem possui potencial para ser utilizada como um instrumento de auxílio ao planejamento do território, facilitando o monitoramento das áreas de pastagens, bem como na identificação de áreas críticas para possíveis intervenções na melhoria da qualidade das pastagens. É importante ressaltar que essa abordagem necessita ser aprimorada para que novas pesquisas obtenham uma melhor identificação das pastagens.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará, ao Museu Paraense Emílio Goeldi, a CAPES, aos projetos GEOMA, GEODEGRADE, ANR-13-AGRO-0003 e TERRACERT/FTA pelo financiamento.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES – ABIEC. **Perfil da pecuária no Brasil – 2020**. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/control/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>. Acesso em: 30 Jun. 2020.
- AGUIAR, D. A. *et al.* MODIS time series to detect anthropogenic interventions and degradation processes in tropical pasture. **Remote Sensing**, v. 9, n. 1, p. 1–20, 2017.
- ANDRADE, R. G. *et al.* Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 3, p. 234–243, 2013.
- CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT – CIRAD. **Projeto TerrAmaz, assinatura do contrato de cooperação 2020-2024 entre a Prefeitura de Paragominas-Pará e o CIRAD**. Disponível em: <https://brazil.cirad.fr/pt/atualidades/projeto-terramaz-assinatura-do-contrato-de-cooperacao-2020-2024>. Acesso em: 13 Out. 2020.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS – CPTEC. **Evolução mensal e sazonal das chuvas**. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/evolucao/pt>. Acesso em: 03 Dez. 2020.
- CLAUDINO, L. S. D.; DARNET, L. A. F.; POCCARD-CHAPUIS, R. Migrando e construindo espaços: pecuária bovina, degradação das pastagens e agrupamentos socioeconômicos na microrregião de São Félix do Xingu – Pará. **Revista Geoamazônia**, v. 4, n. 7, p. 1–19, 2016.
- DAVIDSON, E. A. *et al.* Objective indicators of pasture degradation from spectral mixture analysis of landsat imagery. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 114, n. 1, p. 1–7, 2009.
- DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. Belém, PA: Edição do autor (MBDF), 2015.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. dos S. **Histórico e desafios da pecuária bovina na Amazônia**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2020.

ESCADA, M. I. S. *et al.* Processos de ocupação nas novas fronteiras da Amazônia: o interflúvio do Xingu/ Iriri. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 9–23, Ago. 2005.

FONSECA, E. L.; LOCATELLI, M.; SILVA FILHO, E. P. NDVI aplicado na detecção de degradação de pastagens cultivadas. **Confins**, n. 35, 20 Abr. 2018.
<https://doi.org/10.4000/confins.13180>.

GAO, B.-C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 257–266, 1996.

GIBBS, H. K. *et al.* Did ranchers and slaughterhouses respond to zero-deforestation agreements in the Brazilian Amazon? **Conservation Letters**, v. 9, n. 1, p. 32–42, jan. 2016.

HARDISKY, M. A.; KLEMAS, V.; SMART, R. M. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 49, n. 1, p. 77–83, 1983.

HUETE, A. *et al.* Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1–2, p. 195–213, 2002.

HUNT, E. R.; ROCK, B. N. Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. **Remote Sensing of Environment**, v. 30, n. 1, p. 43–54, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa da pecuária municipal – PPM – 2019. Disponível em:
<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2019>. Acesso em: 30 Jun. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Desmatamento – Amazônia Legal**. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>. Acesso em: 30 Jun. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Projeto TerraClass - 2014**. Disponível em: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php. Acesso em: 21 Mai. 2020.

IRONS, J. R.; DWYER, J. L.; BARSİ, J. A. The next Landsat satellite: the Landsat data continuity mission. **Remote Sensing of Environment**, v. 122, p. 11–21, 2012.

JIANG, Z. *et al.* Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 10, p. 3833–3845, 2008.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H. Sistemas pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DAS PASTAGENS. 2., 1993, Jaboticabal, SP. **Anais[...]**. Jaboticabal, SP: FUNEP-UNESP, 1993.

MAPBIOMAS. **Mapas de cobertura e uso do solo - Coleção 4.1**. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 12 Jun. 2020.

MELLO, N. G. R. DE; ARTAXO, P. Evolução do plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, n. 66, p. 108, 2017.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Landsat science**. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-7>. Acesso em: 17 Dez. 2020.

NOGUEIRA, S. F. *et al.* **Protocolo de campo para validação de métodos de identificação de níveis de degradação de pastagens usando de imagens multisensores**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012. 16 p.

NUMATA, I. *et al.* Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, n. 3, p. 314–327, Ago. 2007.

PACHECO, P. *et al.* **Beyond zero deforestation in the Brazilian Amazon**: progress and remaining challenges to sustainable cattle intensification. Center for International Forestry Research (CIFOR), 2017.

PIKETTY, M.-G. *et al.* Multi-level governance of land use changes in the Brazilian Amazon: lessons from Paragominas, state of Pará. **Forests**, v. 6, n. 12, p. 1516–1536, 30 Abr. 2015.

POCCARD-CHAPUIS, R. *et al.* Des cendres de la forêt à l'économie verte, l'évolution agraire en Amazonie orientale traduit-elle un mouvement d'intensification écologique ? **Fourrages**, v. 222, p. 125–133, 2015.

ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In*: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, Third, 1973, Washington, D.C. **Anales[...]**. Washington, D.C.: NASA. 1973. p. 309-318.

SOUZA, C. M.; ROBERTS, D. A.; COCHRANE, M. A. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing of Environment**, v. 98, n. 2–3, p. 329–343, 2005.

THALÊS, M. C.; POCCARD-CHAPUIS, R.; RUIVO, M. de L. P. A cartografia das frentes pioneiras e a sua contribuição na análise da dinâmica do desmatamento no estado do Pará. **Mercator**, 2021 (No prelo).

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **Landsat missions**. Disponível em: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-collections?qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_con. Acesso em: 17 Dez. 2020.

CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa apresentada reflete a importância em compreender as mudanças de uso da terra no processo de construção territorial em uma visão multiescala, do regional ao local e, as quais se complementam, cujo propósito principal é de transformar esse conhecimento em um instrumento de fácil entendimento e de apoio na tomada de decisão. Atualmente, a disponibilidade de um conjunto de informações espaciais e de livre acesso, por instituições de referência, facilita a construção de arcabouços metodológicos nas análises das mudanças de uso da terra e a seleção de indicadores de monitoramento do território. Contudo, essas informações, muitas vezes, não são suficientes ou adequadas para atender as demandas, então necessariamente podem ser complementadas com outras informações, inclusive aquelas que agregam o conhecimento e a demanda local.

No caso do estado do Pará, ao construir uma cartografia das frentes pioneiras e qualificar a dinâmica do desmatamento possibilitou a identificação dos contrastes territoriais e o comportamento desses territórios, ao longo do tempo. Foram evidenciados, os territórios em expansão, nos quais os desmatamentos avançam na busca de incorporar novas áreas em uma dinâmica muito mais fundiária do que produtiva, ou aqueles territórios ligados ao processo de intensificação dos usos da terra, onde os desmatamentos são pontuais e localizados em áreas de maior interesse para o aumento da produção, ou mesmo os territórios livres de desmatamento. De fato, em cada território deve ser priorizado ações específicas no controle do desmatamento, conforme os processos que ali ocorrem.

No estudo anterior, uma contribuição importante está no acompanhamento do avanço do desmatamento, principalmente nos territórios em expansão onde se concentram os pontos focais dessas novas aberturas. Enquanto que nos territórios ligados ao processo de intensificação dos usos da terra, os desmatamentos são residuais e o acompanhamento dos processos da intensificação e/ou diversificação dos usos passa a ter um peso maior. Nesse caso, para suprir esta limitação seria importante integrar outras informações, como o detalhamento das classes de mudanças de uso da terra que identificam a dinâmica da pecuária, agricultura, vegetação secundária etc. Além do mais, um dos desafios a ser explorado seria na delimitação desses territórios, os quais definimos como frentes pioneiras.

A dinâmica da paisagem em Paragominas representa um detalhamento do estudo anterior, em um município localizado em uma região em consolidação, onde a dinâmica do desmatamento é residual. Porém, ao resgatarmos o processo histórico das mudanças de uso da terra observou-se, em determinados períodos, a transição de uma paisagem característica de um

processo em expansão, com taxas de desmatamento vinculadas principalmente atividade pecuária, em outra, mais recente, com o controle do desmatamento e a expansão dos plantios de grãos em áreas de pastagem e de floresta. Uma das contribuições importante desse estudo foi a integração das mudanças de uso da terra com fatores importantes na decisão dos produtores, representados pelos dados de aptidão do solo e o distanciamento das rodovias pavimentadas, o que permitiu melhor analisar o processo de intensificação de uso da terra.

No processo de intensificação dos usos da terra é esperado o uso em áreas desmatadas e a melhoria do sistema produtivo, protegendo as florestas. Mas a realidade é outra, a intensificação, principalmente nas culturas anuais, coloca uma pressão sobre a cobertura florestal nas áreas localizadas mais próximas as rodovias e de ótima aptidão do solo. Por outro lado, esse processo também pode ajudar na restauração florestal, controlando os desmatamentos nos remanescentes de floresta e recuperando aquelas de menor interesse produtivo, em um novo modelo de restauração da paisagem. Para que isso aconteça faz-se necessário uma governança que articule a construção de políticas locais que complementem as existentes em outras esferas administrativas com atores locais, as cadeias de *commodities* etc. A principal limitação desse estudo está na necessidade de uma abordagem socioeconômica com a inclusão das diferentes categorias de atores no território. Além do mais, seria importante a inclusão nos mapas uso da terra das classes de vegetação secundária e degradação das florestas e das pastagens, e o refinamento na escala do mapa de aptidão o solo.

O uso de sensores remotos na identificação das características e processos de degradação das pastagens complementaria o estudo da dinâmica da paisagem, o que possibilita qualificar as pastagens e indicar as áreas potenciais para recuperação e intensificação ou restauração do passivo ambiental no município. Todavia, o mapeamento e monitoramento das pastagens, incluindo as degradadas é um grande desafio, como observado nos resultados apresentados. Os índices de vegetação têm potencial na avaliação de determinados padrões de pastagens, mas na identificação dos processos de degradação gerou confusões entre as pastagens bem formadas, altas e com percentual alto de cobertura verde, com as degradadas ou em degradação agrícola (plantas invasoras). Por outro lado, houve uma melhor separabilidade dos padrões de degradação agrícola (solo descoberto), mas confundiu com as pastagens bem formadas com baixo percentual de cobertura verde.

Uma contribuição do estudo das pastagens está na construção de uma tipologia a partir dos parâmetros observados, em campo, que pode ser utilizada ou adaptada para as próximas pesquisas. Porém, a principal limitação está na baixa disponibilidade de imagens no período de coleta em campo das pastagens e, consequentemente, a utilização de um número reduzido de

amostras. Atualmente, essas limitações podem ser supridas com a utilização de VANT, que permite mensurar os parâmetros das pastagens com o uso de fotografias ou sensores multiespectrais. com a maior disponibilidade de imagens de satélite de média resolução, além de um protocolo que contemple a coleta de dados em campo em períodos ao longo do ano e as estratégias de manejo. Um dos desafios seria buscar outros métodos que permitiriam a separabilidade dos estágios de degradação das pastagens, como a aplicação do uso das séries temporais em sensores de média resolução.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES – ABIEC. **Perfil da pecuária no Brasil – 2020**. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/control/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>. Acesso em: 30 Jun. 2020.
- AMIGO, I. When will the Amazon hit a tipping point? *Nature*, v. 578, n. 7796, p. 505–507, 25 Feb. 2020.
- BURLAMAQUI, A. B. *et al.* Paragominas où la succession de modèle controverses pour l’Amazonie. CANAL 2013 - Circulations et appropriations des normes et des modèles de l’action locale. *Anais[...]* Montpellier, France: 2013.
- CARVALHO, J. *et al.* Project Terracert: a new paradigm in forest legislation for building efficient landscapes in municipalities within the Amazon. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 39, n. Special issue, p. 486, 2019.
- CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT – CIRAD. **Projeto TerrAmaz, assinatura do contrato de cooperação 2020-2024 entre a Prefeitura de Paragominas-Pará e o CIRAD**. Disponível em: <https://brazil.cirad.fr/pt/atualidades/projeto-terramaz-assinatura-do-contrato-de-cooperacao-2020-2024>. Acesso em: 13 Out. 2020.
- ESCADA, M. I. S. *et al.* Processos de ocupação nas novas fronteiras da Amazônia: o interflúvio do Xingu/ Iriri. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 54, p. 9–23, Ago. 2005.
- GIBBS, H. K. *et al.* Fazendeiros e frigoríficos responderam aos acordos de desmatamento zero na Amazônia brasileira? *Conservation Letters*, v. 9, n. 1, p. 32–42, 2016.
- GOMES, C. V. A. Ciclos econômicos do extrativismo na Amazônia na visão dos viajantes naturalistas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Ciências Humanas, v. 13, n. 1, p. 129–146, Abr. 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa da pecuária municipal – PPM – 2019**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2019>. Acesso em: 30 Jun. 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Desmatamento – Amazônia Legal**. Disponível em: <http://terrabilis.dpi.inpe.br>. Acesso em: 30 Jun. 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Projeto TerraClass - 2014**. Disponível em: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php. Acesso em: 21 Mai. 2020.
- LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon tipping point. *Science Advances*, v. 4, n. 2, p. 1, Feb. 2018.
- MERTENS, B. *et al.* Contrasted land use and development trajectories in the Brazilian Amazon. *Bois et forêts des tropiques*, v. 280, n. 2, p. 17–27, 2004.

MOURA, R. *et al.* **Desmatamento zero no Pará: desafios e oportunidades.** Belém, Pará: IMAZON, 2017.

PACHECO, P. *et al.* **Beyond zero deforestation in the Brazilian Amazon: progress and remaining challenges to sustainable cattle intensification.** [S.l.]: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2017.

PACHECO, P.; POCCARD-CHAPUIS, R. The complex evolution of cattle ranching development amid market integration and policy shifts in the Brazilian Amazon. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 102, n. 6, p. 1366–1390, Nov. 2012.

PIKETTY, M.-G. *et al.* Reflexões sobre a pecuária e o desmatamento na Amazônia: grandes fazendeiros no sul do Pará. *In*: WOOD, C. H.; TOURRAND, J.-F.; TONI, F. (Eds.). **Pecuária, uso da terra e desmatamento na Amazônia: um estudo comparativo do Brasil, do Equador e do Peru.** Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília, 2015a. p. 49–72.

PIKETTY, M.-G. *et al.* Multi-level governance of land use changes in the Brazilian Amazon: lessons from Paragominas, state of Pará. **Forests**, v. 6, n. 12, p. 1516–1536, 30 Abr. 2015b.

POCCARD-CHAPUIS, R. *et al.* Jurisdictional approach of farm-forest interfaces in Paragominas, PA: a municipal strategy to guarantee agricultural sustainable intensification and forest conservation in Amazonian landscapes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, n. Special issue, p. 118, 2019.

THALÊS, M. C.; POCCARD-CHAPUIS, R.; RUIVO, M. de L. P. A cartografia das frentes pioneiras e a sua contribuição na análise da dinâmica do desmatamento no estado do Pará. **Mercator**, 2021 (No prelo).

TOURRAND, J.-F. *et al.* Élevage bovin, déforestation et développement regional: le cas du sud du Pará, Amazonie brésilienne. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 280, n. 2, p. 5–16, 2004.

VEIGA, J. B. *et al.* **Expansão e trajetórias da pecuária na Amazônia.** Pará, Brasil. Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília, 2004.

VEIGA, J. B. *et al.* Três décadas da vida dos colonos em Uruará-PA na rodovia Transamazônica, Brasil. *In*: WOOD, C. H.; TOURRAND, J.-F.; TONI, F. (Eds.). **Pecuária, uso da terra e desmatamento na Amazônia: um estudo comparativo do Brasil, do Equador e do Peru.** Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília, 2015. p. 73–102.