



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.02.18.22-TDI

**FATORES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL ATUANTES  
EM DIFERENTES ESTÁGIOS DA FRONTEIRA  
AGROPECUÁRIA NA AMAZÔNIA: ESTUDO DE CASO  
NA REGIÃO DE SINOP, MT**

Vinicius do Prado Capanema

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto, orientada  
pelos Drs. Maria Isabel Sobral  
Escada, e Sidnei João Siqueira  
Sant'Anna, aprovada em 24 de  
agosto de 2017.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PCNC2S>>

INPE  
São José dos Campos  
2017

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO  
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

**Membros:**

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas  
(CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial  
(ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos  
Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação  
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.02.18.22-TDI

**FATORES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL ATUANTES  
EM DIFERENTES ESTÁGIOS DA FRONTEIRA  
AGROPECUÁRIA NA AMAZÔNIA: ESTUDO DE CASO  
NA REGIÃO DE SINOP, MT**

Vinicius do Prado Capanema

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto, orientada  
pelos Drs. Maria Isabel Sobral  
Escada, e Sidnei João Siqueira  
Sant'Anna, aprovada em 24 de  
agosto de 2017.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PCNC2S>>

INPE  
São José dos Campos  
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Capanema, Vinicius do Prado.

C151f Fatores de degradação florestal atuantes em diferentes estágios da fronteira agropecuária na Amazônia: estudo de caso na região de Sinop, MT / Vinicius do Prado Capanema. – São José dos Campos : INPE, 2017.

xxii + 123 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.02.18.22-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

Orientadores : Drs. Maria Isabel Sobral Escada, e Sidnei João Siqueira Sant'Anna.

1. Degradação florestal. 2. Fronteira madeireira. 3. Análise de regressão. I. Título.

CDU 630\*4(817.2)

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Vinícius do Prado Capanema**

Título: "FATORES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL ATUANTES EM DIFERENTES ESTÁGIOS DA FRONTEIRA AGROPECUÁRIA NA AMAZÔNIA: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DE SINOP, MT"

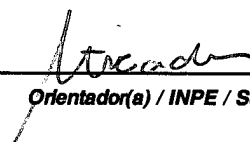
Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de **Mestre** em **Sensoriamento Remoto**

Dr. Camilo Daleles Rennó



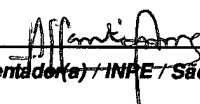
Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dra. Maria Isabel Sobral Escada



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Sidnei João Siqueira Sant'Anna



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro



Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Dra. Taíse Farias Pinheiro



Convidado(a) / Vila R.C.M.Ambiental / Goiânia - GO

**Este trabalho foi aprovado por:**

( ) maioria simples

(x) unanimidade

São José dos Campos, 24 de agosto de 2017



*“Se você vier me perguntar por onde andei  
No tempo em que você sonhava  
De olhos abertos, lhe direi  
Amigo, eu me desesperava*

*Sei que assim falando pensas  
Que esse desespero é moda em 76  
Mas ando mesmo descontente  
Desesperadamente, eu grito em português  
Mas ando mesmo descontente  
Desesperadamente, eu grito em português*

*Tenho vinte e cinco anos  
De sonho e de sangue  
E de América do Sul  
Por força deste destino  
Um tango argentino  
Me vai bem melhor que um blues*

*Sei que assim falando pensas  
Que esse desespero é moda em 76  
E eu quero é que esse canto torto  
Feito faca, corte a carne de vocês  
E eu quero é que esse canto torto  
Feito faca, corte a carne de vocês (...)*

*À Palo Seco, Belchior*





## AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Dra. Maria Isabel Sobral Escada e Dr. Sidnei João Siqueira Sant'Anna, pelos ensinamentos e por contribuírem, sempre de maneira muito leve, mas com absoluto profissionalismo, com a construção do meu conhecimento ao longo desse período.

Aos professores do curso de sensoriamento remoto pela formação acadêmica/científica.

Ao INPE, por proporcionar toda a infraestrutura, à Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA-MT) pela disponibilização de informações e dados importantes para a realização desta pesquisa.

À CAPES e ao projeto eSensing, que é um projeto FAPESP nº 2014/08398-6, pelo apoio financeiro.

Aos colegas de mestrado pelo companheirismo, companhia e pela amizade durante o período de disciplinas e de pesquisa.

Às queridas colegas de sala (senzala moderna), Dra. Ana Paula Dal'Asta, Aniele Souza, Lidiane Costa (o Luiz Henrique) e Bruna Neves que, além de proporcionarem boas discussões científicas, sempre garantiram bons papos e, principalmente, muitas risadas.

Aos Drs. Yosio Shimabukuro, Miguel Vieira Monteiro e Camilo Rennó, pelas valiosas contribuições feitas na banca da proposta de pesquisa da dissertação. Agradeço especialmente ao Dr. Camilo Rennó, por toda a assistência prestada e por todas as dúvidas sanadas.

Agradeço toda minha família, em especial a meus pais e minha irmã pelo incentivo desde o início dessa jornada. O apoio de vocês foi fundamental para a realização desse sonho.

Por fim, agradeço e dedico este trabalho a minha filha, pequena Sofia, que sempre me serviu de incentivo a buscar novos desafios. O papai ama você!

A todos aqueles que de alguma maneira contribuíram e confiaram em mim para a realização deste trabalho, muito obrigado.



## RESUMO

A intensificação da ocupação da Amazônia brasileira, decorreu de um conjunto de ações do Estado a partir da década de 60, que tinha como intuito promover a integração e o desenvolvimento dessa região. Dentre os principais impactos gerados, destacam-se o desmatamento, que pode ser entendido como a remoção completa da vegetação em um curto período de tempo, e a degradação florestal, que é a alteração da vegetação à longo prazo devido a exploração seletiva de madeira e a ação de fogo florestal. Muitos estudos têm sido realizados com objetivo de avaliar e compreender o desmatamento e a degradação florestal, contudo, a degradação ainda é pouco compreendida. O estudo da degradação florestal requer longos períodos de observação, pois as alterações na vegetação ocorrem de maneira gradual ao longo do tempo. Os fatores que causam, interferem ou intensificam a degradação florestal podem variar ao longo tempo e podem se relacionar com o estágio de desenvolvimento da região onde ocorrem. Partindo dessa premissa, o objetivo dessa pesquisa é determinar se o conjunto e a contribuição (peso) dos fatores que interferem na degradação florestal se modificam ao longo do tempo. Para tal, foi utilizada uma base de dados anual de degradação florestal de 31 anos (1984-2015) originada da integração de dados de degradação florestal produzidos por Pinheiro no período de 1984-2011, e de dados gerados neste estudo para o período de 2012-2015, para a cena 226/068 do sensor TM/Landsat em que se insere o município de Sinop, MT, região de fronteira madeireira na Amazônia. Os dados de degradação florestal gerados neste estudo utilizaram os mesmos procedimentos metodológicos empregados por Pinheiro (2015) que contou com uma etapa de classificação espectral para extrair os elementos indicadores de degradação florestal como pátios de estocagem de madeira, trilhas de arraste e fogo florestal; e uma etapa de classificação estrutural que categorizou esses elementos de acordo com uma tipologia de padrões de degradação florestal. A série histórica de degradação florestal foi dividida em três períodos, 1984 a 1994, 1995 a 2004 e, 2005 a 2015. A definição desses períodos baseou-se na análise de marcos históricos relacionados com o desenvolvimento da fronteira madeireira. A determinação dos fatores de degradação de cada período foi realizada por meio de análise de regressão cujos resultados revelaram a persistência de variáveis independentes relacionadas com três fatores nos períodos de analisados: o desmatamento, o fogo florestal e as estradas, representados pelas variáveis *distância de áreas desmatadas*, *distância de áreas queimadas* e *distância de estradas*. Nos dois últimos períodos foram acrescentadas ao modelo as variáveis *Densidade de Kernel de focos de calor* e *distância de planos de manejo*. A maior importância da variável *Densidade de Kernel de focos de calor*, apenas a partir do segundo período pode ser explicada devido à maior disponibilidade de dados. No caso da variável *distância de planos de manejo*, sua presença no modelo pode ser explicada devido ao estabelecimento de políticas de controle do desmatamento que definiram critérios para a exploração dos recursos florestais. Apesar das três variáveis terem persistido nos modelos nos três períodos, sua contribuição variou. No primeiro período, a variável que mais contribuiu para explicar a intensidade de degradação foi a *distância de queimadas* caracterizando a fase inicial de ocupação

da região onde o sistema corte-queima da floresta para implantação de culturas e pasto predominava na região. No segundo período, a maior contribuição foi da variável *distância de áreas desmatadas*, esse período foi o que apresentou os anos com os maiores índices de desmatamento na cena analisada. Por fim, no terceiro período, há um maior equilíbrio em relação ao peso das variáveis, mas as variáveis *distância de estradas* e *distância de planos de manejo* se destacaram. A importância das estradas neste período ocorreu devido a melhoria e expansão da malha viária impulsionada pelo agronegócio, o que facilitou o acesso a floresta. Ao mesmo tempo, o modelo deste período indica que as políticas públicas de controle e combate à exploração ilegal de madeira a partir da criação de planos de manejo florestal passaram a ser mais eficazes na região. A abordagem utilizada para identificar os fatores que influenciaram a degradação florestal em cada período se mostrou adequada e possibilita a recomendação de ações individualizadas que garantam controle mais eficaz da degradação florestal em áreas que possuem contextos históricos e que apresentam características semelhantes às da área de estudo.

Palavras-chave: Degradação florestal. Fronteira madeireira. Análise de regressão.

# **FOREST DEGRADATION FACTORS APPLIED TO DIFFERENT STAGES OF THE LOGGING FRONTIER IN THE AMAZON: CASE STUDY AT THE REGION OF SINOP, BRAZIL**

## **ABSTRACT**

The intensification of Brazilian Amazon occupation occurred mainly from the 60 decade. The occupation objective was to integrate and to develop, but it also increased the environmental impacts. The main impacts caused by the intensification of occupation was deforestation and forest degradation. Deforestation is defined as when vegetation is completely removed and it usually happens in a short time. Forest degradation is the long-term and gradual reduction of canopy cover caused by forest fire and logging. Many researches had been done to study deforestation. However, there are few studies about forest degradation; it is due to process, which usually takes a long timeframe observation. The claim here is that the forest degradation process is heterogeneous throughout the time. Thus, the objective of this study is to verify if the set and the weight of the variables which most influenced forest degradation changes throughout the time. To do that, it was used a 31 annual database (1984-2015) obtained from a forest degradation data made by Pinheiro (2015) (1984-2011) plus a forest degradation data generated from this study (2012 -2015). We selected the path/row 226/068 from Tm/Landsat, which included the Sinop municipality, north Mato Grosso, Brazil as a study case of frontiers logging. We divided the multitemporal database in three different periods (1984 to 1994, 1995 to 2004 and 2005 to 2015) to determine which the variables have influenced forest degradation throughout the time using regression analyses. These periods were determined considering historical landmarks according to bibliography. The regression analyses results showed that deforestation, fire and road networks influenced forest degradation in all periods. In addition, the variables related to these factors were distance from deforested areas, distance from burned areas and distance from roads. The results also demonstrated that as closer from deforested areas, burned areas and roads, as more intense forest degradation is. Variables like hot spots kernel density and distance from forestry management were only reviewed from the second period onwards. We believed the hot spots kernel density contribution started in the second period due to availability of data. At the same way, distance from forestry management was just identified in the second period because of the emergence of public policies that established guidelines for the exploitation of forest resources. At the first period, the greatest weight variables where distance from burned areas and distance from deforested areas, respectively. We believe there was an association between the relative importance of these two variables and the slash and burn system used in the area at the beginning of occupation. The greatest weight variable were distance from deforested areas at the second period. It can be associated with the highest deforestation rates registered

by PRODES project. Lastly, in the third period, the highest weight variables were distance from roads and distance from forestry management. The roads network greatly increased at this time and it could be associated to the agribusiness consolidation, which required a better roads network condition. In addition, the forestry management influence is associated to the increase of forestry management areas, because of public policies to control and combat illegal logging and incentives to forest management plans. In general, the results showed that the set of variables, which interfered in forest degradation, did not change abruptly over time. The relative contribution (weight) of each variable reflected the different stages of the frontier logging.

Keywords: Forest degradation. Frontier logging. Regression analyses.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 – Padrões de degradação florestal mostrados em imagens Landsat/TM, composição colorida RGB/345: a) padrão de exploração florestal por Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) observado na banda 5 do TM. b) exploração seletiva predatória também observada na banda 5 do TM. c) padrão de fogo florestal observado em composição colorida RGB/345 do TM. O padrão concêntrico e as faixas de vegetação em verde estão apontados pelas setas. d) padrão de fogo florestal observado na banda 4 do TM. ....	19
Figura 2.2 – Exemplo de representação de um dado temático vetorial (polígonos de desmatamento) em plano celular a partir da função “porcentagem da classe”. A área desmatada é mostrada em vermelho, as demais classes de cobertura, em branco. Nesta função, toda célula que contiver um polígono, ou parte dele, será preenchida com a valor da área do polígono que se sobrepõe à célula. ....	21
Figura 2.3 – Padrões de degradação florestal por fogo florestal detectados pelo sistema DEGRAD. A) área queimada em 2007. B) área alvo de incêndios recorrentes, considerada como desmatamento. ....	25
Figura 2.4 – Padrões de degradação florestal por exploração seletiva, detectados pelo sistema DEGRAD. A) degradação de intensidade moderada, área em regeneração após a exploração madeireira. B) degradação de intensidade alta, com exploração madeireira ativa. C) degradação de intensidade leve. ....	26
Figura 2.5 – Fluxograma da metodologia de Pinheiro (2015) para classificação espectral da classe de cobertura floresta degradada.....	28
Figura 2.6 – Tipologia de padrões de degradação florestal proposta por Pinheiro (2015) para a órbita/ponto 226/068 do Landsat. ....	32

- Figura 2.7 – Classificação de padrões de degradação florestal com GeoDMA em plano celular. Nesta figura, são apresentados o espaço celular (de 1km<sup>2</sup>) e uma tabela de atributos associada às células. A tabela de atributos contém as informações do plano celular como a localização da célula (representada pelas colunas Col e Lin), e as informações das métricas de paisagem (c\_CA, c\_ED, c\_LSI, por exemplo), extraídas com o GeoDMA. .... 33
- Figura 2.8 – Árvore de decisão para a classificação de padrões espaciais de degradação florestal em Sinop, Mato Grosso. As métricas de paisagem são: CA (Class Area) área da classe em hectares; ED (Edge Density), densidade de borda (razão entre o somatório de todas as bordas da classe pela área total em hectares); NP (Number of Patches), número de manchas. Os padrões espaciais são: LFD1: degradação florestal de intensidade baixa; LFD2: degradação florestal de intensidade baixa; MFD1: degradação florestal de intensidade moderada; MFD2: degradação florestal de intensidade moderada; MFD3: degradação florestal de intensidade moderada; HFD1: degradação florestal de intensidade alta; HFD2: degradação florestal de intensidade alta. .... 35
- Figura 3.1 – Área de estudo: cena que corresponde à órbita/ponto 226/068 do TM/Landsat. .... 38
- Figura 4.1 – Fluxograma geral dos procedimentos metodológicos. Em A, são apresentados os procedimentos gerais da etapa de processamento digital de imagens para obtenção do dado de intensidade de degradação florestal para os anos de 2012, 2013, 2014 e 2015. Em B, é apresentada a etapa de união do dado produzido com o dado de Pinheiro (2015), bem com a definição dos períodos de estudo; em C, são definidos os períodos de estudos e as obtidas as variáveis que foram utilizadas na modelagem estatística; e em D, são apresentados os procedimentos para obtenção dos modelos de intensidade de degradação florestal. .... 49



Figura 4.2 – Procedimentos metodológicos empregados para obtenção da intensidade de degradação florestal. Em a) etapas realizadas na fase de classificação espectral e em b) etapas da classificação estrutural. ....	51
Figura 4.3 – Mapa temático com as classes obtidas a partir da classificação espectral do ano de 2015. ....	52
Figura 4.4 – Períodos de estudo baseados em marcos históricos. ....	54
Figura 4.5 – Padrão de degradação 0,9 (fogo florestal). ....	57
Figura 4.7 – Preenchimento celular com o operador quantidade. ....	60
Figura 4.8 – Extração de métrica de área. ....	61
Figura 4.9 – Fluxograma dos procedimentos empregados na modelagem estatística multivariada. ....	64
Figura 5.1 – Mapas de Intensidade de degradação florestal anual produzidos para o período de 2012 a 2015. ....	71
Figura 5.2 – Áreas de afloramento rochoso em composição colorida OLI/Landsat em 2014, e pontos visitados em campo para validação da máscara de não floresta. ....	73
Figura 5.3 – Mapeamento das estradas por período de estudo. ....	74
Figura 5.4 – Dinâmica temporal do desmatamento: em a), a dinâmica do desmatamento em Mato Grosso e na Amazônia Legal, de acordo com os dados do PRODES; em b), a dinâmica temporal da área de estudo. ....	75
Figura 5.5 – Desmatamento acumulado, por período, na área de estudo, em Mato Grosso e na Amazônia Legal. ....	78
Figura 5.6 – Dinâmica temporal da degradação florestal na área de estudo: a) um panorama geral da degradação florestal em relação as demais classes e b) a dinâmica temporal de cada classe de intensidade de degradação florestal. ....	79
Figura 5.7 – Contribuição relativa de cada variável por período de estudo. ....	87
Figura B.1 – Relação das variáveis que compõem o modelo para explicar a degradação florestal no período 1. ....	119

Figura B.2 – Análise dos Resíduos do modelo de regressão ajustado para o primeiro período de estudo. Em a) são apresentados os gráficos de dispersão dos resíduos e dos resíduos versus valores observados, respectivamente. Em b) são apresentados os diagnósticos de normalidade e em c) o diagnóstico de homocedasticidade. ....	120
Figura B.3 – Relação das variáveis que compõem o modelo para explicar a degradação florestal no período 2.....	121
Figura B.4 – Análise dos Resíduos do modelo de regressão ajustado para o segundo período de estudo. Em a) são apresentados os gráficos de dispersão dos resíduos e dos resíduos versus valores observados, respectivamente. Em b) são apresentados os diagnósticos de normalidade e em c), o diagnóstico de homocedasticidade. ....	122
Figura B.5 – Relação das variáveis que compõem o modelo para explicar a degradação florestal no período 3.....	122
Figura B.6 – Análise dos Resíduos do modelo de regressão ajustado para o terceiro período de estudo, Em a) são apresentados os gráficos de dispersão dos resíduos e dos resíduos versus valores observados, respectivamente, Em b), os diagnósticos de normalidade e, em c), o diagnóstico de homocedasticidade, .....	123

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1 – Número de empresas madeireiras instaladas em Sinop-MT.....	41
Tabela 4.1 – Dados utilizados na etapa de processamento de imagens. ....	46
Tabela 4.2 – Dados utilizados na etapa de modelagem estatística.....	47
Tabela 4.3 – exemplo do cálculo de obtenção da variável dependente. ....	56
Tabela 4.4 – Resumo dos dados utilizados para geração das variáveis independentes.....	62
Tabela 4.4 – Resumo dos dados utilizados para geração das variáveis independentes (continuação). ....	63
Tabela 5.1 – Área desmatada para a cena 226/68, para o estado de Mato Grosso e para a Amazônia legal em km <sup>2</sup> .....	76
Tabela 5.1 – Taxa anual de desmatamento para a área de estudo, para o estado de Mato Grosso e para a Amazônia legal em km <sup>2</sup> (continuação)..	77
Tabela 5.2 – Resultados da análise de resíduos e de multicolinearidade do primeiro período de estudo.....	82
Tabela 5.3 – Diagnóstico da avaliação da análise de resíduos e de multicolinearidade do segundo período de estudo. ....	85
Tabela 5.4 – Diagnóstico da avaliação da análise de resíduos e de multicolinearidade do terceiro período de estudo.....	86
Tabela A1 – Validação da classificação para os anos de 2012, 2013, 2014 e 2015. ....	117
Tabela B.1 – Análise do modelo de regressão múltipla para o período 1 .....	119
Tabela B.2 – Análise do modelo de regressão múltipla para o período 2 .....	121
Tabela B.3 – Análise do modelo de regressão múltipla para o período 3 .....	123



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CIPEM	Centro das Indústrias Produtoras e Exportadoras de Madeira do Estado de Mato Grosso
CNPS	<i>California Native Plant Society</i>
DEGRAD	Sistema de Mapeamento da Degradação Florestal da Amazônia Brasileira
DETER	Sistema de Detecção em Tempo Real do Desmatamento
DETEX	Sistema de Mapeamento da Degradação Florestal por Exploração Seletiva
DOS	<i>Dark Object Subtraction</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GeoDMA	<i>Geographic Data Mining Analyst</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Biodiversidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LISS	<i>Linear Imaging Self-Scanner</i>
MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PDI	Processamento Digital de Imagens

PMFS	Plano de Manejo Florestal Sustentável
PPCDAm	Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia
PRODES	Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica por satélite
REDD	<i>Reduced Emission from Deforestation and Degradation</i>
REGIC	Região de Influência das Cidades
SEMA-MT	Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso
SIMLAM	Sistema Integrado de Monitoramento de Licenciamento Ambiental
SINFRA-MT	Secretaria de Estado de Infraestrutura de Mato Grosso
SUDAM	Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia
SUDECO	Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
VIF	<i>Variance Inflation Factor</i>

## SUMÁRIO

	<b><u>Pág.</u></b>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos.....	6
1.2. Organização da dissertação .....	7
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	9
2.1. Conceito e definições de degradação florestal .....	9
2.2. Conceito e definição de fronteira agropecuária .....	11
2.3. Processos de degradação: fatores imediatos e subjacentes .....	12
2.3.1. Ocorrência de fogo.....	14
2.3.2. Exploração seletiva .....	15
2.3.3. Fragmentação florestal.....	16
2.3.4. Padrões de degradação florestal.....	18
2.4. Sensoriamento remoto para a detecção de degradação florestal.....	22
2.5. Sistemas de monitoramento da degradação florestal na amazônia brasileira .....	23
2.5.1. Metodologia e técnicas para detecção de degradação florestal na amazônia: estudo de trajetórias em novo progresso e sinop .....	27
2.5.1.1. Classificação espectral.....	28
2.5.1.2. Classificação estrutural de padrões de degradação florestal .....	31
2.6. Fatores que condicionam a degradação florestal e o emprego de modelos estatísticos multivariados .....	36
3 ÁREA DE ESTUDO .....	38
3.1. Descrição geral .....	38
3.2. Histórico de ocupação .....	39
4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	46
4.1. Dados utilizados.....	46
4.2. Procedimentos metodológicos .....	47
4.2.1. Atualização da série histórica.....	49
4.2.1.1. Pré-processamento .....	49

4.2.1.2.	Mapeamento de padrões de degradação florestal.....	50
4.2.1.3.	Classificação espectral.....	51
4.2.1.4.	Classificação estrutural .....	53
4.2.2.	Definição dos períodos de estudo .....	53
4.3.	Análise dos fatores causadores de degradação florestal.....	55
4.3.1.	Preparação das variáveis.....	56
4.3.2.	Modelagem estatística multivariada .....	64
4.3.2.1.	Amostragem.....	65
4.3.2.2.	Relação entre as variáveis .....	66
4.3.2.3.	Construção dos modelos estatísticos.....	66
4.3.2.4.	Análise de multicolinearidade.....	66
4.3.2.5.	Análise da adequabilidade dos modelos .....	67
4.3.2.6.	Importância relativa das variáveis independentes.....	68
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
5.1.1.	Classificação dos padrões de degradação florestal .....	69
5.1.2.	Mapeamento de estradas.....	73
5.2.	Desmatamento e degradação florestal: uma visão geral ao longo do tempo .....	74
5.3.	Análise e indicação de fatores relacionados com a intensidade de degradação florestal.....	80
5.3.1.	Modelos e fatores explicativos da intensidade da degradação florestal.....	81
5.3.2.	Contribuição relativa dos fatores para caracterização da intensidade de degradação florestal nos diferentes períodos da fronteira agropecuária .....	87
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	99
	APÊNDICE A – VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO ESTRUTURAL PARA OS ANOS DE 2012, 2013, 2014 E 2015.....	117
	APÊNDICE B – DIAGNÓSTICO DA ANÁLISE DE RESÍDUOS.....	119



## 1 INTRODUÇÃO

O ritmo acelerado da ocupação da Amazônia brasileira se deu por meio de planos e programas do governo federal, a partir da década de 60 e teve como estratégia a implantação e ampliação das redes de infraestrutura, implantação de projetos de assentamento, a indução da migração, o incentivo fiscal para a criação de polos industriais, o incentivo a atividades ligadas à agropecuária e à mineração, entre outras (BECKER, 1982; PANDOLFO, 1994). Como parte do plano de ocupação, tem-se início a construção de estradas como a Belém-Brasília, Transamazônica, São Paulo-Cuiabá-Porto Velho, Cuiabá-Santarém e a Porto Velho-Manaus, responsáveis por promover a integração física e possibilitar um maior acesso à região.

Como uma das formas de incentivo à ocupação, foram estabelecidos os programas de colonização por meio da implantação de assentamentos rurais de responsabilidade do Instituto de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), além de modelos de colonização privados, sob responsabilidade de empresas particulares (BECKER, 1982; KITAMURA, 1994; TEIXEIRA, 2006). O conjunto dessas ações teve como consequência o aumento de impactos sociais e ambientais, como o desmatamento, responsável por grande parte das alterações da paisagem na Amazônia. Devido às altas taxas de desmatamento estimadas desde o final da década de 80 pelo INPE e a preocupação em escala global com o impacto do desmatamento na emissão de gases de efeito estufa, tem-se início a criação de políticas públicas e de ações para a contenção e controle do desmatamento.

Neste contexto, o Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica brasileira por satélite (PRODES) foi criado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no final da década de 80, e passou a monitorar anualmente o desmatamento por corte raso da Amazônia, fornecendo estimativas anuais de taxa de desmatamento, importante subsídio para as políticas de combate ao desmatamento e aos estudos e modelos de emissão de carbono. Entretanto, a perda de cobertura florestal e, conseqüentemente, a emissão de carbono, não

ocorre apenas pelo desmatamento por corte raso, mas também por eventos recorrentes de fogo florestal e de exploração de madeira, que levam a formas progressivas de degradação florestal. O corte raso pode ser definido como um processo de curto prazo que se inicia com a floresta intacta e termina com a conversão total da floresta original em outro tipo de cobertura (INPE, 2008). Diferentemente do desmatamento por corte raso, a degradação florestal é vista como um processo de longo prazo que envolve a ocorrência de fogo florestal e/ou eventos de exploração madeireira, cuja intensidade pode variar de acordo com as causas e a intensidade dos fatores envolvidos neste processo. A degradação florestal, por ser um processo diferente do desmatamento, não é considerada nos cálculos da taxa de desmatando realizados pelo INPE.

A participação da degradação florestal no balanço de carbono terrestre é ainda pouco compreendida, dada a complexidade deste fenômeno (MERTZ et al., 2012). Embora a degradação florestal seja menos conhecida, sua importância é reconhecida, o que resultou em sua inclusão, juntamente com o desmatamento, no programa *Reduced Emission from Deforestation and Degradation* (REDD+) em 2013. Este programa, que foi desenvolvido no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), funciona como um instrumento para recompensar financeiramente países em desenvolvimento com florestas tropicais, pela redução da emissão de carbono (UNFCCC, 2016).

Para fornecer a informação sobre as áreas de degradação florestal na Amazônia, não contempladas no PRODES, foi criado em 2007, pelo INPE, o Sistema de Mapeamento da Degradação Florestal da Amazônia Brasileira (DEGRAD), que monitora a degradação florestal resultante da exploração madeireira predatória e do fogo florestal. Ainda como parte integrante do programa de monitoramento da cobertura floresta da Amazônia, o INPE conta com o Sistema de Detecção em Tempo Real do Desmatamento (DETER), que mapeia corte raso e degradação florestal, sem discriminá-los, e o Sistema de mapeamento da degradação florestal por exploração seletiva (DETEX), que monitora a exploração seletiva de madeira dentro de distritos florestais sustentáveis. Além

de contribuir para estudos sobre emissão de CO<sub>2</sub>, o mapeamento e monitoramento da degradação florestal é de grande importância para a compreensão de mudanças na composição e no microclima de ecossistemas florestais (JOHNS et al. 1996; GERWING e VIDAL, 2002; FIORINI, 2012) e também para a elaboração e implantação de políticas públicas que visem à fiscalização e à conservação das florestas.

O uso dos dados de sensoriamento remoto orbital tem sido fundamental no monitoramento e mapeamento da degradação florestal, pois permite identificar mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo e no espaço. Os produtos mais utilizados são imagens de sensores ópticos, principalmente as da série Landsat, que, devido à sua resolução temporal, possibilitam observar, por exemplo, a extensa área da Amazônia em curtos períodos de tempo, permitindo operacionalizar os procedimentos de extração de informação. Embora os dados ópticos possuam limitações por utilizarem como fonte principal a energia eletromagnética proveniente do sol e serem fortemente dependentes das condições atmosféricas (COPPIN et al., 2004; PARADELLA et al., 2005; BRUZZONE e BOVOLO, 2008), principalmente da cobertura de nuvens, esses dados são ainda os mais utilizados para o monitoramento de floresta.

Algoritmos de classificação espectral de imagens são utilizados para o mapeamento de elementos associados à degradação florestal como ramais de arraste, pátios de estocagem de madeira e cicatrizes de fogo. Para identificação e classificação do arranjo espacial destes elementos tipicamente relacionados à degradação florestal e a sua intensidade, podem ser utilizadas ferramentas baseadas em técnicas de mineração de dados e no uso de métricas estruturais da paisagem, tais como as disponíveis no GeoDMA (*Geographic Data Mining Analyst*). O GeoDMA, desenvolvido por Körting et al. (2008), dispõe de um conjunto de métricas da paisagem para análise em células que podem ser utilizadas em uma classificação estrutural da floresta degradada, evidenciando diferentes padrões espaciais, como os obtidos por Pinheiro (2015) na região de Novo Progresso (Pará) e de Sinop (MT).

Tais classificações são utilizadas na análise e compreensão dos processos envolvidos na degradação florestal e em suas trajetórias.

Tanto o processo de degradação florestal como o desmatamento são responsáveis por importantes mudanças na paisagem da Amazônia, sobretudo por serem processos ligados ao desenvolvimento de atividades como a agricultura, pecuária e exploração seletiva (BECKER, 1982, KITAMURA 1994). De acordo com dados do PRODES, foram registradas em 1994 e 2004 as maiores taxas de desmatamento na Amazônia Legal, tendo Mato Grosso como o estado que mais desmatou. Em resposta às altas taxas de desmatamento, surgem importantes ações de combate e controle do desmatamento como o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia (PPCDAm). Como parte desse plano, cria-se um sistema de alerta de desmatamento em tempo real, o DETER, desenvolvido pelo INPE, que opera em conjunto com a fiscalização (IBAMA) para detectar novos desmatamentos e incluindo, pela primeira vez, o mapeamento de áreas de degradação florestal.

Com o monitoramento e a produção de séries históricas de dados, passou a ser possível avaliar o impacto da ocupação sobre as áreas de floresta e verificar a eficácia dos esforços e ações relacionados com o combate ao desmatamento e à degradação florestal. Para melhor explicar esses fenômenos, principalmente o desmatamento, alguns trabalhos com modelos estatísticos foram realizados relacionando o desmatamento com variáveis socioeconômicas e ambientais, como é o caso do trabalho de Soares Filho et al. (2004), Aguiar (2006), Ferreira (2006), Ximenes et al. (2008), Fearnside et al. (2009), Vitel (2009), Piontekowski et al. (2012).

Nos estudos sobre a degradação florestal e suas causas e consequências, alguns trabalhos foram conduzidos, como é o caso de Nepstad et al. (1999b), Cochrane (2003), Asner et al. (2005), Barlow e Peres (2008), contudo, há poucos estudos de modelagem deste fenômeno, que procuram explica-lo e caracteriza-lo com variáveis socioeconômicas e ambientais. Um dos poucos trabalhos publicados de

modelagem da degradação florestal foi realizado por Matricardi et al. (2010), que relacionaram a variável degradação florestal com variáveis ambientais como área de exploração seletiva, área de floresta queimada e distância de corpos d'água, no período de 1992 a 2004 na Amazônia mato-grossense. Kury (2016) obteve trajetórias de degradação florestal para o período de 2007 a 2012 na Amazônia Legal, com os dados do DEGRAD (INPE), e analisou, por meio de regressão estatística, os fatores condicionantes da degradação, como por exemplo, distância de centros urbanos, rodovias, conexão com portos, dentre outros. Esses dois trabalhos foram realizados em períodos curtos, entre 6 e 10 anos, compreendendo uma pequena parte do período do ciclo madeireiro estabelecido em planos de manejo, que é de 30 anos (BRASIL, 2012).

Embora com foco diferente dos trabalhos de Matricardi et al. (2010) e Kury (2016), Pinheiro et al. (2016) avaliaram as trajetórias envolvidas na degradação florestal analisando uma série temporal de 27 anos (1984 a 2011), na região de Novo Progresso, no Pará. Utilizando a mesma série histórica, Azeredo et al. (2016), desenvolveram ferramentas baseadas no conceito de trajetórias de objetos móveis, para explorar trajetórias de degradação florestal. Importantes informações podem ser extraídas de séries temporais longas de dados de degradação florestal, dado o caráter gradual do processo. Tritsch et al. (2016) classificaram áreas de exploração seletiva no município de Paragominas, estado do Pará e, a partir de indicadores de paisagem, principais componentes e técnica de análise de agrupamento, geraram uma tipologia com cinco grupos que correspondem a distintos padrões e níveis de distúrbio florestal para um período de 15 anos, de 1994 a 2009.

O presente estudo analisa uma série temporal de 31 anos, de 1984 a 2015, e se propõe a modelar a degradação florestal com intuito de verificar se as variáveis que explicam esse fenômeno variam ao longo do tempo. São definidos três períodos de tempo, a partir da revisão da literatura e de conhecimento de campo, que apresentam diferentes marcos históricos relacionados com o desmatamento e a degradação florestal. A principal questão a ser respondida nessa dissertação é se os fatores que condicionam a degradação florestal modificam-se ao longo

do tempo e a importância relativa que cada fator identificado exerce sobre o fenômeno em cada período estudado. Os resultados obtidos são importantes para subsidiar a elaboração de políticas públicas diferenciadas para as regiões que se encontram em diferentes estágios de ocupação, auxiliando na orientação de ações de fiscalização de forma diferenciada e, portanto, mais eficazes, no controle da degradação florestal.

### 1.1. OBJETIVOS

Este estudo visa, por meio do uso combinado de dados de sensoriamento remoto e de técnicas de modelagem estatística multivariada, obter as variáveis que mais influenciaram a intensidade de degradação florestal, em diferentes períodos de tempo, na cena que compreende a órbita ponto 226/068 do TM/Landsat. Essa cena abrange parte do município de Sinop que, doravante, será tratada como região de Sinop. Localizada na Amazônia mato-grossense, a região é considerada uma região de fronteira agropecuária, que viveu diferentes momentos e contextos econômicos, sociais e ambientais ao longo do seu desenvolvimento. Assim, a região foi analisada em três períodos diferentes, 1984 a 1994, 1995 a 2004 e, 2005 a 2015. Para tanto, é utilizada uma base de dados anuais de degradação florestal, de 1984 a 2015, para responder as seguintes perguntas: Quais fatores explicam a intensidade da degradação florestal? O conjunto de fatores e seus pesos modificam-se de acordo com os diferentes estágios evolutivos da fronteira de ocupação?

Com intuito de obter respostas para tais perguntas, foram delineados, então, os seguintes objetivos específicos:

1. Produzir a série de dados anuais de degradação florestal de 2012 a 2015 a fim de complementar e refinar a série histórica proposta por Pinheiro (2015) para o período de 1984 a 2011;
2. Estabelecer, juntamente com dados da literatura, marcos históricos que influenciaram o processo de degradação florestal na região de Sinop;

3. Identificar, por meio de análise de regressão multivariada, fatores que explicam a intensidades de degradação florestal em três períodos da fronteira de ocupação da região de Sinop, definidos no objetivo específico 2;
4. Verificar se o conjunto e a importância relativa das variáveis que influenciaram esse fenômeno modificaram-se ao longo do tempo.

## 1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este documento está estruturado em 6 seções principais. Na Seção 1 é apresentada a contextualização do trabalho e a questão a ser investigada, bem como a justificativa e os objetivos.

A Seção 2 contém a fundamentação teórica. Nesta seção, são apresentados e descritos os principais conceitos e definições utilizados neste trabalho, tais como o conceito de degradação florestal, o uso de dados de sensoriamento remoto e técnicas para a detecção de degradação florestal, reconhecimento e classificação de padrões de degradação florestal e sistemas de monitoramento de florestas com dados de sensoriamento remoto.

Na Seção 3, está descrita a área de estudo com a sua localização geográfica, características sociais, ambientais e climáticas, histórico de ocupação e os processos relacionados às atividades de exploração madeireira. Na Seção 4, é apresentada a metodologia utilizada para produção de dados de degradação florestal, a descrição e identificação de marcos históricos relacionados com a exploração madeireira na área de estudo. São também descritos nesta seção, os procedimentos de classificação espectral (para obtenção dos elementos associados a degradação florestal) e as técnicas utilizadas na classificação estrutural (para obtenção da intensidade de degradação florestal). No fim desta seção, são apresentadas as técnicas e procedimentos utilizados na modelagem estatística para determinação dos fatores que influenciaram a degradação florestal em cada período.

Na Seção 5, são apresentados os resultados obtidos e as discussões acerca do tema estudado. São apresentados nessa seção, os resultados da classificação espectral e estrutural e os fatores que influenciaram a degradação florestal em cada período de estudo. São enfatizadas, em cada período, as contribuições relativas de cada um dos fatores associando-os com os diferentes estágios evolutivos da região. Encerrando a dissertação, são expostas na Seção 6, as conclusões e as considerações finais, que incluem as principais contribuições alcançadas a partir dos resultados obtidos.



## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Nesta seção, são descritos os conceitos e termos utilizados neste trabalho, além de descrições importantes da área estudo. Os conceitos utilizados baseiam-se em uma perspectiva operacional, pois a principal fonte de dados utilizada nesse estudo são os sensores remotos orbitais.

### **2.1. CONCEITO E DEFINIÇÕES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL**

Existem na literatura diversas definições de degradação florestal e estas variam de acordo com os fatores que a causaram, a fitofisionomia envolvida e com o objetivo do estudo (LUND, 2009; PINHEIRO, 2015). Algumas definições são muito amplas e, portanto, vagas como é o caso da definição da *Food and Agriculture Organization* (FAO). Para a FAO (2002), a degradação florestal é a redução da capacidade da floresta em oferecer serviços e bens ambientais. Para a *California Native Plant Society*, CNPS (2001), é a incorporação de genes através de adição de espécies exóticas em um determinado habitat. Para o *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC (2003), é a perda direta, de longo prazo, induzida pelo homem, de uma determinada porcentagem do estoque de carbono florestal em um determinado período, que não se qualifique através do Protocolo de Quioto como desmatamento.

Esses diferentes conceitos de degradação, de maneira geral, sugerem diferentes categorias de abordagem. A vantagem dos conceitos considerados operacionais é que eles conseguem indicar o estágio de degradação da floresta através da intensidade da alteração da vegetação e ainda permitem excluir estágios avançados similares ao corte raso, que é a retirada total da floresta. Entretanto, estes conceitos apresentam limitações que podem variar de acordo com a escala temporal e tipo de floresta analisada por se firmarem justamente na definição de limiares (PINHEIRO, 2015).

A maioria dos estudos realizados na Amazônia brasileira não adota um único conceito formal de degradação florestal. Entretanto, as causas da degradação florestal geralmente são consensuais entre os autores. A degradação florestal está ligada diretamente à fragmentação da paisagem, extração seletiva de madeira e/ou ocorrência de fogo florestal. Estas causas podem ser estudadas separadamente ou em conjunto, visto que há sinergia entre elas (LAURANCE et al., 1998; PEREIRA et al., 2002; BARLOW e PERES, 2008; MATRICARDI et al., 2010).

O conceito de degradação florestal utilizado neste estudo é o elaborado pelo INPE (2008), que descreve como degradação florestal *o processo gradual e de longo-prazo da perda da cobertura florestal por meio da extração seletiva de madeira e da ocorrência de incêndios florestais*. Vários trabalhos utilizam conceitos aproximados para o estudo da degradação florestal, dentre os quais se pode destacar o de Shimabukuro et al. (2014), que avaliaram a degradação florestal por exploração seletiva de madeira e uso de fogo na Amazônia brasileira utilizando séries temporais de imagens-fração derivadas do Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+).

Utilizando o mesmo conceito, Espírito-Santo et al. (2014) caracterizaram a dimensão, frequência e a distribuição dos distúrbios na Amazônia utilizando dados Lidar e Landsat, Berenguer et al. (2014) avaliaram o estoque de carbono na Amazônia paraense associando dados de campo e a base de dados Landsat, e Miettinen et al. (2016) utilizaram a mesma base de dados para analisar a dimensão da degradação florestal por fogo em Mato Grosso.

A definição de degradação florestal utilizada pelo INPE também embasou o trabalho de Pinheiro et al. (2016), que utilizaram a base de dados Landsat e técnicas de mineração de dados para analisar os padrões espaciais em uma região do Pará e no Mato Grosso e construir trajetórias da degradação florestal na Amazônia. Neste estudo, os autores obtiveram padrões anuais de intensidade de degradação florestal cuja metodologia de classificação desses padrões integrou os procedimentos metodológicos deste estudo.

A partir da base de dados de 28 anos criada por Pinheiro (2015), Azeredo et al. (2016) desenvolveram ferramentas exploratórias para a análise e agrupamento de trajetórias de degradação florestal. Padrões de comportamento usualmente utilizados no contexto de trajetórias de objetos móveis, foram adaptados para o contexto da degradação florestal com o intuito de se identificar, entre outras, trajetórias que convergem para corte raso e trajetórias de degradação florestal que persistem, explorando diferentes contextos temporais e espaciais.

## 2.2. CONCEITO E DEFINIÇÃO DE FRONTEIRA AGROPECUÁRIA

Os conceitos empregados nessa Seção tiveram como referencial o arcabouço teórico de Machado (2000) e Becker (1982). Para esses autores, o conceito de *fronteira* pode, por vezes, se confundir com o de *limite*. A diferença básica entre os dois termos está justamente no grau de abrangência e do dinamismo que um representa em relação ao outro. O conceito de limite relaciona-se com a ideia de divisão (geralmente física e fixada juridicamente) enquanto o de *fronteira* designa uma frente de expansão ou zona de inter-relações entre os diferentes meios.

As fronteiras (de recursos) na Amazônia podem ser definidas como zonas de povoamento em que um território se torna produtivo. Essas fronteiras passam a existir e a se consolidar com a descoberta de recursos naturais importantes e, mediante investimentos públicos e privados, são ocupadas com intuito de se explorar as oportunidades comerciais que apresentam. Sob a ótica governamental, a preocupação geralmente visa à ocupação da região, não apenas o retorno financeiro, e a criação de bases para o desenvolvimento e aproximação da região de fronteira com as regiões economicamente mais desenvolvidas.

No caso da fronteira agropecuária, um dos principais atrativos é o recurso madeireiro. A oferta de matéria prima permite atrair inovações e promover o desenvolvimento, tais como capital, tecnologia e população, como no caso da Amazônia, incentivados por ações do governo federal. Estas novas áreas de fronteira, sob constante influência das estratégias de ocupação promovidas pelo Estado, passam a ter maior visibilidade, podendo tornar-se, mais tarde,

verdadeiros campos de atração de investimentos. De acordo com Pereira et al. (2010), as fronteiras (madeiras) na região Amazônica podem ser classificadas de acordo com o estágio de ocupação. Segundo estes autores, as fronteiras se dividem em *antigas* (com mais de 30 anos), como os municípios de Paragominas, Tailândia e Redenção no Pará e Sinop e Feliz Natal em Mato Grosso. Há também as fronteiras *intermediárias* (entre 10 e 30 anos) tendo como exemplos as regiões de Cláudia e Marcelândia em Mato Grosso, as fronteiras *novas* (menos de anos) localizadas no oeste do Pará e extremo noroeste de Mato Grosso e, por fim, as fronteiras *estuarinas*, que são regiões de floresta de várzea em que a exploração seletiva ocorre desde o século 17, com intensificação a partir da década de 60. Esses autores levam em consideração a idade e as condições de acesso à fronteira para classificá-las.

É importante destacar que, na definição de fronteira deve-se levar em consideração todo o contexto, desde os fatores que levaram ao seu surgimento como os processos que atuam para consolidação. Esses processos que atuam para a consolidação de uma fronteira agropecuária favorecem também os impactos sobre o ambiente, mais especificamente nas regiões de floresta, e causam a degradação florestal. Os fatores que influenciam a expansão da fronteira agropecuária, e a intensidade da degradação florestal que causam, podem ser dinâmicos e tais mudanças podem ocorrer em diferentes períodos de tempo.

### **2.3. PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO: FATORES IMEDIATOS E SUBJACENTES**

A degradação florestal pode ter causas naturais ou antrópicas. Nos eventos que geram a degradação florestal a partir de causas naturais, a mortalidade de árvores ocorre, mas não deixa o solo totalmente exposto, tornando-o de difícil detecção. Essas causas podem estar relacionadas com eventos extremos de saturação hídrica, que acarretam a morte de espécies adaptadas a solos mais secos. Também podem estar relacionadas aos eventos denominados *blowdown*, que representam o deslocamento brusco de massas de ar que

atingem a superfície do terreno. As causas naturais acarretam menor impacto do que as causas de origem antrópica (NELSON et al., 1994; NELSON, 2006). As causas antrópicas mais comumente conhecidas são a exploração seletiva de madeira, fogo florestal e a fragmentação florestal, considerados fatores imediatos de degradação, pois causam alterações na cobertura da vegetação de forma direta (GEIST e LAMBIN, 2002; PINHEIRO, 2015).

Geist e Lambin (2002) dividem os fatores que causam a degradação florestal em dois grupos: os fatores imediatos, citados anteriormente, que causam diretamente as alterações na vegetação e; os fatores subjacentes, que são os fatores que influenciam a ocorrência e intensidade dos fatores imediatos, podendo ser de origem política, econômica, institucional, tecnológica, cultural e/ou demográfica. Os fatores imediatos e subjacentes são sinérgicos e se relacionam. Essas relações foram discutidas por Pinheiro (2015) no contexto histórico e de consolidação da fronteira madeireira na Amazônia brasileira, mais especificamente na região de Sinop.

De maneira geral, na Amazônia brasileira, os fatores subjacentes se intensificaram a partir da década de 70 com a política de ocupação promovida pelo governo da época (BECKER, 1982). Alguns fatos importantes, que representaram um marco na mudança da paisagem na região, tais como a implantação da rede rodoviária, os incentivos fiscais que atraíram capital privado e a implantação de assentamentos promovidos pelo INCRA, favoreceram a expansão de atividades extrativistas (KITAMURA, 1994; BARROS e UHL, 1995).

Os fatores de degradação imediatos, anteriormente definidos, podem atuar de maneira isolada ou em sinergia, envolvendo também outros processos tais como as práticas de manejo de pastagem ou agrícola, abandono de exploração madeireira e regeneração da floresta (PINHEIRO, 2015). Esses fatores estão descritos nas seções seguintes.

### **2.3.1. OCORRÊNCIA DE FOGO**

A maioria das ocorrências de fogo florestal geralmente possui relação com a ação antrópica. Na Amazônia, o fogo florestal ocorre geralmente de maneira indireta, pois a utilização do fogo está mais associada a algumas classes de uso do solo como, por exemplo, a pastagem e a agricultura que utilizam o fogo como prática de manejo para eliminação de resíduos agrícolas (NEPSTAD et al., 1999a; SÁ et al., 2007; VASCONCELOS et al., 2013). No entanto, Mendonça et al. (2004) destacam que, eventualmente, o fogo florestal pode ser intencional, sendo ateado diretamente na floresta como forma de apropriação de terra.

A queima da floresta altera sua estrutura e composição. Podem ocorrer perdas consideráveis no número de indivíduos de espécies arbóreas e de sub-bosque. A ação do fogo pode ser ainda mais drástica quando atinge áreas com presença de espécies florestais raras, que pode não se recuperar mesmo após longos períodos sem novas ocorrências de fogo florestal. As perspectivas de recuperação das espécies, principalmente das consideradas raras, são reduzidas porque o fogo diminui a disponibilidade de sementes em até 85% na serapilheira e em até 60% no solo (COCHRANE, 2003). Além da degradação, o fogo florestal afeta a atmosfera, o solo e o ciclo hidrológico. Na atmosfera, as consequências do fogo florestal são a emissão de carbono e de partículas provenientes do processo de queima da floresta e da decomposição da matéria morta (VASCONCELOS et al., 2013). Estudos mostram que a fumaça das queimadas pode resultar na diminuição de chuvas (ROSENFELD, 1999).

Como mencionado, o fogo florestal também afeta o solo e o ciclo hidrológico local. Quando o fogo consome a vegetação, o solo fica mais suscetível à ação de intempéries que favorecem a erosão e a perda de nutrientes. Isso provoca assoreamento dos rios, inundações e aumento do escoamento superficial da água (NEPSTAD et al., 1999a). Na Amazônia, o fogo florestal pode ser agrupado em dois tipos: fogo intencional, como parte do processo de desmatamento para eliminação do material residual proveniente do corte raso ou quando é ateado

diretamente na florestal; e fogo acidental, causado quando o fogo de uma determinada área se estende acidentalmente e atinge uma área de floresta (NEPSTAD et al., 1999a; MENDONÇA et al., 2004).

Os incêndios florestais rasteiros eliminam até 80% da biomassa da floresta e aumentam a inflamabilidade, contribuindo com a formação de um *feedback* positivo em que, quanto mais a floresta é queimada, mais inflamável fica. Isto ocorre porque o processo de queima da floresta favorece o aparecimento de gramíneas, matéria orgânica seca como galhos, folhas e troncos. Todo esse material favorece a propagação do fogo, pois serve de combustível por ser altamente inflamável (NEPSTAD et al., 1999a).

### **2.3.2. EXPLORAÇÃO SELETIVA**

Segundo Johns (1985) e Rapera (1997), a exploração seletiva pode ser definida, do ponto de vista econômico, como o corte seletivo, orientado por técnicas específicas de inventário e extração, das árvores sadias de espécies de valor comercial. Ainda de acordo com esses autores, além do enfoque comercial, a exploração seletiva pode ocorrer para a remoção de árvores velhas, doentes ou defeituosas sob forma de manejo, com intuito de preservar um número adequado de indivíduos sadios que garantam, além da regeneração da floresta, proteção do solo e da hidrografia e assegurem estoque suficiente do volume de biomassa para explorações futuras. Existem práticas silviculturais que podem ser empregadas nas florestas para retirada de indivíduos considerados indesejados, como, por exemplo, árvores mortas e doentes e podem melhorar a qualidade da madeira a ser explorada (JOHNS, 1985).

Por mais bem executadas que sejam essas técnicas, os processos alteram o estado da vegetação natural da floresta primária e, como consequência, diversos efeitos são observados em sua estrutura (PINHEIRO, 2015). A atividade de exploração seletiva causa morte e danos às árvores que não são exploradas durante o procedimento de derrubada e retirada das árvores. Em decorrência disso, a matéria morta libera carbono para atmosfera durante o processo de decomposição, as clareiras formadas favorecem o aparecimento de espécies

pioneiras no local e há alteração de todo o microclima e do ecossistema da região (JOHNS et al.1996; GERWING e VIDAL, 2002; FIORINI, 2012).

A exploração seletiva pode ser realizada através de plano de manejo florestal sustentável ou de maneira predatória. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, o manejo florestal é definido como um “conjunto de técnicas elaboradas com a finalidade de administrar a floresta para obter benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema manejado”.

Pinagé (2013) define como manejo florestal sustentável a utilização de técnicas de inventário e colheita, específicas para obtenção de madeira, de espécies comerciais levando em consideração os princípios de conservação que visam que determinada floresta possa ser capaz de garantir, de forma contínua, determinado produto ou serviço. Em contrapartida, a exploração convencional (ou predatória), que geralmente não empregam tais técnicas corretamente, provoca grandes danos à estrutura da floresta e perda da biodiversidade, pois as florestas são submetidas a ciclos contínuos de exploração, sem que tenham tempo para se recuperarem. Apesar do manejo florestal sustentável exercer, em teoria, menor impacto na floresta do que a exploração predatória, este tipo de exploração pode ser observado a partir de alterações estruturais da floresta por meio de imagens de satélite, que possibilitam realizar seu mapeamento, definir a intensidade da exploração e quantificar a área.

### **2.3.3. FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL**

Dentre as unidades reconhecidas nos mosaicos da paisagem, estão as manchas, definidas como áreas relativamente homogêneas, não lineares, que se distinguem das unidades vizinhas. No contexto deste estudo, as manchas da paisagem referem-se aos fragmentos florestais presentes na paisagem. A fragmentação da paisagem é um processo de ruptura da continuidade de uma paisagem a partir da subdivisão em manchas ou no caso deste estudo, de fragmentos florestais, provocada por perturbações externas, na maioria das vezes antrópicas, como o



desmatamento, o fogo, inundações, etc. (Forman, 1995; Metzger, 2001). Como efeito da fragmentação florestal há um aumento da área de bordas, redução da conectividade e isolamento dos fragmentos florestais.

Os fragmentos, conectados ou não, criam zonas de contato, conhecidas como bordas (FORMAN e GODRON, 1986; FORMAN, 1995) que representam a transição entre um fragmento e outro elemento da paisagem com um tipo diferente de cobertura da terra. Esta transição gera o chamado efeito de borda que produz um microclima diferenciado e altera a composição e/ou a abundância relativa das espécies na parte mais externa do fragmento florestal (FORMAN e GODRON, 1986).

Grande parte da degradação florestal na Amazônia é causada devido a processos de fragmentação florestal que amplia o efeito de borda, no qual o microclima é modificado devido às mudanças de iluminação, elevando as chances de ocorrer mortalidade de árvores (LAURANCE et al., 1998). A alteração no microclima e na disponibilidade de luz proporciona o desenvolvimento de um ambiente que favorece o estabelecimento de espécies pioneiras e gramíneas, ocasionando a alteração da composição florística. Com novas espécies presentes, há alteração da qualidade e quantidade de serapilheira e, portanto, modificação na ciclagem de nutrientes (SIZER et al., 2000; KELLER et al., 2004; NASCIMENTO e LAURANCE, 2006). Estes efeitos são maximizados quanto menor e mais recortado for o fragmento florestal (FAHRIG, 2003).

Como efeito final, assim como ocorre nas florestas queimadas, os fragmentos se tornam mais “inflamáveis”, visto que apresentam grande quantidade de espécies que favorecem a propagação do fogo. Essa sinergia entre os dois fenômenos (fragmentação florestal e fogo florestal) intensifica a degradação florestal. Além do efeito de borda, o processo de fragmentação aumenta o isolamento dos fragmentos florestais, a reduzindo a conectividade entre eles, levando a perda de *habitat*, e aumentando a vulnerabilidade das populações a extinções locais. Com isso, ocorre o desaparecimento de espécies importantes para os processos ecológicos locais,

que podem afetar a perpetuação das espécies vegetais (FAHRIG, 2003; HADLEY e BETTS, 2011) e a integridade dos fragmentos florestais remanescentes.

#### **2.3.4. PADRÕES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL**

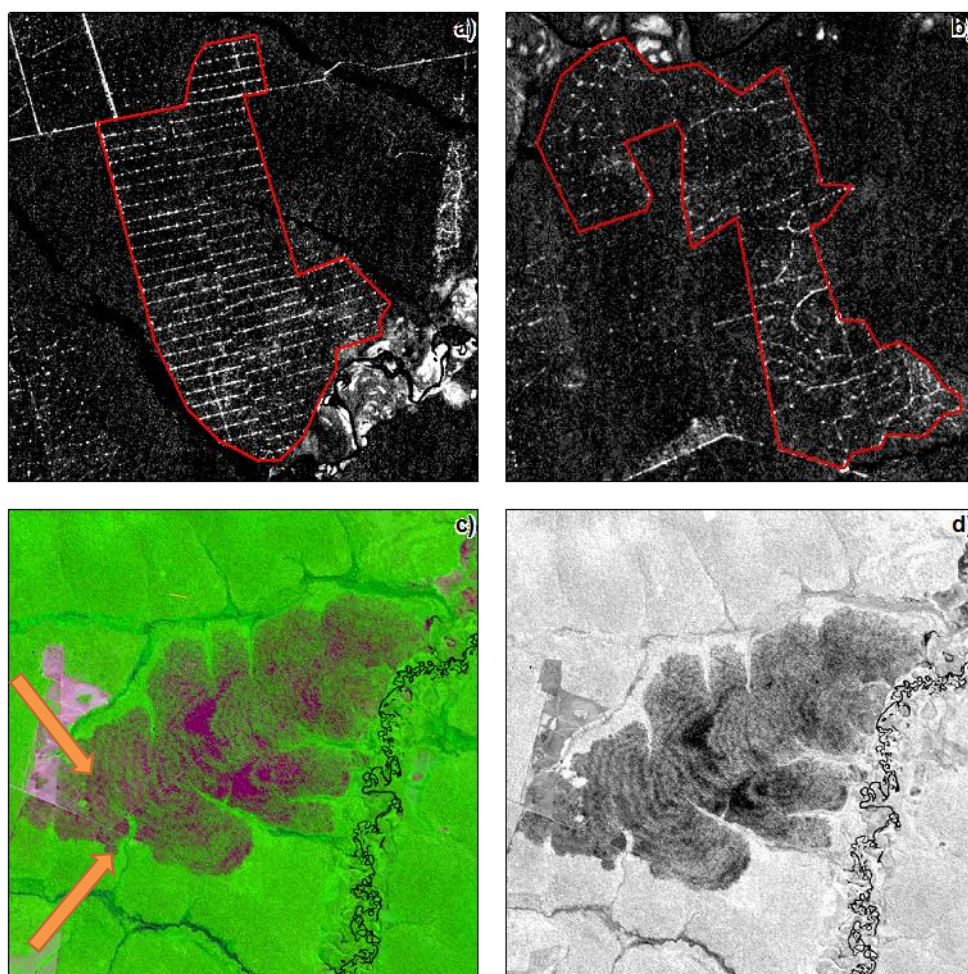
O conceito de padrão pode ser definido como a capacidade de reconhecimento de atributos comuns que podem ser utilizados como referenciais ou modelos (BORRALHO et al., 2007). Padrões podem ser reconhecidos através da observação em campo de parâmetros qualitativos e/ou quantitativos da área estudada quando se analisa a riqueza florística, mudanças de estrutura e densidade de indivíduos e de espécies, por exemplo.

Esses fatores nem sempre podem ser observados quando se estuda degradação florestal em larga escala via sensoriamento remoto orbital, pois muitos dos sensores orbitais não são capazes de detectá-los (GERWING e VIDAL, 2002; ASNER et al., 2005; PERES et al., 2006; INPE, 2008). Quando são utilizados dados de sensoriamento remoto, a detecção de padrões é normalmente feita através da análise de atributos espaciais e espectrais dos alvos (MONTEIRO et al., 2003; MONTEIRO; et al., 2007; SAITO et al., 2011). A exploração de madeira, por exemplo, apresenta padrões espaciais bem característicos quando observada em imagens de satélite de média resolução. Os pátios de estocagem apresentam-se como manchas regulares ou irregulares, podendo estar ligadas ou não por estradas (GRAÇA, 2004). Além deste padrão espacial, a exploração seletiva apresenta um padrão espectral também característico, graças à presença de alguns elementos típicos da exploração, tais como pátios de estocagem e estradas abertas no meio da floresta (PINAGÉ, 2013).

Esses elementos gerados devido à remoção da vegetação, deixa o solo exposto, tornando possível diferenciá-los da vegetação devido às diferenças entre a resposta espectral da vegetação e do solo. Nas bandas 1, 2, 3 (região do visível, 450 a 690 nm), 5 e 7 (infravermelho médio, 1.550 a 2.350 nm) do sensor TM, por exemplo, os dosséis vegetais apresentam tons mais escuros (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010) do que o solo, que por sua vez aparece em coloração

mais clara, conforme mostrado na Figura 2.1(a e b). Essa diferença na coloração ocorre pelo fato de haver maior absorção da energia eletromagnética na região do visível por parte dos pigmentos fotossintetizantes. Na faixa espectral que compreende o infravermelho médio, a alteração das cores observadas na imagem é resultado da combinação da absorção da energia eletromagnética com a água presente no dossel vegetal (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010).

Figura 2.1 – Padrões de degradação florestal mostrados em imagens Landsat/TM, composição colorida RGB/345: a) padrão de exploração florestal por Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) observado na banda 5 do TM. b) exploração seletiva predatória também observada na banda 5 do TM. c) padrão de fogo florestal observado em composição colorida RGB/345 do TM. O padrão concêntrico e as faixas de vegetação em verde estão apontados pelas setas. d) padrão de fogo florestal observado na banda 4 do TM.



Fonte: Produção do autor.

A análise da Figura 2.1 permite observar alguns padrões de degradação florestal. Na exploração seletiva realizada através de PMFS, observa-se que os pátios de estocagem de madeira interligados pelas estradas apresentam uma configuração espacial regular (Figura 2.1a), diferente do que ocorre na exploração predatória (Figura 2.1b), onde não existe padrão regular na distribuição espacial dos pátios e estradas.

Ainda de acordo com a Figura 2.1, nas composições coloridas 345 do Landsat/TM, por exemplo, a cicatriz de fogo florestal apresenta padrão espectral róseo com faixas de vegetação de coloração verde (Figura 2.1c). Vasconcelos et al., (2013) e Graça (2004) destacam que as cicatrizes de fogo florestal apresentam padrão espacial em faixas circulares concêntricas, padrão evidenciado em imagens na região do infravermelho próximo (760 a 900 nm). Nesta região espectral, a cicatriz de fogo florestal apresenta tons mais escuros que o solo exposto e a vegetação, tornando possível detectá-la, com mostrado na Figura 2.1d.

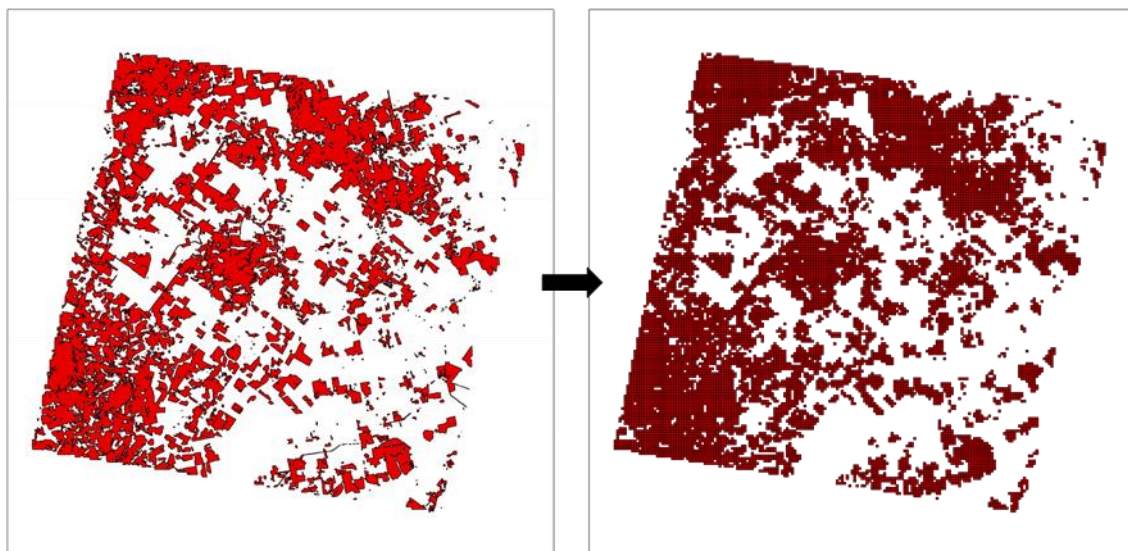
A definição e a identificação de padrões de degradação florestal têm sido utilizadas para diferenciar a intensidade de degradação florestal, qualificar e avaliar planos de manejo florestal, estimar a idade de exploração madeireira e diferenciá-las (MONTEIRO et al., 2003; SOUZA et al., 2005; MONTEIRO; SOUZA, 2012). Estudos envolvendo a definição e a identificação de padrões de degradação florestal também são utilizados para avaliar a regeneração natural da floresta, mostrando que no período de 2-3 anos alguns níveis de degradação tornam-se indetectáveis via sensoriamento remoto (MATRICARDI et al., 2010).

Muitos trabalhos com objetivo de identificar padrões de degradação têm sido realizados, dentre os quais podem ser citados o de Souza Jr. et al. (2005), que propôs um índice de vegetação associado a um algoritmo de classificação contextual para mapeamento da degradação florestal na região de Sinop, estado de Mato Grosso. A partir de NDFI (*Normalized Difference Fraction Index*) foram identificadas as alterações no dossel florestal, as quais foram mapeadas e classificadas com o algoritmo CCA (*Contextual Classification Algorithm*). A avaliação do método foi

realizada a partir da comparação com dados de campo e a acurácia obtida foi de 94 %. Os autores destacam que a principal vantagem desse método é sua total automatização e que, portanto, pode ser utilizado como uma eficaz e rápida ferramenta para monitoramento de florestas.

Sato et al. (2011) e Pinheiro e Escada (2013) utilizaram a abordagem celular para reconhecimento de padrões de degradação florestal. Nesta abordagem, o conjunto de polígonos que representa as áreas degradadas é delimitado por células em grade regular. As células podem ser vistas como polígonos às quais são associados atributos não espaciais calculados a partir de dados vetoriais e/ou matriciais. Em geral, a representação celular é utilizada para homogeneizar e integrar informações provenientes de diferentes fontes em uma mesma base de dados espaço-temporais (INPE, 2010). Um exemplo de representação de polígonos em um plano celular por ser visto na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Exemplo de representação de um dado temático vetorial (polígonos de desmatamento) em plano celular a partir da função “porcentagem da classe”. A área desmatada é mostrada em vermelho, as demais classes de cobertura, em branco. Nesta função, toda célula que contiver um polígono, ou parte dele, será preenchida com a valor da área do polígono que se sobrepõe à célula.



Fonte: Produção do autor.

A abordagem celular tem a vantagem de possibilitar a utilização de métricas para descrever a estrutura da paisagem e seu contexto e, assim, representar os padrões. Entretanto, a definição da resolução da célula é feita, em geral, de maneira empírica e deve levar em conta o tamanho dos objetos de interesse (SATO et al., 2011).

Existem ferramentas que auxiliam a extração, identificação e classificação de padrões. Técnicas de mineração de dados são utilizadas para classificar padrões que possam ser compreendidos e interpretados pelo usuário. O *Geographical Data Mining Analyst* (GeoDMA) é um dos sistemas de extração e reconhecimento de padrões realizados a partir de dados espaciais baseados em métricas oriundas da ecologia da paisagem (KÖRTING et al., 2008; PINHEIRO, 2015). O GeoDMA integra ferramentas de análise de imagens, métricas da paisagem e de mineração de dados. O sistema baseia-se na metodologia proposta por Silva et al. (2008) para identificar padrões de desmatamento na Amazônia. O GeoDMA é um *plug-in* do *software* TerraView, que fornece ao usuário uma interface de visualização de dados geográficos armazenados em um banco de dados (KÖRTING et al., 2008).

Alguns estudos utilizaram o GeoDMA como ferramenta para análise de dados espaciais. Gavlak (2011) empregou o GeoDMA na análise da dinâmica da cobertura da terra em regiões de fronteira agropecuária em diferentes estágios. Dal'Asta et al. (2011) analisaram a evolução da estrutura espacial urbana e das terras agrícolas. Saito (2011) utilizou o GeoDMA no reconhecimento de padrões de desmatamento associados aos tipos de ocupação na Amazônia. Pinheiro (2015) e Azeredo et al. (2016) utilizaram esse sistema para estabelecer padrões espaciais e trajetórias da degradação florestal nos Estados do Mato Grosso e Pará.

#### **2.4. SENSORIAMENTO REMOTO PARA A DETECÇÃO DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL**

A degradação florestal é um processo de alteração na vegetação original. Essas alterações geram mudanças que podem ser detectadas via sensoriamento remoto. A detecção de mudanças pode ser entendida como o processo de identificação de diferenças no estado de um determinado objeto ou fenômeno

observado em diferentes épocas. Essas diferenças podem resultar em modificação do tipo de cobertura ou apenas alterar suas características, sem modificar sua classificação (SINGH, 1989).

Os principais dados de sensores remotos utilizados na detecção de mudanças são as imagens de satélite. Sensores de média resolução espacial têm sido amplamente utilizados para detecção de degradação florestal por fogo e exploração seletiva em larga escala. Inúmeros estudos com imagens dos sensores Landsat (TM e ETM+) foram realizados, apresentando melhor relação custo/benefício para a execução de trabalhos relacionados a essa temática, considerando características como a resolução espacial, temporal e o grande acervo de dados produzidos e com disponibilidade gratuita (MATRICARDI et al., 2010; PINHEIRO, 2015). Contudo, Matricardi et al. (2010) destacam que há limitações quanto ao uso desses sensores, pois, como mencionado anteriormente, no período de 2-3 anos alguns níveis de degradação tornam-se indetectáveis, o que evidencia a necessidade da realização de mapeamentos anuais quando se estuda o processo de degradação florestal.

## **2.5. SISTEMAS DE MONITORAMENTO DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

O programa de monitoramento da Amazônia por sensoriamento remoto é realizado desde 1988 pelo INPE, através do PRODES. O PRODES fornece as taxas anuais de desmatamento estimadas através do incremento de desmatamento identificado em cada imagem de satélites que cobrem a Amazônia Legal (INPE, 2008).

No PRODES, utilizam-se predominantemente imagens de satélite do programa americano Landsat, além das imagens do programa sino-brasileiro CBER-2, CBERS-2b, do programa indiano Resourcesat-1 e do inglês UK-DMC2. Com essas imagens, a área mínima mapeada no PRODES é de 6,25 hectares (INPE, 2015). A partir de 2003, os dados do PRODES passaram a ser gerados digitalmente (PRODES Digital). Também nesse ano, foi criado pelo INPE o banco de dados

geográficos da Amazônia Brasileira-BADDAM, com dados englobando classes temáticas mapeadas por meio de imagens Landsat/TM e, posteriormente, migrado para o TerraAmazon. O ano base de início do PRODES Digital foi o ano de 1997. Até então, o mapeamento temático era realizado através de interpretação visual (analógico) das áreas desmatadas (INPE, 2003).

O processo de desmatamento da Amazônia não é homogêneo, variando ao longo do espaço e do tempo. Dados do INPE estimam que até 2016 a área desmatada na Amazônia, mapeada pelo PRODES, foi de 421,8 mil km<sup>2</sup>, o equivalente a 18% do total da área da Amazônia Legal (INPE, 2016). No entanto, apenas esses dados não são suficientes para o governo promover ações de fiscalização e controle em virtude do tempo que levam para serem produzidos e por fornecerem estimativas apenas de corte raso. Em decorrência disso, em 2004, o INPE desenvolveu o DETER (Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real) para atender ao Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal- PPCDAm (INPE, 2008).

O sistema DETER fornece a localização e a dimensão aproximada de novas ocorrências de desmatamento e degradação florestal para auxiliar a fiscalização. Diferentemente do PRODES, o DETER, inclui em seu mapeamento tanto os desmatamentos por corte raso quanto as ocorrências de degradação florestal. Para obter maior rapidez na detecção, o sistema DETER faz uso de dados de sensores com resolução temporal mais fina, porém, com baixa resolução espacial. Em virtude disso, as medidas de área do DETER são menos precisas do que as do PRODES (INPE 2008).

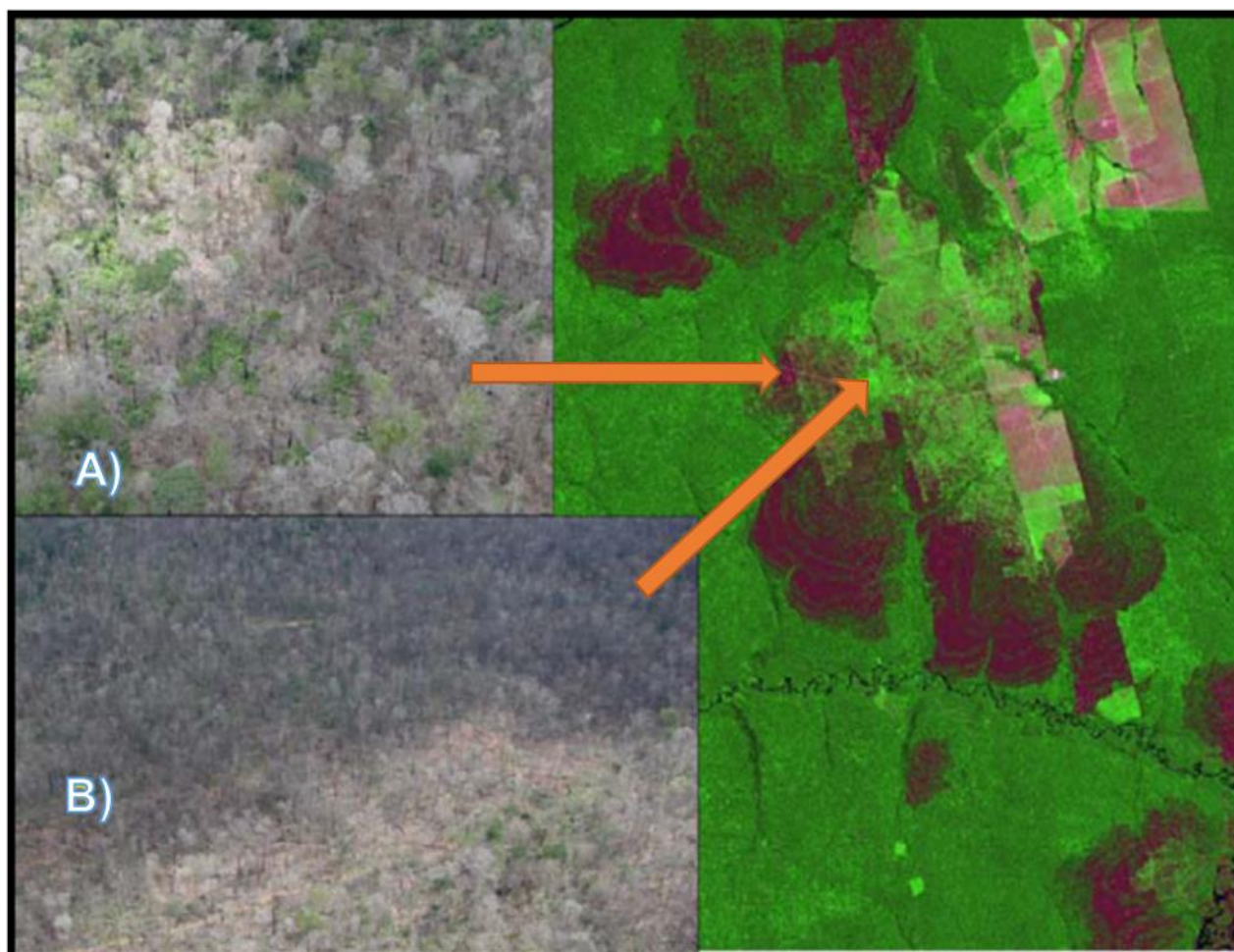
Em 2008, o INPE desenvolveu o DEGRAD e o DETEX em função das várias ocorrências de degradação florestal indicadas pelo sistema DETER. O DETEX é o Sistema de Detecção de Exploração Madeireira de áreas de concessão florestal da Amazônia, baseado na utilização de Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para localizar tanto os pátios de estocagem quanto áreas exploradas (SATO et al., 2011). O DEGRAD possui o objetivo de mapear as



áreas em processo de degradação com imagens Landsat e CBERS, nas quais a cobertura florestal não foi totalmente removida. Assim como no PRODES, a área mínima mapeada pelo DEGRAD é de 6,25 hectares (INPE, 2008).

O processo de geração dos dados do DEGRAD consiste em preparar as imagens de satélite aplicando realces de contraste para destacar as evidências de degradação florestal. Este processo permite identificar padrões de degradação florestal oriundos de exploração seletiva de madeira e de fogo florestal, como os apresentados nas Figuras 2.3 e 2.4, respectivamente. (INPE, 2008).

Figura 2.3 – Padrões de degradação florestal por fogo florestal detectados pelo sistema DEGRAD. A) área queimada em 2007. B) área alvo de incêndios recorrentes, considerada como desmatamento.



Fonte: INPE (2008).

Figura 2.4 – Padrões de degradação florestal por exploração seletiva, detectados pelo sistema DEGRAD. A) degradação de intensidade moderada, área em regeneração após a exploração madeireira. B) degradação de intensidade alta, com exploração madeireira ativa. C) degradação de intensidade leve.



Fonte: INPE (2008).

Todos esses sistemas do Programas de Monitoramento de Florestas da Amazônia brasileira desenvolvidos pelo INPE, fazem parte do PPCDAm do governo federal. Com exceção do PRODES, que já realizava o monitoramento da floresta desde a década de 80, a criação desses sistemas contribuiu de maneira significativa com o progresso das políticas públicas e das ações de redução do desmatamento da Amazônia (INPE, 2008; MMA, 2013).

O PPCDAm tem como principal objetivo a redução do desmatamento na Amazônia. Está embasado em três eixos principais de ação: ordenamento fundiário e territorial, monitoramento e controle ambiental e fomento às atividades produtivas sustentáveis. Esse programa foi instituído por meio do

Grupo Permanente de Trabalho Interministerial (GPTI), lançado em 2004 (MMA, 2013), e está ativo até o presente.

Além desses sistemas, estudos em paralelos têm sido realizados para identificar e mapear a degradação florestal a fim de contribuir com a discussão deste fenômeno. Dentre esses estudos, é destacado o trabalho de Pinheiro (2015), que ao estabelecer trajetórias de intensidade de degradação florestal, realizou a identificação e mapeamento dos padrões espaciais dos elementos que originam a degradação florestal, tais como cicatriz de fogo florestal, trilhas e ramais de arraste e pátios de estocagem de madeira. As técnicas empregadas pela autora no mapeamento e classificação da degradação serão detalhadas nas seções seguintes, pois fazem parte do conjunto de procedimentos metodológicos utilizados neste estudo.

### **2.5.1. METODOLOGIA E TÉCNICAS PARA DETECÇÃO DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA: ESTUDO DE TRAJETÓRIAS EM NOVO PROGRESSO E SINOP**

O estudo desenvolvido por Pinheiro (2015) mostra a aplicação de técnicas para detecção e identificação de padrões de degradação florestal nas regiões dos municípios de Novo Progresso, no Sudoeste do Pará, e Sinop, no estado de Mato Grosso. No presente trabalho, a metodologia proposta pela autora foi replicada e, por essa razão, os procedimentos metodológicos adotados são descritos de forma mais detalhada nas seções seguintes.

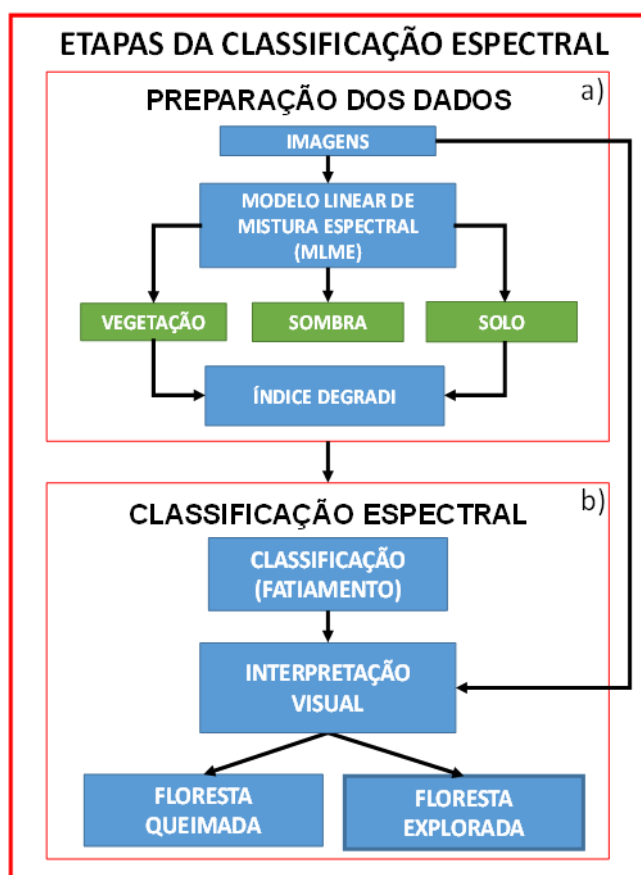
Os procedimentos metodológicos adotados no estudo de Pinheiro (2015) podem ser divididos em duas etapas: uma de classificação espectral e outra de classificação estrutural. Na primeira etapa, identificou-se a floresta degradada baseada em atributos espectrais, mapeando-se feições relativas à exploração seletiva e ao fogo florestal. Na segunda (classificação estrutural), utilizaram-se atributos espaciais tais como forma, tamanho e arranjo espacial das feições que compõem a classe floresta degradada. Nesta etapa, a classificação foi realizada a

partir de células de 1 km<sup>2</sup> de resolução espacial, e baseia-se em uma tipologia de padrões de degradação florestal.

### 2.5.1.1. CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL

O mapeamento da classe de cobertura *floresta degradada* foi realizado por Pinheiro (2015) utilizando técnicas de classificação digital de imagens TM/Landsat. Neste mapeamento, foram considerados elementos que caracterizam essa classe de cobertura tais como: a presença de cicatriz de fogo florestal, trilhas de arraste e pátios de estocagem. Utilizou-se a técnica de classificação supervisionada *pixel a pixel* (empregando método de fatiamento, semelhante ao método Paralelepípedo). Na Figura 2.5, são apresentados os principais passos dessa etapa.

Figura 2.5 – Fluxograma da metodologia de Pinheiro (2015) para classificação espectral da classe de cobertura *floresta degradada*.



Fonte: Adaptado de Pinheiro (2015).

Conforme a Figura 2.5, antes da realização da classificação propriamente dita, foi empregado o modelo linear de mistura espectral (MLME) para decompor as bandas originais do sensor TM/Landsat em imagens fração solo, vegetação e água/sombra. A decomposição das bandas originais em imagens fração tem com objetivo de estimar a proporção dos componentes presentes em cada *pixel* baseado nas assinaturas espectrais dos *pixels* puros (SHIMABUKURO e SMITH, 1991).

Três bandas, vermelho ( $\lambda=630 - 690$  nm), infravermelho próximo ( $\lambda=760 - 900$  nm) e infravermelho médio ( $\lambda=1,550 - 1,750$  nm) do sensor TM/Landsat foram utilizadas no MLME para separação das três frações: solo, sombra e vegetação. Os *pixels* puros foram obtidos diretamente da imagem e as respectivas assinaturas espectrais foram comparadas às curvas de reflectância espectral típicas dos três componentes. Os *pixels* representativos de solo, vegetação e água/sombra foram coletados em estradas, em pastagens fossinteticamente ativas/cultivos agrícolas e corpos d'água sem sedimentos, respectivamente. Este processo foi feito para cada uma das 27 imagens do período de 1984 a 2011.

Para realçar os fatores geradores da degradação florestal (cicatriz de fogo florestal e extração seletiva), foi gerada uma imagem índice, denominada pela autora como índice DEGRADI. Este índice é espectralmente sensível à degradação florestal e utiliza uma relação entre as imagens-fração solo e vegetação do MLME, dada por:

$$DEGRADI = G*(IS / IV)+Off \quad (2.1)$$

onde *DEGRADI* é o Índice Espectral de Degradação Florestal, *G* é o ganho (fator multiplicativo, geralmente utilizado para realçar diferenças espectrais entre imagens), *IS* é a imagem fração solo, *IV* é a imagem fração vegetação e *Off* é o *offset* (fator aditivo, geralmente empregado para realçar similaridades entre bandas ou imagens diferentes). Os valores de ganho e *offset* foram aplicados empiricamente e de forma interativa para maximizar a visibilidade dos elementos da imagem.

Este índice é o mesmo utilizado no sistema de monitoramento da degradação floresta na Amazônia do INPE, o DEGRAD. O índice é baseado no pressuposto de que o alto contraste espectral entre as imagens fração solo e vegetação destaca e facilita a detecção dos principais descritores da extração seletiva de madeira e do fogo florestal (PINHEIRO, 2015).

As imagens índice DEGRADI foram submetidas à classificação por meio de fatiamento, utilizando limiares definidos empiricamente para cada ano (imagem). Como resultado, obteve-se o mapeamento temático da classe *floresta degradada*, que incorpora áreas de ocorrência de fogo florestal e de floresta explorada por corte seletivo de madeira.

Para a distinção das categorias *floresta queimada* e *floresta explorada*, pertencentes à classe *floresta degradada*, realizou-se interpretação visual baseando-se nos aspectos espaciais de cada categoria. Para a identificação da categoria *floresta queimada*, por exemplo, foram utilizadas as características das cicatrizes de fogo florestal que são, em geral, faixas brilhantes de forma aproximadamente circular. As faixas se formam com a propagação do fogo no sentido da vegetação em chamas para a vegetação que ainda não queimou (GRAÇA, 2004; ALMEIDA; MACAU, 2011; VASCONCELOS et al., 2013). A diferenciação/separação da categoria *floresta queimada* da categoria *floresta explorada* ocorreu para que fossem separados os padrões de alta intensidade de degradação causada por exploração seletiva e o padrão de alta intensidade de degradação florestal causada exclusivamente por fogo florestal, conforme mostrado na Seção 2.4, Figura 2.1.

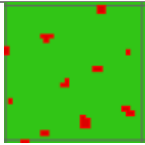

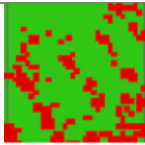
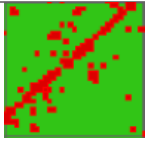

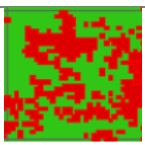
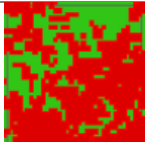
O cálculo da extensão de degradação florestal foi realizado por meio do plano celular e foi realizado a partir do método proposto por Matricardi et al. (2005). Este método se propõe contabilizar a extensão total de área ou da célula com degradação florestal no período avaliado. Por meio de uma operação lógica de União, cada área é contabilizada apenas uma vez, mesmo que a área ou parte dela tenha sido mapeada diversas vezes como degradação florestal durante o período

de análise. O uso deste método impede a superestimação da área degradada, pois, diferentemente do desmatamento por corte raso, que ocorre apenas uma vez, a degradação florestal se caracteriza pela recorrência de eventos em um mesmo local, o que resultaria no mapeamento da mesma área por vários anos consecutivos. Assim, a estimativa da extensão total da degradação florestal durante o período estudado por Pinheiro (2015) constituiu-se a partir da união do dado anual de degradação florestal, desconsiderando eventuais sobreposições.

#### **2.5.1.2. CLASSIFICAÇÃO ESTRUTURAL DE PADRÕES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL**

Na fase da classificação estrutural dos padrões de degradação florestal foi proposta pela autora uma tipologia de padrões de degradação florestal que pode ser observada na Figura 2.6. Esta tipologia baseia-se em células de dimensões de 1x1 km, cujo tamanho foi definido empiricamente, considerando parâmetros como área mínima dos pátios de estocagem e a distância mínima entre eles. A definição da dimensão das células em 1km<sup>2</sup> também levou em consideração o tamanho típico das unidades de manejo florestal, subdivisão proposta por Sabogal et al. (2000) para facilitar o manejo florestal e os bons resultados obtidos em estudos anteriores para analisar padrões de degradação florestal (SATO et al., 2011; PINHEIRO e ESCADA, 2013). Os valores associados aos padrões espaciais foram arbitrados e representam o índice de degradação florestal.

Figura 2.6 – Tipologia de padrões de degradação florestal proposta por Pinheiro (2015) para a órbita/ponto 226/068 do Landsat.

<b>Padrão espacial</b>	<b>Classe de intensidade de degradação florestal</b>	<b>Índice de degradação florestal</b>
	LFD1 – Degradação florestal por extração de madeira de baixa intensidade.	0,2
	LFD2 – Degradação florestal por extração de madeira de baixa intensidade: extração convencional. Pode estar associada ao fogo florestal.	0,3
	MFD1 – Degradação florestal por extração de madeira de intensidade moderada. Extração madeireira em andamento.	0,4
	MFD3 – Degradação florestal por extração de madeira de intensidade moderada. Representa o início das operações madeireiras.	0,5
	MFD2 – Degradação florestal por extração de madeira de intensidade moderada: extração convencional. Fogo florestal pode estar associado.	0,6
	HFD1 – Degradação florestal por extração florestal de intensidade alta.	0,7
	HFD2 – Degradação florestal por fogo florestal.	0,9

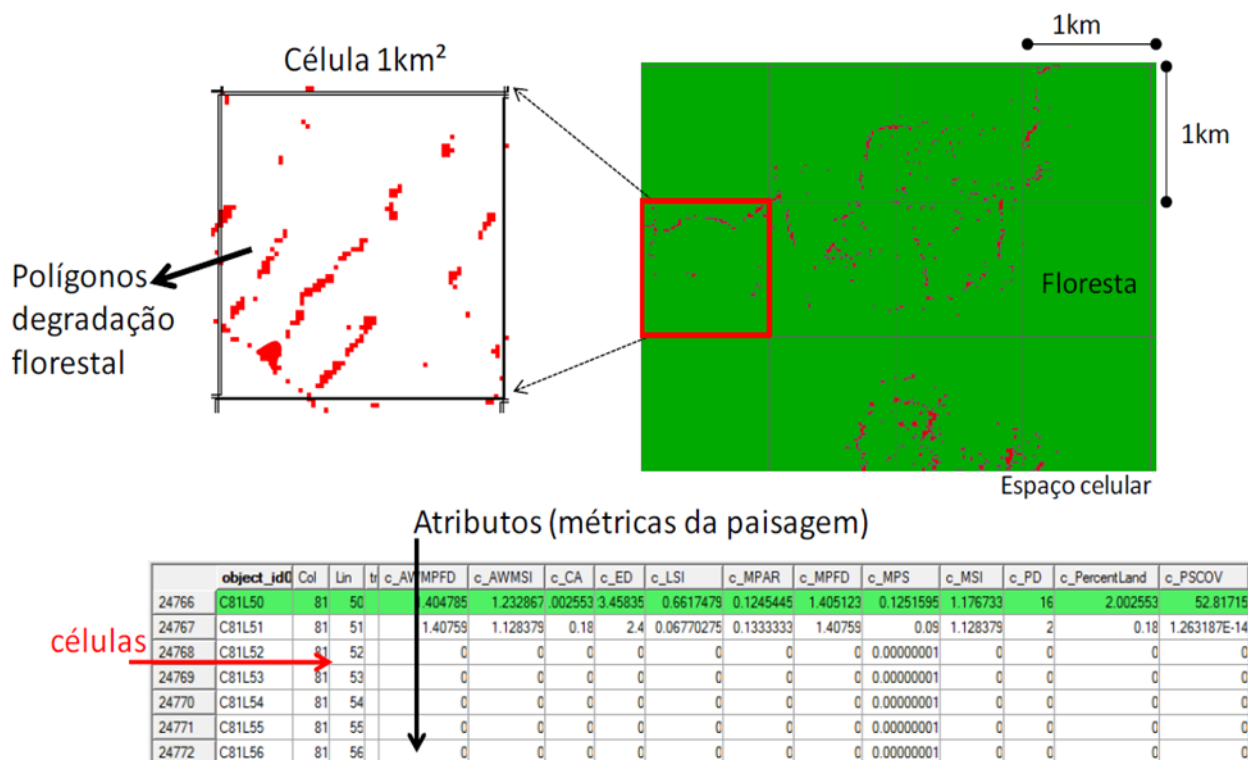
Fonte: Adaptado de Pinheiro (2015).

Após a definição da tipologia, foi utilizado o GeoDMA (Körting, 2008) para realizar a classificação de padrões de degradação. O sistema possibilita extrair atributos estruturais dos polígonos delimitados por células, a partir do uso de



métricas da paisagem. Esses atributos foram empregados para classificar padrões de degradação florestal por meio de técnicas de mineração de dados. No trabalho de Pinheiro (2015), os dados de entrada no GeoDMA foram os polígonos de classes indicativas de degradação florestal (pátios de estoque, estradas principais e secundárias e trilhas de arraste) obtidos na fase da classificação espectral. Estes polígonos foram agregados em células, possibilitando o reconhecimento dos padrões associados à intensidade de degradação florestal. A Figura 2.7 mostra as métricas de paisagem extraídas para um plano celular para definição das métricas de paisagem utilizadas na árvore de decisão.

Figura 2.7 – Classificação de padrões de degradação florestal com GeoDMA em plano celular. Nesta figura, são apresentados o espaço celular (de 1km<sup>2</sup>) e uma tabela de atributos associada às células. A tabela de atributos contém as informações do plano celular como a localização da célula (representada pelas colunas Col e Lin), e as informações das métricas de paisagem (c\_CA, c\_ED, c\_LSI, por exemplo), extraídas com o GeoDMA.

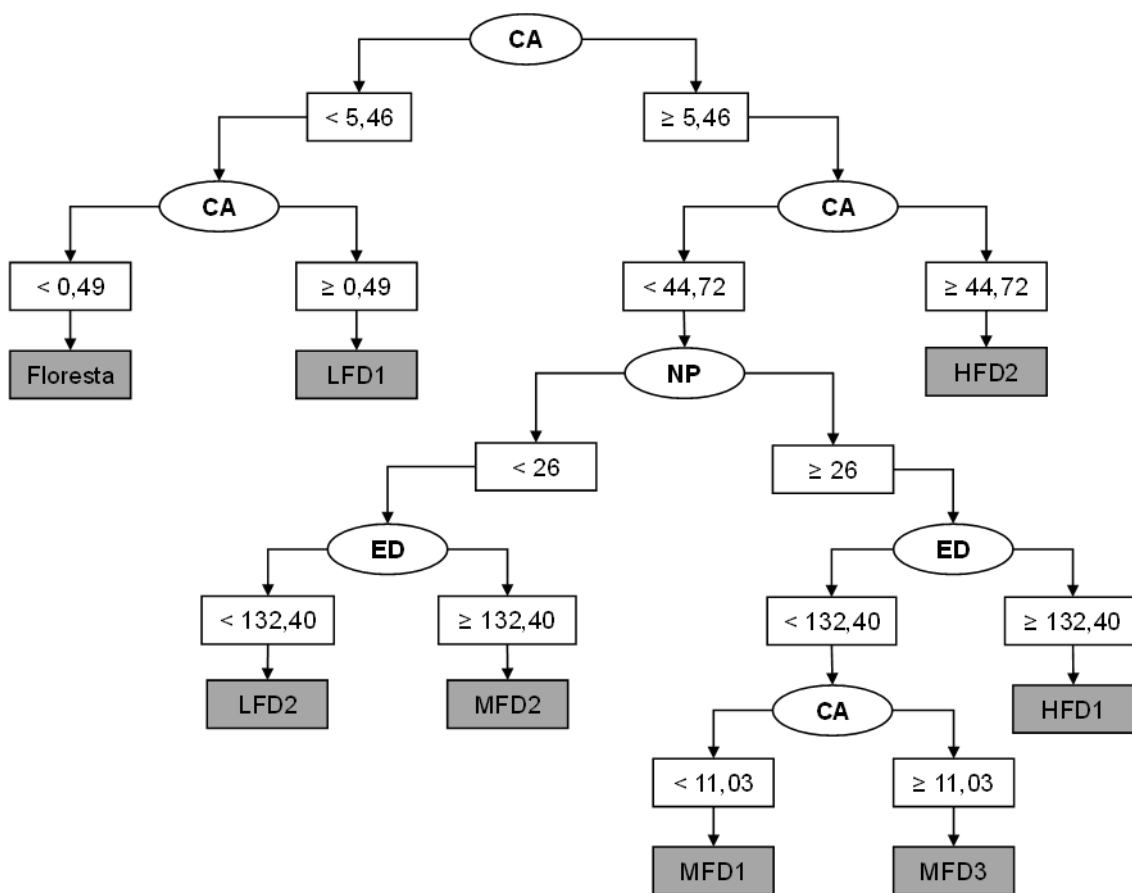


Fonte: Pinheiro (2015).

Na Figura 2.7, observa-se o plano celular e os polígonos das classes indicativas de degradação florestal. As métricas de paisagem foram calculadas para cada célula. Para selecionar as métricas que compõem a árvore de decisão, o GeoDMA utiliza uma medida de entropia baseada na teoria da informação que permite selecionar os atributos que melhor discriminam as classes. O primeiro atributo (métrica) será aquele que possuir mais informação, chamado de nó-raiz, seguido dos outros que possuem uma menor medida de entropia (KÖRTING, 2012). Cada linha da tabela da Figura 2.7 representa uma célula e as colunas representam as métricas da paisagem calculadas para cada célula. As métricas de paisagem extraídas dos polígonos indicadores de degradação florestal representam atributos espaciais que descrevem a classe *floresta degradada* e seus diferentes níveis de intensidade.

A partir da extração dos atributos das células, foi realizada a classificação dos padrões por meio de técnica de mineração de dados. Para isso, foi criado um conjunto de amostras de treinamento e de células de referência (amostras teste) para os padrões espaciais previamente estabelecidos. O classificador, por meio de uma árvore de decisão, associou os padrões encontrados ao conjunto de referência baseado no algoritmo C4.5 (QUINLAN, 1993), classificando-os. A Figura 2.8 mostra a árvore de decisão de Pinheiro (2015), utilizada para classificação dos padrões de degradação florestal no município de Sinop, estado de Mato Grosso.

Figura 2.8 – Árvore de decisão para a classificação de padrões espaciais de degradação florestal em Sinop, Mato Grosso. As métricas de paisagem são: CA (*Class Area*) área da classe em hectares; ED (*Edge Density*), densidade de borda (razão entre o somatório de todas as bordas da classe pela área total em hectares); NP (*Number of Patches*), número de manchas. Os padrões espaciais são: LFD1: degradação florestal de intensidade baixa; LFD2: degradação florestal de intensidade baixa; MFD1: degradação florestal de intensidade moderada; MFD2: degradação florestal de intensidade moderada; MFD3: degradação florestal de intensidade moderada; HFD1: degradação florestal de intensidade alta; HFD2: degradação florestal de intensidade alta.



Fonte: Pinheiro (2015).

Como mostrada na Figura 2.8, a métrica *área da classe* (CA), inicialmente, separou a classe *floresta* da *LFD1* e também distinguiu o padrão de degradação de alta intensidade *HFD2* dos demais padrões. No último nível da árvore de decisão, é observada a separação dos níveis intermediários de degradação (*MFD2* e *MFD3*), feita pelas métricas *área da classe* (CA) e *densidade de borda* (ED).

Para avaliação da classificação, foi utilizado um conjunto de amostras aleatoriamente selecionadas (100 amostras para cada padrão de degradação florestal). Esta classificação foi feita por um fotointérprete independente, sendo utilizados como referência o arranjo espacial e os atributos descritos na tipologia. Posteriormente, as classificações foram avaliadas por meio de matriz de confusão, que possibilitou estimar a exatidão total, os erros de comissão e omissão e o índice Kappa.

## **2.6. FATORES QUE CONDICIONAM A DEGRADAÇÃO FLORESTAL E O EMPREGO DE MODELOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIADOS**

Conforme visto anteriormente, a degradação florestal é um processo lento e gradual que ocasiona a perda da cobertura florestal e é causada principalmente por eventos de extração de madeira e por ocorrência de incêndios florestais, (INPE, 2008). Estudar os fatores e as variáveis envolvidas neste processo pode auxiliar na construção de modelos que ajudam na compreensão dos impactos causados pela ocupação do homem sobre a floresta.

De acordo com Escada et al. (2005), a caracterização e o mapeamento do uso da terra são fases importantes para intermediar a construção de modelos com base nos reais processos, considerando que as alterações da paisagem não ocorrem de maneira uniforme no espaço. Os modelos de regressão são importantes ferramentas para estudar determinados fenômenos, pois permitem sua modelagem por meio da adição e remoção de variáveis e, posteriormente, tornam possível a identificação daquelas variáveis e fatores que mais explicam sua ocorrência (BALIEIRO, 2008).

Estudos como os de Silva e Ribeiro (2004) e de Balieiro (2008) são exemplos do uso de modelos de regressão para analisar alterações da vegetação na Amazônia. Trancoso et al. (2007) avaliaram o processo de distribuição dos padrões de desflorestamento na Amazônia Legal empregando modelos de regressão. Caldas (2001) também utilizou um modelo de regressão a fim de explicar a relação entre a área total desmatada e as variáveis sócio demográficas.

Entretanto, existem poucos estudos que utilizam modelos de regressão para explicar os padrões de degradação florestal, como o desenvolvido por Matricardi et al., (2010) e Kury (2016). Matricardi et al. (2010) buscaram modelar a degradação florestal analisando o período de 1992 a 2004 para a região da cena que engloba a órbita/ponto 226/068 do TM/Landsat, na região de Sinop-MT. Kury (2016) modelou a degradação florestal ocorrida entre 2007 e 2012, para toda a extensão da Amazônia Legal brasileira com dados do DEGRAD (INPE, 2012). Embora os autores apresentem contribuições importantes para o entendimento da degradação na Amazônia brasileira, as análises ficaram restritas a intervalos de tempo definidos em função da existência do dado (Kury, 2016) ou sem considerar que a medida que a fronteira se expande e se consolida, os fatores que explicam esse fenômeno podem se modificar. Ainda que esses trabalhos, a partir dos modelos desenvolvidos, tenham levado a conclusão de que a degradação florestal ocorre de maneira heterogênea no espaço, não se pode afirmar, a partir de seus resultados, que este fenômeno apresenta comportamento heterogêneo no tempo, visto que as análises foram realizadas considerando curtos períodos de tempo.

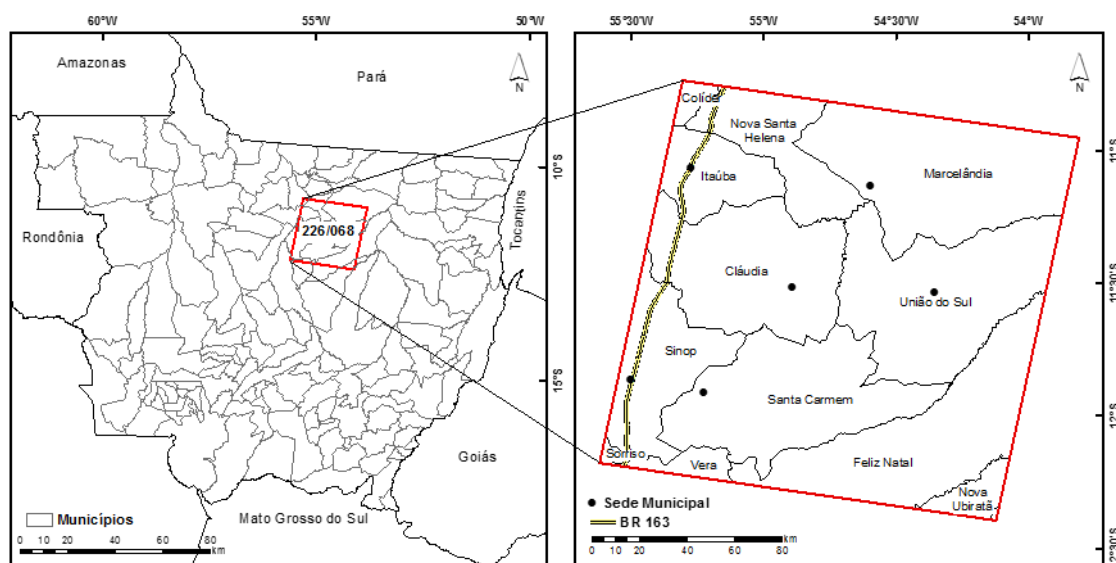
No corrente trabalho, foi realizada uma pesquisa sobre o histórico de ocupação da área de estudo e alguns marcos históricos foram estabelecidos, possibilitando definir diferentes temporalidades da fronteira de ocupação e verificar a partir de modelos de regressão estatística se os fatores que explicam a intensidade da degradação florestal e seus pesos, se modificam ao longo do tempo. No capítulo seguinte é feita a descrição da área de estudo e da história de ocupação da região, identificando os principais marcos que podem ter influenciado as atividades ligadas a exploração madeireira.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1. DESCRIÇÃO GERAL

A área objeto de estudo do presente trabalho se concentra na porção médio norte do estado de Mato Grosso, na qual está inserido o município de Sinop. De acordo com o IBGE (2016), este município possui extensão territorial de mais de 3.900 km<sup>2</sup> e, atualmente, possui uma população estimada em 129.916 habitantes. Juntamente com Sinop, os principais municípios localizados na área de estudo são Cláudia, Colíder, Feliz Natal, Itaúba, Marcelândia, Nova Santa Helena, Santa Carmem, Sinop, Sorriso, Terra Nova do Norte, União do Sul e Vera, conforme mostra a Figura 3.9. A maioria desses municípios surgiu após a década de 70, durante o período da construção da BR-163, reflexo da política do governo federal de ocupação da Amazônia (TEIXEIRA, 2006; BECKER, 1982).

Figura 3.1 – Área de estudo: cena que corresponde à órbita/ponto 226/068 do TM/Landsat.



Fonte: Produção do autor

De acordo com o IBGE (2016), cena 226/068 está inserida no bioma amazônico, e o clima da região é classificado como Equatorial e Tropical quente e úmido. O clima tropical se caracteriza por apresentar períodos de seca variando de três a quatro meses, enquanto o clima equatorial é úmido com uma estação seca que

dura mais ou menos 3 meses (geralmente de junho a setembro). As temperaturas médias são sempre superiores a 18° C em todos os meses.

A vegetação, de acordo com Lacerda-Filho (2004), é de floresta de transição entre floresta ombrófila densa e floresta estacional. Uma floresta de transição apresenta biomassa, densidade de árvores e de espécies menor que uma floresta densa. Embora Lacerda-Filho (2004) destaquem a predominância da tipologia de florestas, existe na área, de acordo com o RADAMBRASIL (1980), vegetação cerrado do tipo savana arborizada.

### **3.2. HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO**

Como já mencionado, o município de Sinop surgiu na década de 70, em decorrência da política de ocupação do governo federal. Para as considerações acerca do histórico de ocupação e desenvolvimento da região, feitas neste trabalho, foi utilizado como referencial o arcabouço teórico formado por Souza (1999), Souza (2004), Rosendo e Teixeira (2004), Teixeira (2006) e Ravache (2013).

A região, no início do processo de ocupação ocorrida a partir da década de 70, era inteiramente coberta por florestas, e a ocupação se deu por meio da retirada gradual da vegetação, com a utilização de corte raso. Sua ocupação foi fruto de um empreendimento de colonização particular, a Colonizadora Sinop S. A. (Sociedade Imobiliária do Noroeste Paranaense), com sede em Maringá – PR. A Colonizadora Sinop foi responsável por promover a colonização de toda uma região denominada de Gleba celeste, que reúne a área que hoje corresponde aos municípios de Sinop, Vera, Santa Carmem e Cláudia.

O núcleo urbano do município de Sinop foi fundado pela Colonizadora Sinop às margens da BR-163 (Cuiabá-Santarém), em 1974, a 500 km de Cuiabá, o que conferiu um posicionamento estratégico em relação aos demais núcleos urbanos não próximos à rodovia. Devido à posição estratégica, Sinop adquiriu certa primazia entre os demais núcleos urbanos originários da Gleba Celeste, passando a concentrar as atividades comerciais e de serviços. A maior parte dos

colonizadores da região de Sinop veio dos Estados do sul, atraída pela venda de lotes de terras ofertados pela colonizadora Sinop e pelos incentivos financeiros promovidos pelo Governo Federal através da SUDAM e SUDECO (Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste). Foi nesse período, que se estabeleceram as primeiras empresas madeireiras na região.

As principais atividades agrícolas desenvolvidas no início da ocupação foram o cultivo do café e do arroz, respectivamente, que fracassaram devido às condições edafoclimáticas desfavoráveis da região. Em meados de 1982, como alternativa ao insucesso do desenvolvimento dessas atividades, instalou-se na região, mediante à grandes incentivos fiscais e financeiros do governo federal, a Sinop Agroquímica (SAQ), uma usina que tinha como projeto a produção de álcool a partir da mandioca. Devido à falta de planejamento, de mercado consumidor a SAQ encerrou suas atividades em 1994, mesmo após a pavimentação do trecho Cuiabá-Sinop da BR-163 em 1988, que, em teoria, promoveria o aumento do escoamento da produção do álcool.

Paralela a essas atividades, a extração de madeira sempre se manteve na região e, no início da década de 90, transformou Sinop numa das cidades com maior número de indústrias do estado. A indústria madeireira manteve a economia da região aquecida desde o início da colonização, sobretudo durante os períodos em que as demais atividades econômicas fracassavam. As serrarias garantiam emprego para a população e havia abundância de matéria prima para se manterem em pleno funcionamento. Contudo, devido à diminuição dos estoques locais, as empresas do setor precisaram ir cada vez mais longe em busca da madeira havendo redução do crescimento do setor a partir de 1994. Muitas empresas fecharam ou se mudaram para regiões de maior disponibilidade de madeira. A Tabela 3.1 mostra a variação do número de empresas madeireiras na região de Sinop-MT nas primeiras décadas do surgimento da fronteira.



Tabela 3.1 – Número de empresas madeireiras instaladas em Sinop-MT.

<b>Anos</b>	<b>Nº de Madeireiras</b>	<b>Variação (%)</b>
1975	109	-
1982	602	452,3
1994	570	-5,31*
1997	428	-24,9*

\* O sinal negativo (-) expressa exclusivamente a redução das indústrias madeireiras.

Fonte: SOUZA (1999)

O panorama do setor florestal local só voltou a mudar após a chegada da rede de energia elétrica via linha de transmissão, em 1994. Este fato minimizou os custos da industrialização da madeira e impulsionou novamente o comércio de produtos florestais, atraindo novas indústrias para a região. Com os custos de produção mais baixos, a indústria madeireira teve condições de ampliar a área de exploração, buscando matéria prima cada vez mais longe, uma vez que os estoques locais já se encontravam estagnados, resultando em novo aumento da produção madeireira. O novo ritmo na produção da indústria madeireira propiciado pela chegada da eletricidade logo esgotou os novos estoques. Associado a isso, o início de uma fiscalização mais efetiva, promovida por uma legislação específica sobre as operações florestais, resultou em nova diminuição do número de indústrias madeireiras.

Concomitante com a dinâmica situação do setor florestal, a chegada do agronegócio, a partir de 1995, representou um importante fator para o desenvolvimento local. O avanço da soja, principalmente sobre áreas de cultivo de mandioca e de pecuária, deu início a uma nova perspectiva econômica, favorecendo a instalação de grandes empresas multinacionais (como Cargil, Bunge e ADM) e atraindo investimentos para a região.

A expansão do agronegócio associada a demais atividades agropecuárias, como por exemplo a pecuária trouxeram maiores impactos sobre as áreas de floresta. Em 1995, foi registrada a maior taxa de desmatamento da Amazônia (29.059 km<sup>2</sup>), os mesmos dados apontavam o estado de Mato Grosso como principal desmatador. A partir de então, tem-se início um conjunto de ações para ampliar a fiscalização e garantir o cumprimento da legislação ambiental como, por exemplo, a publicação de portarias, instruções normativas, decretos e medidas provisórias que, dentre outras medidas, regulamentava os planos de manejo florestal sustentáveis e o uso do fogo em atividades agropecuárias<sup>1</sup> (BRASIL 1995; 1998a; 1998b; 1998c, 1998d; 2001; 2002; 2004).

Entretanto, tais esforços não foram suficientes para conter o avanço da fronteira sobre a floresta e o fim desse período é marcado pela ocorrência da segunda maior taxa de desmatamento na Amazônia, com 27.772 km<sup>2</sup> desmatados, registrada em 2004, tendo novamente o estado do Mato Grosso como principal desmatador (INPE, 2016). Na tentativa de conter o aumento do desmatamento, o governo federal cria o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia (PPCDAm), em 2004, que reúne uma série de ações para atender às necessidades de controle e fiscalização (INPE, 2008). Uma das ações do PPCDAm, foi o desenvolvimento, pelo INPE, de um sistema de alerta do desmatamento em

---

<sup>1</sup> A portaria nº 48, de 1995 do IBAMA, disciplinou a exploração florestal na bacia Amazônica (BRASIL, 1995). As instruções normativas nºs 4, 5 e 6, regulamentaram os planos de manejo florestal sustentáveis comunitários; nas pequenas e médias propriedades; e em escala empresarial, respectivamente, na bacia amazônica (BRASIL, 1998a; 1998b; 1998c).

O Decreto Federal nº 2.788 de 1998, que alterou o Decreto 1.282 de 1994, que alterou os dispositivos legais da Lei 4.771 (código florestal), referentes à elaboração e execução dos planos de manejo na Amazônia (BRASIL, 1998).

O Decreto Federal nº 2.661, que regulamentou a Lei nº 4.771 sobre o estabelecimento de normas para o emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais (BRASIL, 1998).

A Medida Provisória 2.166 de 2001, que alterou a Lei nº 4.771 e a Lei nº 9.393, referentes à quantificação de área de reserva legal de propriedades rurais e posses da Amazônia legal (BRASIL, 2001).

A instrução normativa nº 4 de 2002, regulamentou os planos de manejo florestal sustentáveis de uso múltiplo em escala empresarial, pequena escala e comunitários em florestas de palmeiras (BRASIL, 2002).

A instrução normativa nº 17, que estabeleceu diretrizes para exploração de produtos e subprodutos madeireiros oriundos de florestas naturais e plantadas, nativas e exóticas (BRASIL, 2004).

tempo real, o DETER, que opera em conjunto com a fiscalização (IBAMA), detectando e informando novos desmatamentos (INPE, 2008).

Paralela à criação do PPCDAm, a Operação Curupira, deflagrada pela Polícia Federal em 2004 no estado de Mato Grosso, também foi um fator de importância considerável, não somente sobre questões ambientais, como também econômicas. Planejada para conter crimes ambientais na Amazônia, a operação Curupira foi responsável pelo fechamento de várias empresas madeireiras na região de Sinop e pela demissão de servidores públicos acusados de fraudar documentos para exploração ilegal da floresta (MOURA, 2006).

Nos anos seguintes, as ações de fiscalização e monitoramento dos governos federal e estadual se intensificaram por meio de investimento em políticas públicas como corte de verbas para municípios com alta taxa de desmatamento (BRASIL, 2008), como o município de Marcelândia, que integra a área de estudo deste trabalho, e que foi um dos municípios que sofreu o corte de verbas. Combinadas com a política de corte de incentivos, ações como a moratória da soja<sup>2</sup> e da carne<sup>3</sup> tiveram como resultado a queda na taxa de desmatamento (GST, 2008; GREENPEACE, 2009; MPF, 2010). Nesse período, houve também incentivos legais para exploração das áreas de floresta particulares por meio de Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), para promover a construção de uma política florestal mais sólida (CIPEM, 2015). É lançado em 2010, no estado de Mato Grosso, o MT-LEGAL, programa do governo estadual que tinha como intuito a regularização ambiental das terras rurais para que pudessem voltar a comercializar seus produtos. É também nesse período que se tem a implantação de grande parte dos planos de manejo da região para viabilizar e controlar a

---

<sup>2</sup> A moratória da soja foi uma iniciativa da ONG Greenpeace a partir do lançamento de uma campanha pública que expôs a ligação entre a produção de soja com o desmatamento da Amazônia. Com isso a maioria dos principais comerciantes de soja no Brasil (Cargill, ADM, Bunge, Amaggi, Dreyfus - e suas associações industriais ABIOVE e ANEC) e se comprometeram a não comprar mais soja produzida em áreas desmatadas na Amazônia a partir de 2006.

<sup>3</sup> A moratória da carne, imposta pelo Ministério Público Federal nos estados do Pará, Mato Grosso Rondônia e Amazonas, impedia os maiores frigoríficos de negociarem carne com propriedades sem certificação de regularidade ambiental (MPF, 2010).

exploração de madeira de forma mais sustentável (CIPEM, 2015), como tentativa de reverter as consequências trazidas pela operação Curupira. Contudo, os maiores incentivos para o setor florestal ocorreram por volta de 2014, por meio do Decreto Estadual 2.152, de 12 de fevereiro de 2014, que assegurou a desburocratização (MATO GROSSO, 2014), tida como um dos maiores gargalos para a implantação dos planos de manejo. A alteração da legislação trouxe mais facilidade para obtenção das licenças de exploração florestal e otimizou a implantação dos planos de manejo florestal no estado.

Mesmo com incentivos para o setor madeireiro, foi o agronegócio o grande responsável por gerar novas perspectivas socioeconômicas locais. Novos aspectos relacionados ao desenvolvimento econômico surgiram, principalmente para atender às recentes demandas decorrentes da consolidação do agronegócio (MACEDO e RAMOS, 2015). O agronegócio, destinado principalmente à exportação, atraiu grandes investimentos e trouxe consequências diversas, tais como a instalação de grandes empresas multinacionais como Cargil, ADM e Bunge, ampliação e melhoria da malha viária. De maneira indireta, o agronegócio promoveu a instalação de instituições destinadas às pesquisas relacionadas com a agropecuária (MACEDO e RAMOS, 2015; LIMA e PENNA, 2016). Destacam-se a inauguração do campus da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)<sup>4</sup>, em 2006, com 9 cursos de graduação e três de mestrado; inauguração da Embrapa<sup>5</sup> Agrossilvopastoril, em 2012, com 24 laboratórios de pesquisas (NASCIMENTO; LEMOS, 2012); e investimentos na duplicação da BR-163 e na construção da

---

<sup>4</sup> A UFMT desde 1992 já atuava no município oferecendo cursos de graduação. Atualmente oferece 11 cursos de graduação, entre eles o curso de medicina e 4 cursos de mestrado (UFMT, 2017).

<sup>5</sup> A Embrapa Sinop coordenará pesquisas em sistemas integrados de produção de alimentos, fibras, florestas e agroenergia para desenvolvimento de tecnologias com foco em preservação e sustentabilidade. A instituição também é responsável pela capacitação contínua de agentes de assistência técnica, públicos e privados para dar suporte aos agricultores e todo o seguimento (LEMOS, 2012).

Ferrovia de Integração Centro Oeste (FICO), ações necessárias para expandir o escoamento da produção agroexportadora local.

Atualmente, além das atividades relacionadas ao agronegócio, a região possui como atividades secundárias a pecuária e a exploração de madeira e concentra ainda grande parte das indústrias. Segundo o documento REGIC, Região de Influência das Cidades (IBGE, 2007), a cidade de Sinop se mostra ainda como importante polo, que centraliza diretamente 9 municípios vizinhos. Contudo, Teixeira (2006) e Ravache (2013) destacam que essa influência se estende por mais de 20 municípios, e se destacam principalmente os setores de prestação de serviços e de comércio atacadista e varejista. Mesmo não tendo relação direta com a consolidação do agronegócio e demais atividades, mas devido ao polo que a região se tornou, deve-se acrescentar o investimento do Ministério da Defesa. Está em andamento a construção de um quartel do exército com expectativa de abrigar 700 militares (SABINO, 2015), levando a região a uma situação bastante diferente da vivida no início de sua ocupação.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. DADOS UTILIZADOS

Os dados utilizados compreendem dados de sensoriamento remoto, dados cartográficos e dados de uso e cobertura da terra, obtidos de diferentes fontes. Para a realização das classificações espectral e estrutural foram utilizadas imagens de satélites do sensor *Linear Imaging Self-Scanner* (LISS III), a bordo do satélite *Resource Sat 1*, do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat 8 e do *Thematic Mapper* (TM) a bordo do Landsat 5. As imagens foram obtidas por meio do catálogo de imagens do INPE e do Serviço Geológico Americano (USGS) e estão listadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Dados utilizados na etapa de processamento de imagens.

Dado (imagens)	Data	Dado (imagens)	Data
TM LT52260681994209CUB00	28/07/1994	LISS III P6_LISS3_20120811_321_085_L2	11/08/2012
TM LT52260682004221CUB02	08/08/2004	OLI LC82260682013213LGN00	01/08/2013
LISS III P6_LISS3_20120806_320_084_L2	06/08/2012	OLI LC82260682014232LGN00	20/08/2014
LISS III P6_LISS3_20120806_320_085_L2	06/08/2012	OLI LC82260682015235LGN00	23/08/2015
LISS III P6_LISS3_20120811_321_084_L2	11/08/2012		

Fonte: Produção do Autor.

As imagens dos anos de 1994 e 2004 foram utilizadas no mapeamento de estradas (para obtenção de variáveis utilizadas na etapa de modelagem estatística). As imagens LISSIII de 2012 foram utilizadas para mapeamento da degradação florestal do ano de 2012. Foram necessárias 4 imagens LISSIII para contemplar uma cena da órbita/ponto TM/OLI/Landsat, que são as imagens referência desse estudo.

Os dados utilizados na etapa de modelagem estatística multivariada são dados de sensoriamento remoto, dados de uso e cobertura da terra e dados

cartográficos obtidos de fontes diversas. Esses dados estão organizados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Dados utilizados na etapa de modelagem estatística.

<b>Dado</b>	<b>Formato</b>	<b>Período</b>	<b>Fonte</b>
Focos de calor (NOAA e AQUA)	Vetor (ponto)	1992-2015	Portal de queimadas INPE
Desmatamento (1984 a 2015)	Vetor (polígono)	1985-2015	PRODES e PINHEIRO (2015)
Malha viária	Vetor (linha)	1994-2015	SINFRA-MT e processamento digital de imagens (PDI)
Planos de Manejo	Vetor (polígono)	1985-2015	SEMA-MT
Degradação Florestal	Vetor (polígono)	1985-2015	PINHEIRO (2015), PDI
Áreas Queimadas	Vetor (polígono)	1985-2015	PINHEIRO (2015), PDI
Terra Indígena	Vetor (polígono)	2010	FUNAI
Unidades de Conservação	Vetor (polígono)	2010	ICMBio
Localização geográfica de indústrias madeireiras	Vetor (ponto)	1994 -2014	SEMA-MT
Hidrografia	Vetor (linha)	2010	IBGE

Fonte: Produção do autor.

#### 4.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção, são descritas as etapas metodológicas empregadas neste trabalho, compreendendo duas fases principais: a replicação da metodologia de Pinheiro (2015) para atualizar e adaptar a série histórica da degradação até o ano de 2015 e os procedimentos para a modelagem da intensidade de degradação florestal na área de estudo, utilizando técnicas de estatística multivariada.

Três períodos foram divididos afim de se realizar a modelagem estatística da intensidade de degradação florestal de cada período para posteriormente compará-los. A metodologia para realização dos recortes temporais foi baseada em pesquisa bibliográfica e nos marcos históricos apresentados na Seção 3.2.

O primeiro período, que vai de 1984 a 1994, representa a alta intensidade das atividades de exploração madeireira e o pouco controle dessas atividades; o segundo período, de 1995 a 2004, marca o início da escassez da madeira, redução do número de indústrias madeireiras e sua modernização com a expansão da rede de energia, além de marcar a entrada do agronegócio na região. Este período é marcado também pelas altas taxas de desmatamento. Por fim, o período 3, de 2005 a 2015, representa um maior controle do desmatamento e da exploração da madeira pelo governo federal, incluindo o incentivo para a criação de planos de manejo, visando à exploração mais sustentável e à consolidação do agronegócio.

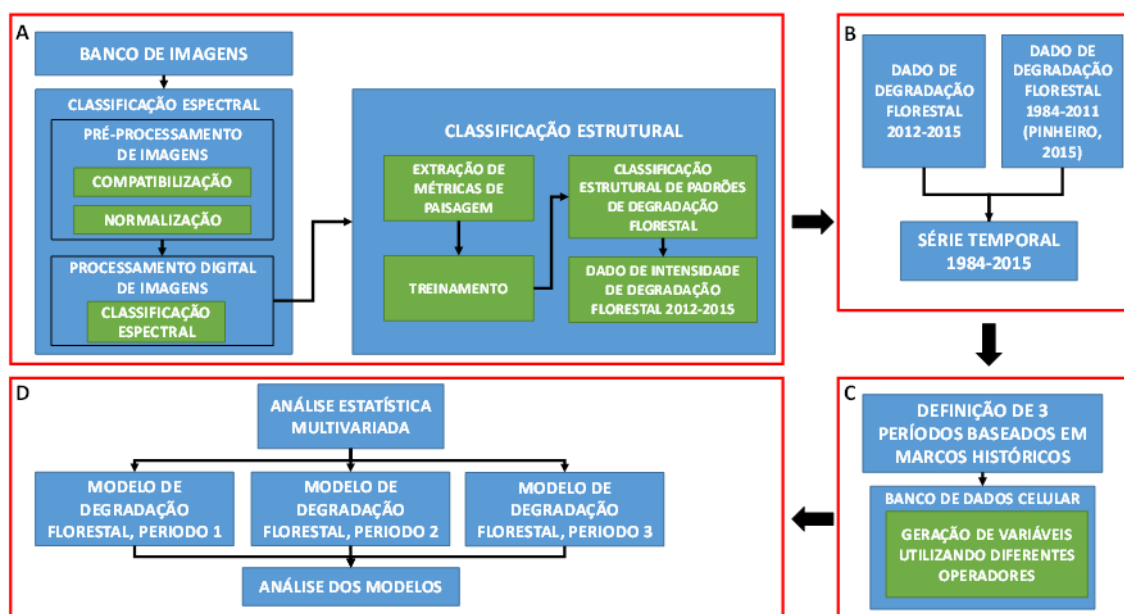
Integrados à replicação da metodologia de Pinheiro (2015) e à definição dos períodos de estudo, procedimentos de estatística multivariada foram aplicados encerrando as etapas metodológicas desse estudo, que foi organizada em quatro etapas:

- A. Processamento digital de imagens para obtenção dos dados de intensidade de degradação florestal para os anos de 2012, 2013, 2014 e 2015;
- B. União e adaptação dos dados obtidos no processamento digital de imagens com os dados de Pinheiro (2015) para obtenção da série histórica 1984-2015;
- C. Definição dos períodos de estudo baseados em marcos históricos e obtenção da variável dependente e das independentes de cada período estabelecido;
- D. Modelagem, análise e comparação dos fatores que influenciaram a degradação florestal em cada período de estudo utilizando análise de regressão linear.

Na Figura 4.1, é apresentado o fluxograma geral da metodologia empregada para a realização deste trabalho. As etapas listadas serão detalhadas nas seções a seguir.



Figura 4.1 – Fluxograma geral dos procedimentos metodológicos. Em A, são apresentados os procedimentos gerais da etapa de processamento digital de imagens para obtenção do dado de intensidade de degradação florestal para os anos de 2012, 2013, 2014 e 2015. Em B, é apresentada a etapa de união do dado produzido com o dado de Pinheiro (2015), bem com a definição dos períodos de estudo; em C, são definidos os períodos de estudos e as obtidas as variáveis que foram utilizadas na modelagem estatística; e em D, são apresentados os procedimentos para obtenção dos modelos de intensidade de degradação florestal.



Fonte: Produção do autor.

#### 4.2.1. ATUALIZAÇÃO DA SÉRIE HISTÓRICA

Nesta etapa, foram realizados procedimentos para completar a série histórica construída por Pinheiro (2015), seguindo a metodologia proposta pela autora, descrita na Seção 2.5.1. Foi realizada uma classificação espectral e uma estrutural para os anos de 2012, 2013 e 2014 e 2015. Os procedimentos são descritos a seguir.

##### 4.2.1.1. PRÉ-PROCESSAMENTO

Algumas técnicas de pré-processamento de imagens são importantes para realizar classificação de imagens de sensores remotos. Em uma análise multitemporal, é importante tomar certos cuidados como, por exemplo, em

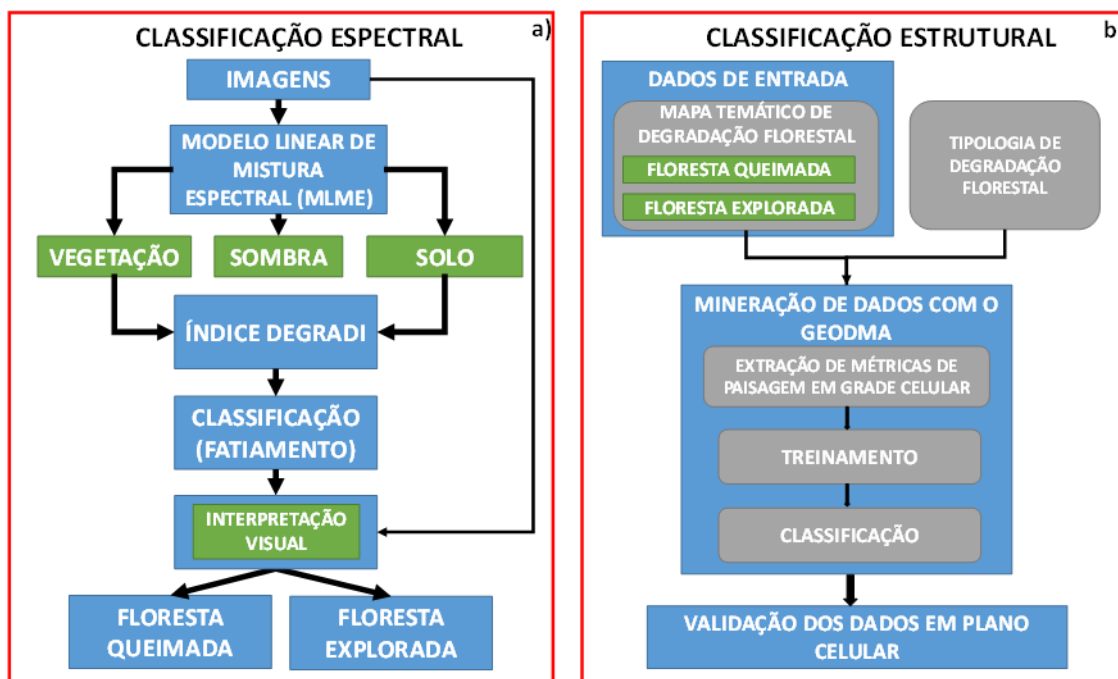
relação às distorções geométricas e calibração das imagens. Todas as imagens e dados foram compatibilizados para que obtivessem mesma projeção e Datum. Foram utilizadas imagens do LISS III/RESOURCE SAT-1 para o ano de 2012, em virtude da descontinuidade dos dados do TM/Landsat, em 2011. Para contemplar uma órbita/ponto do Landsat, foram necessárias quatro cenas do LISS III, que foram articuladas e recortadas para a área de estudo. Para os demais anos, foram utilizadas imagens do sensor OLI/Landsat.

A normalização foi empregada a fim de minimizar as variações de amplitudes radiométricas entre as imagens LISS III, causadas principalmente pela interferência da atmosfera, aplicou-se o método conhecido como o *Dark Object Subtraction* (DOS). Segundo Chávez (1988), este método utiliza dados da própria imagem e considera somente os valores de espalhamento atmosférico para a correção e utiliza o histograma dos números dos números digitais de uma banda da imagem para identificar o menor nível digital que indique a resposta espectral do alvo. Geralmente, utilizam-se os menores comprimentos de onda para se obter os parâmetros de correção, uma vez que são nos menores comprimentos de onda que ocorrem as maiores interferências da atmosfera.

#### **4.2.1.2. MAPEAMENTO DE PADRÕES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL**

A etapa de mapeamento da degradação seguiu basicamente duas fases, uma de classificação espectral e outra de classificação estrutural. Estes procedimentos são apresentados na Figura 4.2 e estão descritos nas seções seguintes.

Figura 4.2 – Procedimentos metodológicos empregados para obtenção da intensidade de degradação florestal. Em a) etapas realizadas na fase de classificação espectral e em b) etapas da classificação estrutural.



Fonte: Produção do autor.

#### 4.2.1.3. CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL

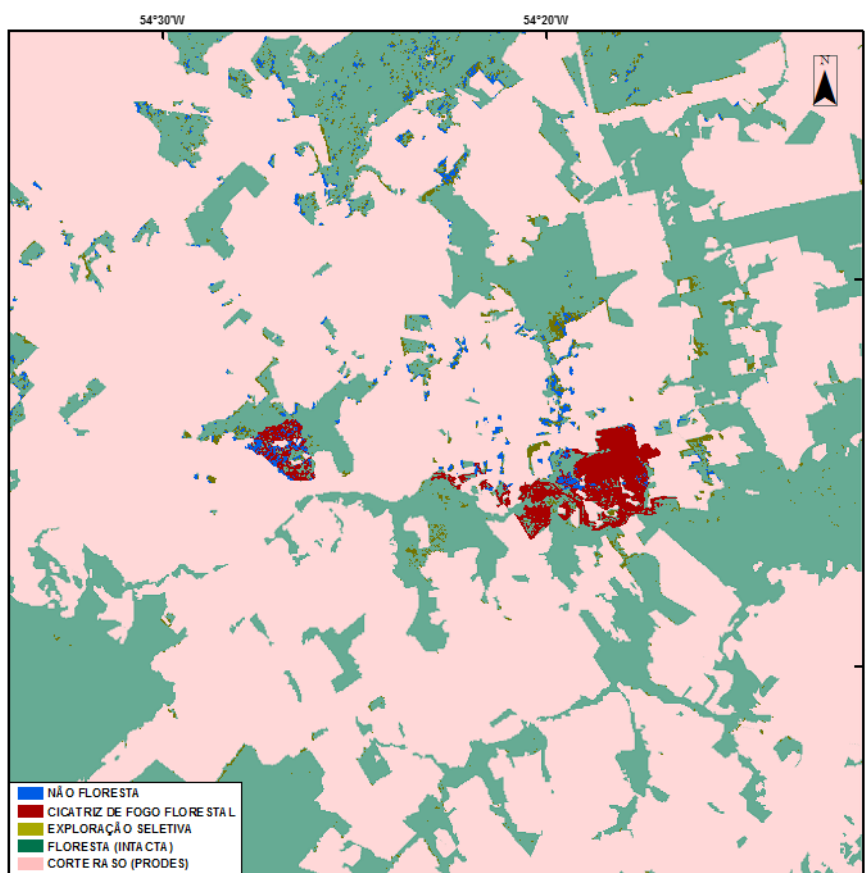
Nesta fase, foi realizada a classificação da floresta degradada para os anos de 2012, 2013, 2014 e 2015, utilizando a metodologia proposta por Pinheiro (2015), descrita na Seção 2.5.1. Foi realizado o mapeamento anual de feições consideradas como indícios de degradação florestal como cicatriz de fogo florestal, trilhas de arraste de madeira e pátios de estocagem. Utilizou-se o Modelo Linear de Mistura Espectral - MLME, nas bandas espectrais correspondentes ao vermelho ( $\lambda=630$  a  $690$  nm), infravermelho próximo ( $\lambda=760$  a  $900$  nm) e infravermelho médio ( $\lambda=1,150$  a  $1,750$  nm) para obter as imagens fração de sombra/água, solo e vegetação.

Em seguida, foram obtidas as imagens índice DEGRADI (Equação 2.1) utilizando as imagens fração solo e vegetação afim de realçar os indícios de degradação florestal. A classificação foi realizada por meio de uma operação de fatiamento. O limiar empregado no fatiamento foi definido empiricamente em

cada uma das imagens gerando a classe de cobertura *floresta degradada*. A separação das categorias *floresta queimada* e *floresta explorada* da classe *floresta degradada* foi realizada por meio de interpretação visual.

Durante a etapa de classificação, foram identificadas nas imagens áreas dúbias, que apresentavam padrões espectrais semelhantes às áreas de corte raso, que não foram mapeadas pelo PRODES. Essas áreas foram classificadas por meio de interpretação visual e a validação foi realizada com visita a campo. Os polígonos de não floresta foram unidos e originaram uma máscara de *não floresta* que, juntamente com os polígonos de *floresta queimada* e *floresta explorada*, foram utilizados como dados de entrada da classificação estrutural. Um exemplo dos resultados da classificação estrutural pode ser observado na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Mapa temático com as classes obtidas a partir da classificação espectral do ano de 2015.



Fonte: Produção do autor

#### **4.2.1.4. CLASSIFICAÇÃO ESTRUTURAL**

Nesta etapa, foram identificados e classificados os padrões de degradação florestal, descritos na Seção 2.5.1.2. Os dados de entrada para a realização da classificação estrutural foram os polígonos que representam os elementos indicadores de degradação florestal (pátios de estocagem de madeira, estradas principais, secundárias, trilhas de arraste e cicatriz de fogo florestal), agregados em plano celular de 1 km<sup>2</sup>, provenientes das imagens classificadas na etapa de classificação espectral (Seção 4.2.1.3). Foi utilizada a ferramenta GeoDMA (Körting et al., 2008) para reconhecimento e classificação dos padrões de degradação florestal de acordo com a tipologia mostrada na Figura 2.6.

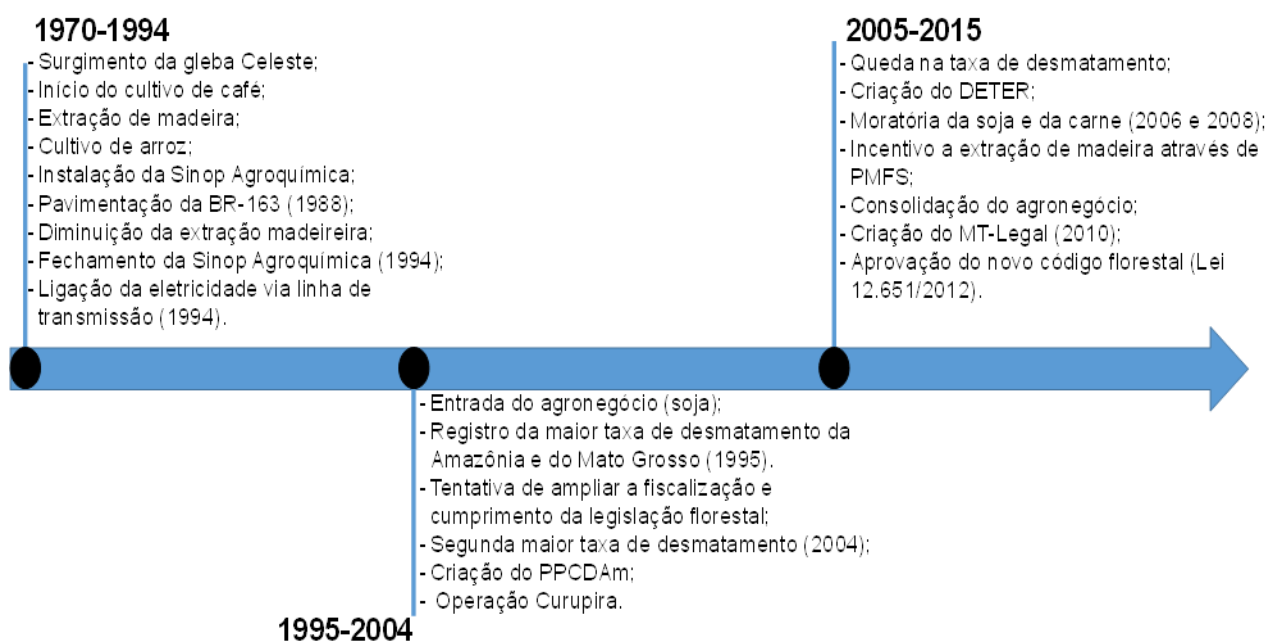
Em seguida, os polígonos de desmatamento do dado do PRODES, foram incorporados ao plano celular e todas as células que apresentaram ao menos 15% de área desmatada foram consideradas como *padrão de corte raso*. O mesmo critério de preenchimento celular (ao menos 15% de área) foi utilizado para os polígonos de *não floresta* produzidos neste estudo. considerando-se que a área dos afloramentos rochosos não muda ao longo do tempo, o preenchimento com os polígonos de *não floresta* foi realizado em toda a série temporal (1984 a 2015). Em seguida foi realizada a validação dos resultados da classificação estrutural com base na tipologia de padrões de degradação florestal proposta por Pinheiro (2015). Foram selecionadas 115 amostras (células) que foram classificadas por um fotointérprete independente. Essa classificação gerou um mapa de referência que serviu de base para comparação com a classificação realizada pelo GeoDMA. Foi gerada uma matriz de confusão e foram estimados os erros de comissão e omissão e o índice Kappa. A matriz de confusão e os resultados podem ser observados no Apêndice A.

#### **4.2.2. DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS DE ESTUDO**

Após a realização da classificação e avaliação estrutural, os dados de degradação de 2012-2015 produzidos foram integrados aos dados de degradação de Pinheiro (2015) originando a série temporal de 1984 a 2015. Para analisar e comparar os

fatores que influenciam a intensidade de degradação florestal ao longo do tempo, foram estabelecidos três períodos diferentes de estudo, de 1984 a 1994, de 1995 a 2004 e de 2005 a 2015. Os recortes temporais foram feitos baseados em marcos históricos importantes na região, fundamentados na literatura, para auxiliar no entendimento da evolução desta fronteira e, sobretudo, da atividade madeireira. Esses períodos de estudo são mostrados na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Períodos de estudo baseados em marcos históricos.



Fonte: Produção do autor.

O primeiro período é marcado pelo início da ocupação da região e é caracterizado principalmente pela tentativa de se estabelecer as atividades socioeconômicas. Alguns fatos importantes como a pavimentação do trecho da BR-163, instalação e fechamento da Sinop Agroquímica e ligação da eletricidade via linha de transmissão podem ser destacados, pois afetaram de maneira significativa a região.

O segundo período é marcado pela entrada do agronegócio e pela tentativa de se estabelecer maior fiscalização e cumprimento da legislação ambiental por meio da publicação de diversos dispositivos legais específicos. Contudo, mesmo

com esse conjunto de ações, é nesse período que são registradas pelo PRODES as maiores taxas de desmatamento da Amazônia, que resultou na criação de um novo plano de combate e controle do desmatamento, o PPCDAM.

O terceiro período inicia-se com reflexos positivos das ações promovidas pelo PPCDAM. As ações de fiscalização se intensificam refletindo na diminuição da taxa de desmatamento. Paralelo a isso, ações não governamentais são intensificadas, como a moratória da soja, com intuito de diminuir o avanço do agronegócio e, mais tarde, a moratória da carne, agora visando conter o avanço das áreas de pastagem sobre a floresta. O fim deste período é marcado por alterações importantes nas legislações ambientais, como o caso do lançamento do programa estadual MT-LEGAL e do novo código florestal, que, dentre outros, possui como objetivo a regularização ambiental das áreas rurais. Também é nesse período que se tem a consolidação do agronegócio na região, que trouxe novas perspectivas sociais e econômicas, uma vez que foi o grande responsável por atrair grandes investimentos para a região.

#### **4.3. ANÁLISE DOS FATORES CAUSADORES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL**

Com os períodos definidos, iniciou-se os procedimentos de identificação dos fatores causadores da degradação florestal. Nesta seção, é apresentada a metodologia utilizada para identificar os fatores que interferiram na degradação florestal nos três períodos avaliados por meio de modelos estatísticos. Os fatores que influenciam na degradação florestal, como por exemplo fogo e exploração seletiva, foram levantados tendo como base pesquisa bibliográfica.

Esses fatores foram transformados em variáveis e foram utilizadas em modelos de regressão estatísticos multivariados para explicar a intensidade da degradação florestal na cena 226/68. Para cada período, foi desenvolvido um modelo cuja composição e contribuição de cada variável foi estimada e avaliada.

### 4.3.1. PREPARAÇÃO DAS VARIÁVEIS

A variável dependente é a intensidade de degradação florestal. Esta variável foi obtida por meio da integração dos dados da série temporal produzidos por Pinheiro (2015), de 1984 a 2011, com os dados de degradação de 2012 a 2015, produzidos neste estudo. Este conjunto de dados representa uma série temporal que concentra num plano celular de resolução espacial de 1 km<sup>2</sup> a intensidade de degradação florestal anual, representado por valores numéricos entre 0 e 1, em que o valor 0 representa floresta intacta, o 1 representa corte raso e os valores intermediários representam os níveis de degradação. Esses valores estão descritos na tipologia de padrões de degradação florestal proposta pela autora, mostrada na Figura 2.6.

A variável dependente foi obtida pela média simples, em que foi feita a soma dos valores numéricos de intensidade de degradação florestal das células para cada ano considerado, dentro dos períodos 1, 2 e 3. O resultado da soma foi dividido pelo total de anos de cada período, originando o índice de intensidade de degradação florestal do período para cada célula. Um exemplo do procedimento realizado pode ser visto na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – exemplo do cálculo de obtenção da variável dependente.

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Média
<b>Célula 1</b>	0	0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,25
<b>Célula 2</b>	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5	0,4	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,34
<b>Célula 3</b>	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,5	0,10

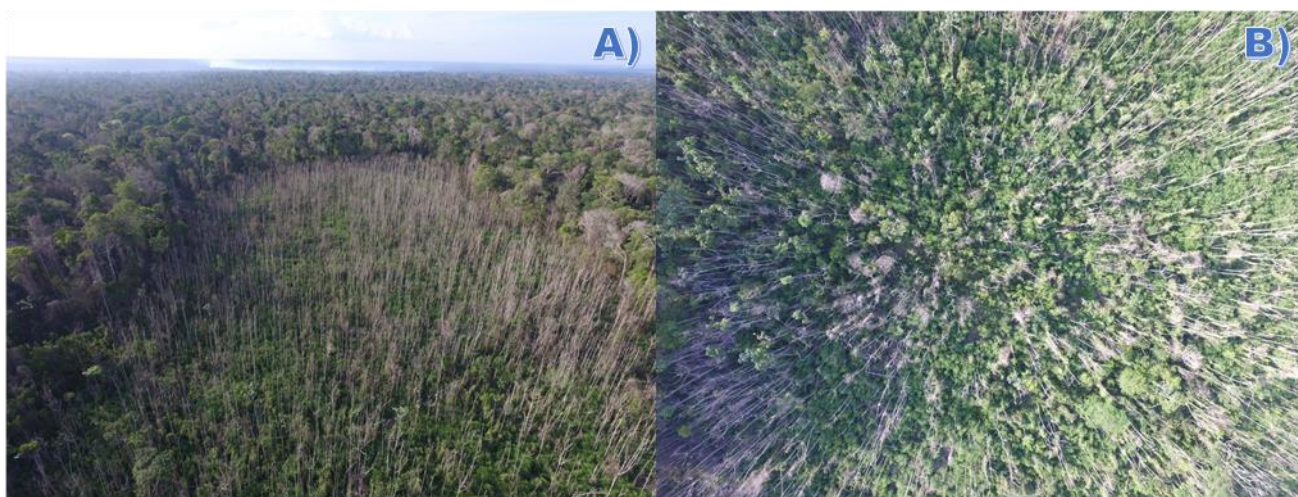
Fonte: Produção do autor.

Outras estatísticas, tais como o valor máximo e o valor mínimo das intensidades de degradação por período foram testadas, mas o resultado da média foi o que melhor representou a intensidade da degradação para os períodos analisados. É importante destacar que, como pretendeu-se analisar os fatores que influenciam a intensidade de degradação florestal, os resultados médios foram calculados apenas para os valores que representaram a degradação florestal,



ou seja, os valores médios que totalizaram zero (floresta intacta em todos os anos do período) e que tiveram o valor 1 (corte raso em todos anos do período) em pelo menos um ano do período, foram excluídos da análise. As células que apresentaram valor médio acima de 0,8 (referentes à degradação florestal causada exclusivamente por fogo florestal), também foram excluídas da análise, pois representavam *outliers*. Além disso, sob o ponto de vista ambiental, essas áreas apresentaram alta intensidade de degradação em todo o período e não possuem capacidade de resiliência devido à degradação recorrente. Um exemplo dessa situação pode ser visto na Figura 4.5.

Figura 4.5 – Padrão de degradação 0,9 (fogo florestal).



Fonte: INPE (2016)

Na Figura 4.5a e 4.5b é possível observar imagens do sensor *Multirotor Phantom 3 Advanced* (drone) (*off nadir* e *ao nadir*, respectivamente) da recorrência do padrão de degradação de alta intensidade (0,9), ocasionada por fogo florestal. Essas áreas tendem a serem convertidas ao corte raso, pois já apresentam padrões bastantes semelhantes as áreas de desmatamento, e por isso foram retiradas da análise.

Definida a variável dependente, iniciou-se os procedimentos para obtenção das variáveis independentes de cada período. Essas variáveis independentes foram representadas utilizando diferentes operadores do *plug-in* de células do TerraView

(INPE, 2010). É importante ressaltar que as variáveis que compuseram os modelos estatísticos multivariados foram aquelas cuja disponibilidade de dados contemplava os três períodos de análise, para que eles pudessem ser comparados. Para obter, por exemplo, a variável *distância de estradas*, foi necessário realizar o mapeamento da malha viária, pois o dado de estradas disponível não representava a realidade de cada período. Para obtenção das demais variáveis, houve dados disponíveis para todos os períodos de estudo.

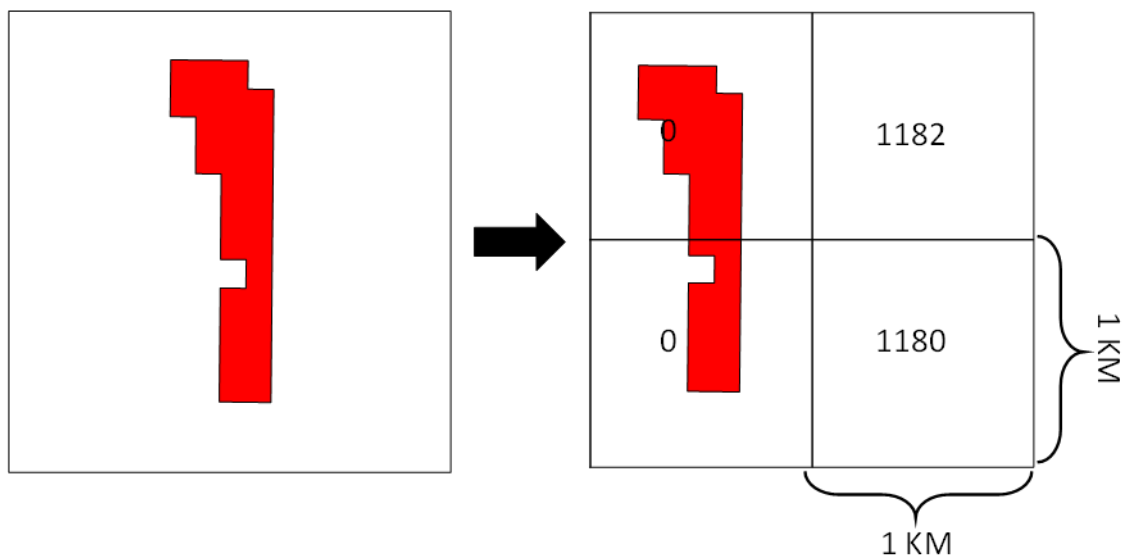
Para mapear as estradas, utilizou-se um dado já existente da malha viária da região, proveniente da Secretaria de Estado de Infraestrutura de Mato Grosso (SINFRA-MT). Entretanto, este dado só estava disponível para o ano de 2007, assim, para representar a malha viária de cada período de estudo, foram mapeadas as estradas, a partir da base de 2007 e de imagens do último ano de cada período, ou seja, foram mapeadas as estradas de 1994, 2004 e 2015. A realização dos procedimentos de mapeamento das estradas na região de estudo levou em consideração a metodologia proposta por Brandão Júnior e Souza Júnior (2005) que utilizaram a fração *solo* do MLME para mapear estradas na Amazônia. A fração *solo* do MLME proporciona grande contraste entre as áreas de vegetação e de solo exposto, e torna mais fácil a detecção das estradas (GRAÇA, 2006). Primeiramente, foi extraída manualmente a malha viária de 2015 a partir da fração *solo* obtida da imagem OLI/2015. Posteriormente a malha viária obtida foi integrada com a malha da SINFRA de 2007 e corrigida, representando o terceiro período. Para o ano de 2004, foi aplicado novamente o MLME para obtenção das imagens fração. A malha viária de 2015 foi sobreposta à imagem fração *solo* de 2004. As estradas presentes no dado da malha viária do terceiro período (ano de 2015) que não foram identificadas na fração *solo* de 2004 foram apagadas, dando origem à malha viária do segundo período. O mesmo procedimento foi aplicado para a imagem do ano de 1994 para obter a malha viária do primeiro período.

Com os dados de estradas de cada período, foi possível obter a variável *distância de estradas*. Esta e as demais variáveis independentes foram obtidas utilizando o *plug-in* de células do software TerraView, versão 4.2.2, por meio de

preenchimento de plano celular de mesma resolução espacial da variável dependente (1 km<sup>2</sup>). Os operadores utilizados para o preenchimento das células variaram de acordo com a natureza da variável. Também foram utilizadas métricas de paisagem (tais como densidade de borda, número de fragmentos e comprimento de borda) para geração de variáveis extraídas do *Geographical Data Mining Analyst* (GeoDMA), desenvolvido por Körting et al. (2008).

Para obter as variáveis de distância, como *distância de áreas queimadas*; *distância de áreas desmatadas*; *distância de planos de manejo* e *distância de estradas*, utilizou-se o operador *distância mínima* do *plug-in* de preenchimento de células, que calculou a distância mínima (em metros) entre o vetor mais próximo e o centroide de cada célula, armazenando os valores na tabela do plano celular. As células que tinham qualquer vetor sobreposto, receberam o valor zero (distância zero). A Figura 4.6 mostra o exemplo de preenchimento de células utilizando o operador *distância mínima*.

Figura 4.6 – Preenchimento celular com o operador *distância mínima*.

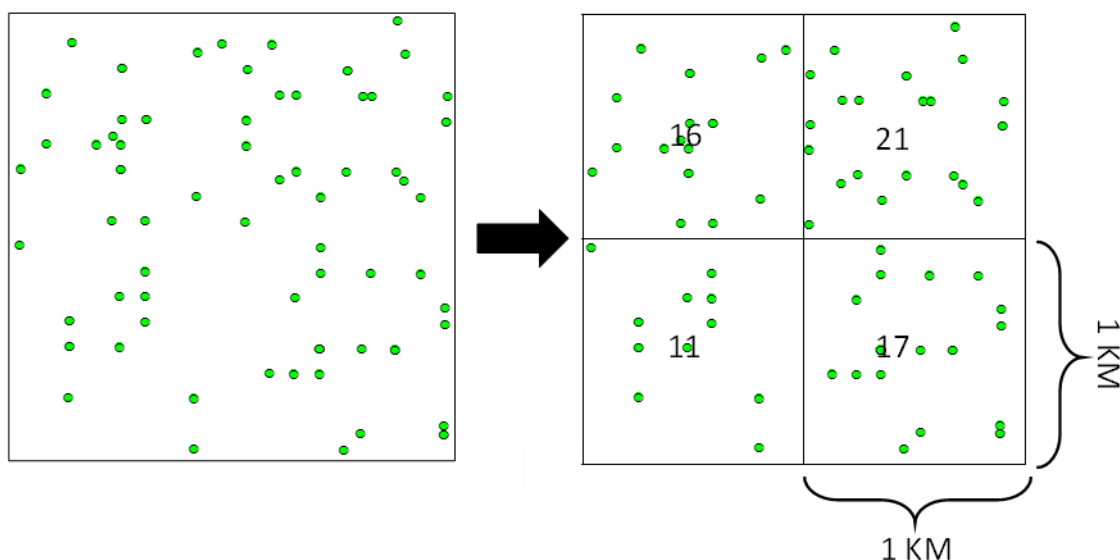


Fonte: Produção do autor

Para obter a variável *número de focos de calor*, foi utilizado o operador *quantidade* do *plug-in* de preenchimento celular do TerraView. Este operador

realiza a contagem de todos os vetores dentro da célula e armazena os resultados na tabela do plano celular. A Figura 4.7 mostra o exemplo de preenchimento de células com o operador de *quantidade*.

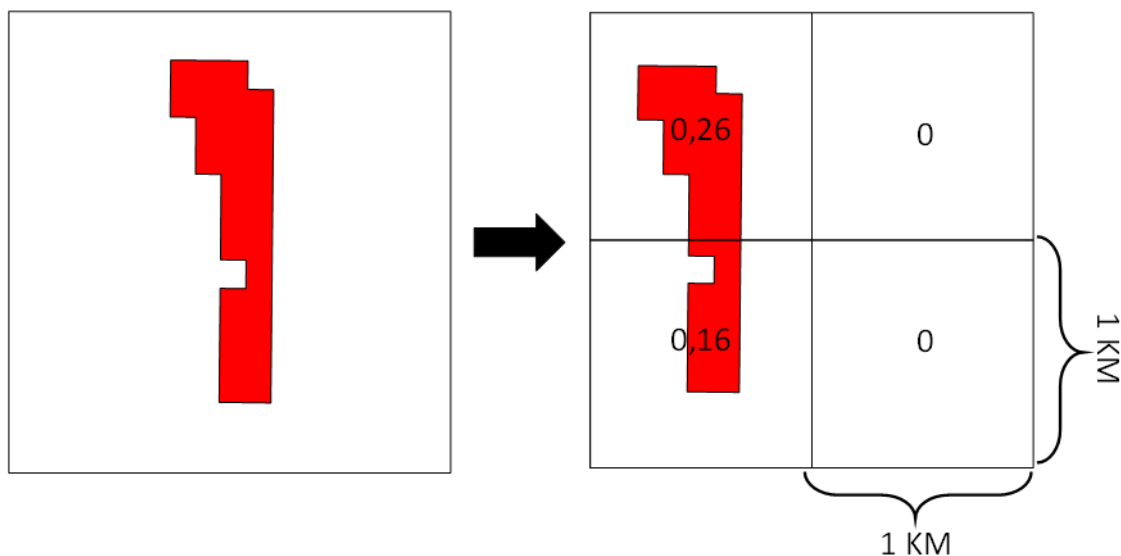
Figura 4.7 – Preenchimento celular com o operador *quantidade*.



Fonte: produção do autor

A obtenção das variáveis *total de borda*, *densidade de borda*, *número de fragmentos* e das variáveis de área, como *área desmatada* e *área de planos de manejo*, foi realizada através da extração de métricas de paisagem no GeoDMA. A variável *total de borda* é obtida por meio da soma (em metros) do tamanho das bordas de todos os fragmentos (vetores) dentro de cada célula. A variável *densidade de borda* é calculada por meio da razão entre o total de bordas e área dos fragmentos (em hectares) dentro de cada célula. A variável *número de fragmentos*, conta a quantidade de fragmentos existente em cada célula. A variáveis de área são obtidas calculando-se a área de todos os fragmentos (em hectares) presentes em cada célula. A Figura 4.8 mostra o exemplo de extração da métrica de área para obtenção das variáveis de área.

Figura 4.8 – Extração de métrica de área.



Fonte: Produção do autor

A variável *densidade de kernel de foco calor* foi obtida por meio da geração de um mapa de kernel de mesma resolução espacial do plano celular (1km<sup>2</sup>). Posteriormente, o valor de densidade de kernel de cada pixel do mapa foi associado ao plano celular. Em seguida, os valores numéricos desta e todas as variáveis independentes foram associados aos valores numéricos da variável dependente, formando uma tabela única.

Na Tabela 4.4 são descritas as variáveis por tipo, a premissa que embasou a escolha das variáveis (baseada no conhecimento do fenômeno e na literatura), o modo pela qual foram obtidas, os tipos de dados que as originaram.

Tabela 4.4 – Resumo dos dados utilizados para geração das variáveis independentes.

<b>Fator/Variável</b>	<b>Premissa</b>	<b>Operação</b>	<b>Dado</b>	<b>Fonte</b>
Fogo - Densidade de Kernel focos de calor.	Células com maior densidade de focos de calor possuem intensidade de degradação mais alta.	União dos focos de calor do período e uso do estimador densidade de Kernel.	Focos de calor	Portal de queimadas do INPE
Fogo - Número de focos de calor.	Células com maior número de focos de calor possuem intensidade de degradação mais alta.	Contagem dos focos de calor dentro das células ( <i>plugin</i> de preenchimento de células) nos períodos analisados.		
Fogo - Distância de focos de calor	Células com menor distância dos focos de calor possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos focos de calor do período analisado.		
Fogo - Distância de áreas queimadas*	Células com menor distância das áreas queimadas, possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerados a partir dos polígonos das áreas queimadas para os anos de 1994, 2004 e 2015.	Polígono de áreas queimadas	Pinheiro (2015), PDI
Fragmentação florestal - Distância de áreas desmatadas.	Células com menor distância dos polígonos de desmatamento possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de desmatamento acumulado para os anos de 1994, 2004 e 2015	Desmatamento anual	PRODES e Pinheiro (2015)
Fragmentação florestal - Área desmatada.	Células com maior área de desmatamento possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com a área de desmatamento acumulado em 1994, 2004 e 2015.		
Fragmentação florestal - Densidade de borda de áreas desmatadas.	Células com maior densidade de borda de área desmatada possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com a densidade de bordas dos polígonos de desmatamento (GeoDMA) de 1994, 2004 e 2015.		
Fragmentação florestal - Total de Borda desmatada.	Células com maiores valores do total de borda possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com o comprimento de bordas dos polígonos de desmatamento. (GeoDMA) de 1994, 2004 e 2015.		
Fragmentação florestal - Número de Fragmentos.	Células com maior número de fragmentos possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com número de fragmentação (GeoDMA) de 1994, 2004 e 2014		
Infraestrutura - Distância de estradas.	Células com menor distância das estradas possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir das linhas da malha viária de 1994, 2004 e 2015.	Malha viária	SINFRA-MT e PDI
Políticas públicas - Distância de planos de manejo	Células com menor distância dos polígonos de planos de manejo possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de PMFS de 1994, 2004 e 2015.	Planos de manejo florestal sustentável – PMFS	SIMLAM público da SEMA - MT

Tabela 4.4 – Resumo dos dados utilizados para geração das variáveis independentes (continuação).

<b>Fator/Variável</b>	<b>Premissa</b>	<b>Operação</b>	<b>Dado</b>	<b>Fonte</b>
Políticas Públicas - Área de PMFS.	Células com maior área de polígonos de planos de manejo possuem menor intensidade de degradação.	Mapa de células contendo área dos polígonos de planos de manejo de 1994, 2004 e 2015.	Planos de manejo florestal sustentável – PMFS	SIMLAM público da SEMA - MT
Políticas públicas - Distância da Terra Indígena (TI)	Células com menor distância dos polígonos de TI possuem intensidade de degradação mais baixa, por serem áreas de uso restrito.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de TI criados até 1994, 2004 e 2015.	Polígonos de TI	FUNAI
Políticas públicas - Distância das Unidades de Conservação (UC).	Células com menor distância de unidades de conservação possuem intensidade de degradação mais baixa, por serem áreas de proteção ambiental.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos das UCs criadas até 1994, 2004 e 2015	Polígonos de UCs	IMCBio
Políticas Públicas - Distância de Rios	Células que apresentam menor distância dos rios possuem intensidade de degradação mais baixa, por ser área de preservação permanente (APP).	Mapa de distância euclidiana gerado a partir das linhas da malha hidrográfica de 1994, 2004 e 2015.	Malha Hidrográfica	IBGE
Acesso a mercado - Distância de Núcleos Urbanos	Células com menor distância áreas urbanas, onde há maior possibilidade de comercialização da madeira, possuem intensidade de degradação mais alto.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos das sedes dos municípios para os anos de 1994, 2004 e 2015.	Núcleos urbanos	IBGE

\* Essa variável representa a distância euclidiana das células que foram classificadas como 0,9 (de acordo com a tipologia de Pinheiro (2015)) em todos os anos do período.

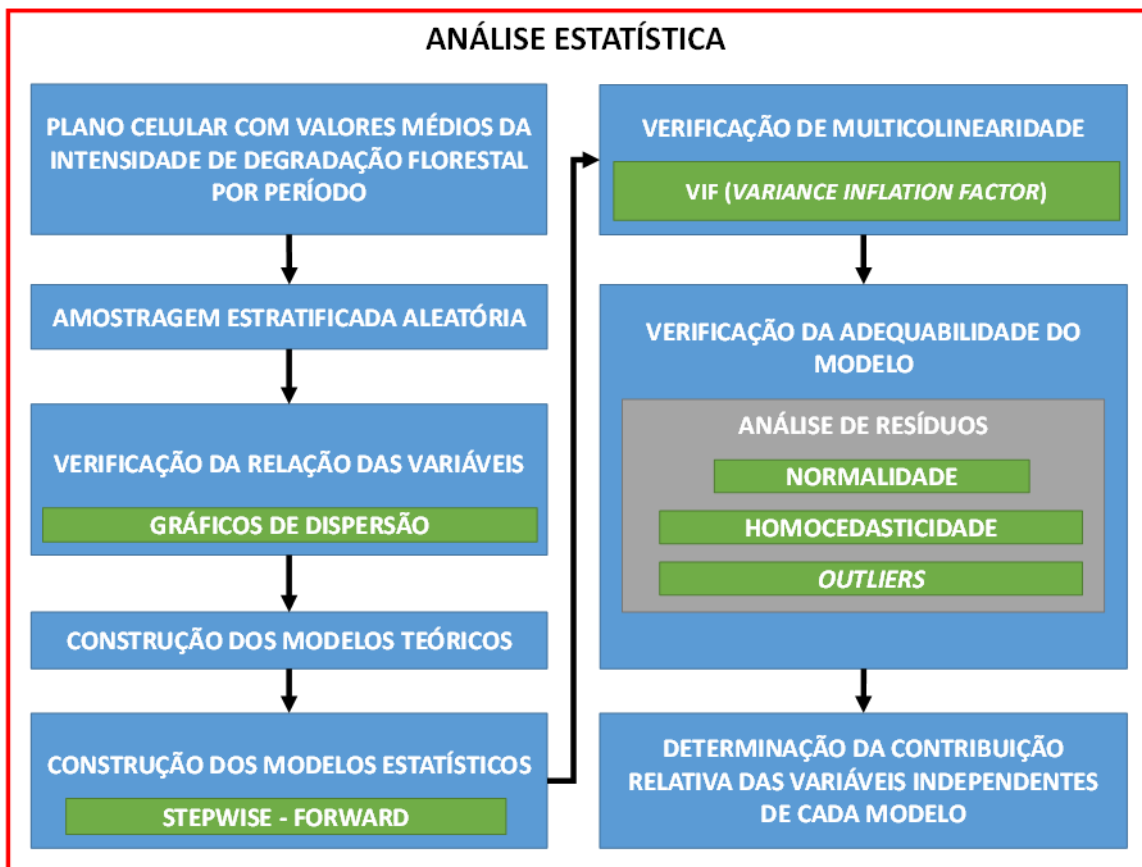
Fonte: Produção do autor.

#### 4.3.2. MODELAGEM ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Nesta seção, são apresentadas as etapas de construção dos modelos estatísticos de cada período de estudo, baseado nos marcos históricos definidos na Seção 3.2.1. Os procedimentos de modelagem tiveram como objetivo o desenvolvimento de modelos estatísticos multivariados para obtenção das variáveis que melhor explicam a intensidade da degradação florestal em cada período, observando sua composição e a contribuição de cada variável em cada período analisado.

As etapas de modelagem são apresentadas na Figura 4.9. Os modelos foram desenvolvidos tendo como base um delineamento amostral estratificado de modo a garantir que todas as classes de intensidade de degradação fossem representadas.

Figura 4.9 – Fluxograma dos procedimentos empregados na modelagem estatística multivariada.



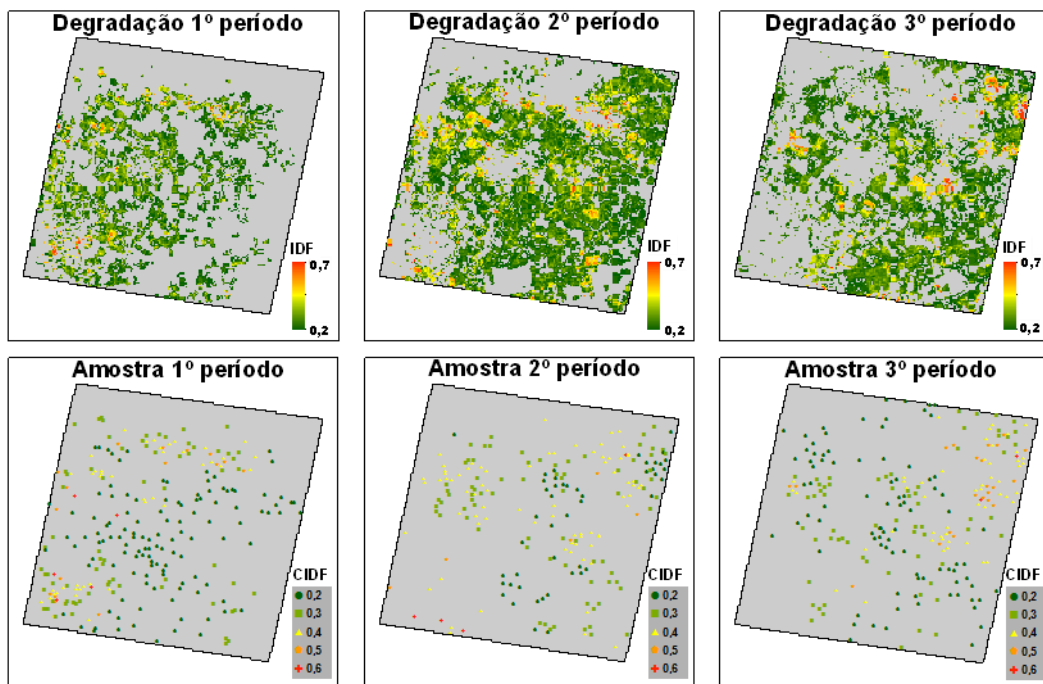
Fonte: Produção do autor.



#### 4.3.2.1. AMOSTRAGEM

Nesta etapa, foi realizada a amostragem de células que compuseram a análise. A amostragem foi aleatória estratificada por classes de intensidade, para garantir que todas as classes de intensidade de degradação florestal fossem representadas proporcionalmente. Foram sorteadas 265 células para o primeiro período, 220 para o segundo e 234 para o terceiro, o que representa 5%, 4% e 3% do total de células degradadas, respectivamente. Na Figura 4.10 é possível observar a intensidade de degradação florestal (IDF) da população bem como a distribuição espacial das amostras com a classes de intensidade de degradação florestal (CIDF) de cada período de estudo.

Figura 4.10 – População e amostra por período de estudo.



Fonte: Produção do autor

A amostragem também contribuiu para minimizar os possíveis efeitos da autocorrelação espacial, bastante comuns quando se trabalha com dados geográficos. Após a seleção das amostras, foi realizada a modelagem da intensidade de degradação florestal, executada de acordo com os procedimentos descritos por Neter et al. (1996) utilizando-se o software R.

#### **4.3.2.2. RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS**

Posterior à amostragem, foi verificada a relação das variáveis independentes com a variável dependente por meio de gráficos de dispersão para verificar se tal relação é minimamente linear. A verificação dessas relações é importante para determinar o modelo de regressão a ser utilizado e para verificar se é necessário algum procedimento de transformação, a fim de melhorar a relação entre as variáveis.

#### **4.3.2.3. CONSTRUÇÃO DOS MODELOS ESTATÍSTICOS**

Após a verificação da relação entre as variáveis, foram construídos os modelos estatísticos. O método utilizado para a construção desses modelos foi o *stepwise - forward*. Neste método, o modelo é iniciado com apenas uma variável independente, adicionando-se, a cada passo, uma nova variável independente, definida pelo modelo conceitual. A eventual remoção de variáveis independentes (feita quando esta não é estatisticamente significativa) também foi feita uma a uma. Foram observados o poder explicativo ( $r^2$ ) e significância estatística para determinação do melhor modelo de cada período.

#### **4.3.2.4. ANÁLISE DE MULTICOLINEARIDADE**

A multicolinearidade pode ser entendida como a existência de relação linear entre uma variável explicativa e as demais. A verificação da existência de variáveis independentes multicolineares é importante, pois tem forte influência na qualidade do ajuste e, conseqüentemente, afeta as possíveis inferências feitas a partir dos modelos. A análise de multicolinearidade foi feita utilizando o pacote *CAR*, por meio do método *VIF (Variance Inflation Factor)*. Este método consiste em medir a variância dos valores dos coeficientes determinados (coeficientes  $\beta$ ) em comparação com os valores desses coeficientes, se os dados fossem ortogonais. Em geral, o valor do VIF indica multicolinearidade quando este for maior que sete (FOX e MONETTE, 1992).

#### 4.3.2.5. ANÁLISE DA ADEQUABILIDADE DOS MODELOS

Quando se faz inferências a partir de algum modelo estatístico de regressão, é necessário certificar-se de que tal modelo é apropriado para o fenômeno estudado. É importante examinar a aptidão dos dados utilizados antes das análises serem feitas e algumas pressuposições devem ser feitas para garantir a adequabilidade desses modelos, tais como presença ou não de *outliers*, normalidade e homocedasticidade (variância constante), que podem ser verificadas por meio da análise dos resíduos.

A normalidade dos resíduos é uma suposição essencial para que os resultados do modelo sejam confiáveis, pois a normalidade dos resíduos é exigida para que os testes estatísticos F e t sejam válidos. Estando normalmente distribuídos não possuem tendências. A verificação de normalidade dos resíduos foi feita por meio do teste estatístico de Shapiro-Wilk, utilizando o pacote *STATS* no R. O teste é baseado na estatística W e na formulação de uma hipótese nula (hipótese de normalidade), uma hipótese alternativa (hipótese de não normalidade) e um nível de significância (geralmente de 0,05). No R, rejeita-se a hipótese nula quando o p-valor do teste for menor que 0,05.

Assim como a normalidade, a homocedasticidade dos resíduos também é uma importante suposição. A verificação desse pressuposto é importante, pois comprova que os erros padrões dos estimadores, obtidos pelo Método dos Mínimos Quadrados (tido como melhor método para obter estimadores lineares não enviesados) estão corretos e, portanto, as inferências estatísticas feitas a partir do modelo são confiáveis. Para conferir a homocedasticidade dos resíduos foi realizado o teste estatístico de Breush-Pagan, utilizando o pacote *LMTEST*, no R. Neste teste, ajusta-se um modelo de regressão linear aos resíduos quadráticos do modelo de regressão (por padrão, feito com as mesmas variáveis do modelo principal) e a hipótese nula (de homocedasticidade) é rejeitada se os erros quadráticos for uma função multiplicativa de uma ou mais variáveis independentes. A hipótese nula é rejeitada quando o p-valor do teste também for menor que 0,05.

A presença de *outliers* também exerce importante influência sobre a confiabilidade do modelo. O *outlier* é uma observação com valor extremo, que poderá originar um resíduo atípico, quando comparado aos demais valores. Esses valores extremos geram pontos de *alavancagem* (também conhecidos como *leverage* alto) influenciando o comportamento da variável resposta, o coeficiente angular ou o resultado dos testes de hipóteses. Logo, a inclusão ou não desses pontos influencia, em algum momento, na análise de regressão. A análise dos *outliers* foi realizada por meio das observações do gráfico de *leverage* no R e por meio do gráfico de relação dos resíduos padronizados *versus* valores estimados.

#### **4.3.2.6. IMPORTÂNCIA RELATIVA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES**

A verificação da importância relativa das variáveis independentes em cada modelo é de grande relevância para as análises realizadas neste estudo. Essa análise permite identificar os pesos que cada variável (fator) exerce sobre a intensidade de degradação florestal em cada período, subsidiando discussão acerca da variação desses pesos entre períodos. Para determinar estes pesos, foi utilizado o pacote *LSR*, no R, que calcula o quanto a variável dependente é afetada por uma variável ou um conjunto de variáveis independentes, baseando-se na análise do *effect size* (medida do grau de relação entre duas variáveis) da ANOVA (GRISSON e KIM, 2012).

Apesar de alguns diferentes estimadores do *effect size* da ANOVA estarem disponíveis, como o *omega squared* (ômega quadrado), *epsilon squared* (épsilon quadrado), o *eta squared* (eta quadrado) é o mais frequentemente utilizado em análises estatísticas (KEPPEL, 1982; LEVINE e HULLET, 2002). Neste estudo, utilizou-se, para a análise do *effect size* da ANOVA, o *eta squared* ( $\eta^2$ ), que é o quanto da variância da variável dependente pode ser explicado pela variável de independente. Pode ser obtido pela razão entre a variância da variável independente que se deseja saber o *effect size* pela variância total (de todas as variáveis) e assume valores de 0 a 1 (COHEN, 1973; FISHER, 1973, KEPPEL, 1982; HAYS, 1994 e PEDHAZUR, 1997).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do arcabouço teórico-conceitual que descreve o processo da degradação florestal e seus agentes, foram propostos modelos conceituais para cada período estudado a fim de indicar os principais fatores que explicam este fenômeno. Esses modelos conceituais foram sugeridos com base em marcos históricos determinados a partir da revisão da literatura. A análise dos fatores, que condicionam a intensidade de degradação florestal em diferentes períodos, foi realizada tendo como pressuposto a heterogeneidade espaço-temporal do fenômeno estudado, observada em três períodos de tempo, definidos de acordo com o processo de evolução da fronteira agropecuária na cena que envolve a região de Sinop e outros municípios do Mato Grosso.

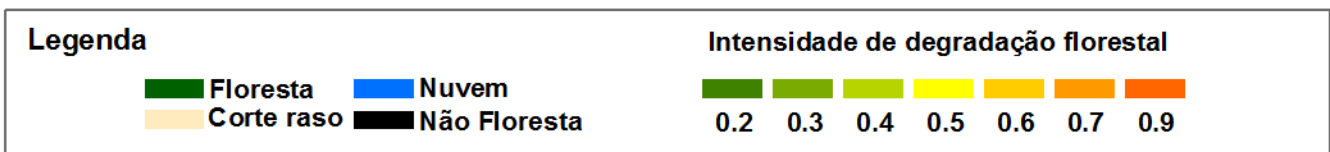
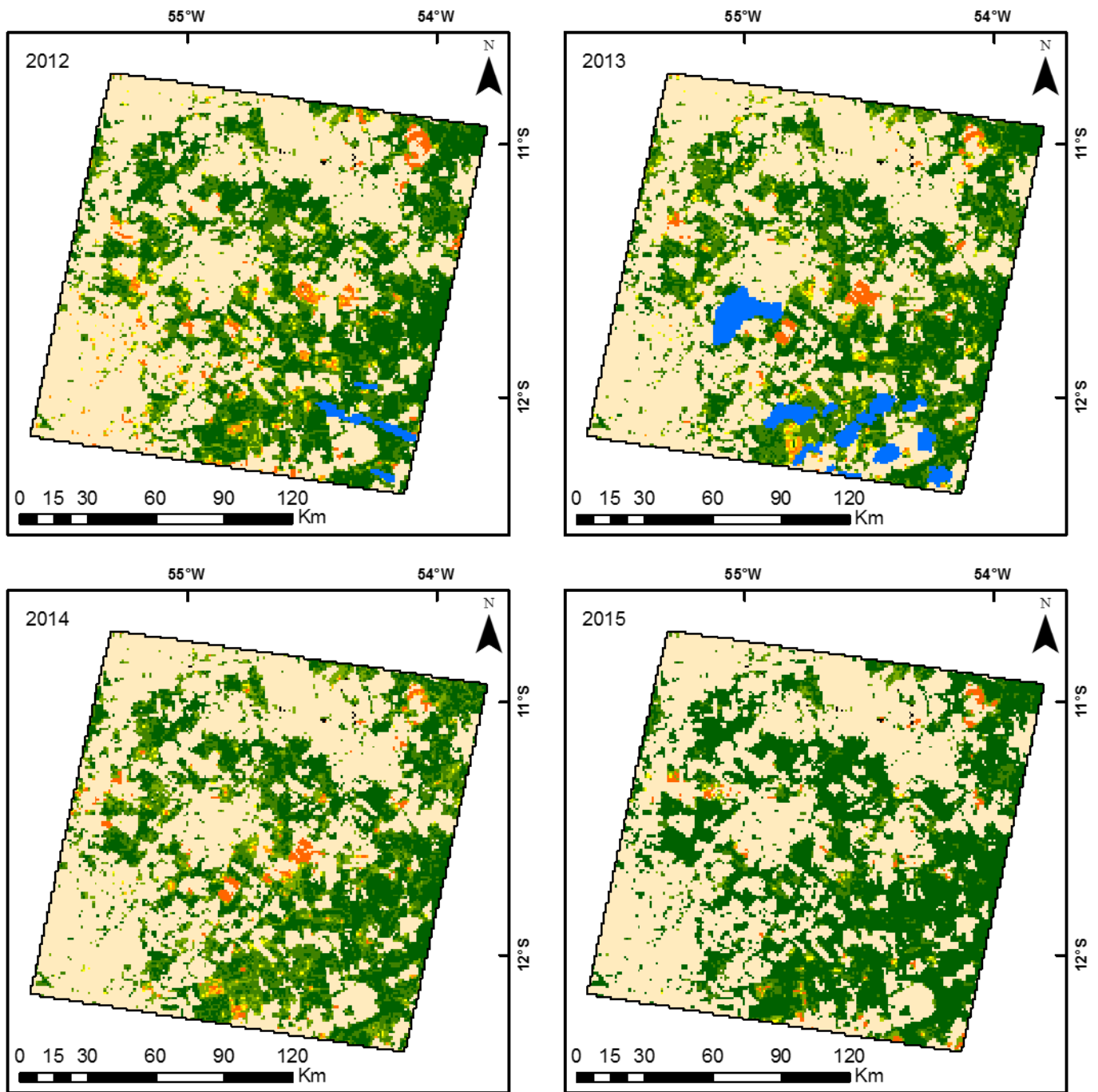
Neste capítulo, a apresentação dos resultados e suas discussões é dividida em 3 seções. Na Seção 5.1, *Classificação dos padrões de degradação*, são apresentados os índices anuais de intensidade de degradação florestal obtidos na etapa de processamento digital de imagens para os anos de 2012, 2013, 2014 e 2015, complementando a série pré-existente de classificações anuais do período de 1984 a 2011. Na Seção 5.2, são apresentados os resultados e discussões das análises, realizadas com técnicas de estatística multivariada, dos fatores que influenciaram a intensidade de degradação florestal nos três períodos de análise. Por fim, na Seção 5.3, é realizada uma comparação entre os períodos e a análise da contribuição de cada fator para os níveis de intensidade da degradação florestal.

### 5.1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL

Foram obtidos mapas de intensidade de degradação florestal para os anos de 2012, 2013, 2014 e 2015. Esses mapas, além das classes *corte raso*, *degradação florestal* e *nuvens*, contêm a classe *não floresta*, proveniente do PRODES. A classe *não floresta* pode ser confundida com a classe de *degradação florestal*, por envolver áreas de afloramentos rochosos, que apresentam pequenas manchas de solo exposto de formato circular, como

as áreas de exploração seletiva. Por essa razão foi realizado um trabalho de campo que demonstrou áreas mapeadas como não floresta se tratavam de áreas de afloramento rochoso e permitiu melhorar a máscara de não floresta que foi incorporada ao plano celular. Esse refinamento foi realizado para toda a série temporal e os mapas do final do período produzidos para os anos de 2012, 2013, 2014 e 2015 são mostrados na Figura 5.1 e a validação da classificação é mostrada no Anexo A.

Figura 5.1 – Mapas de Intensidade de degradação florestal anual produzidos para o período de 2012 a 2015.



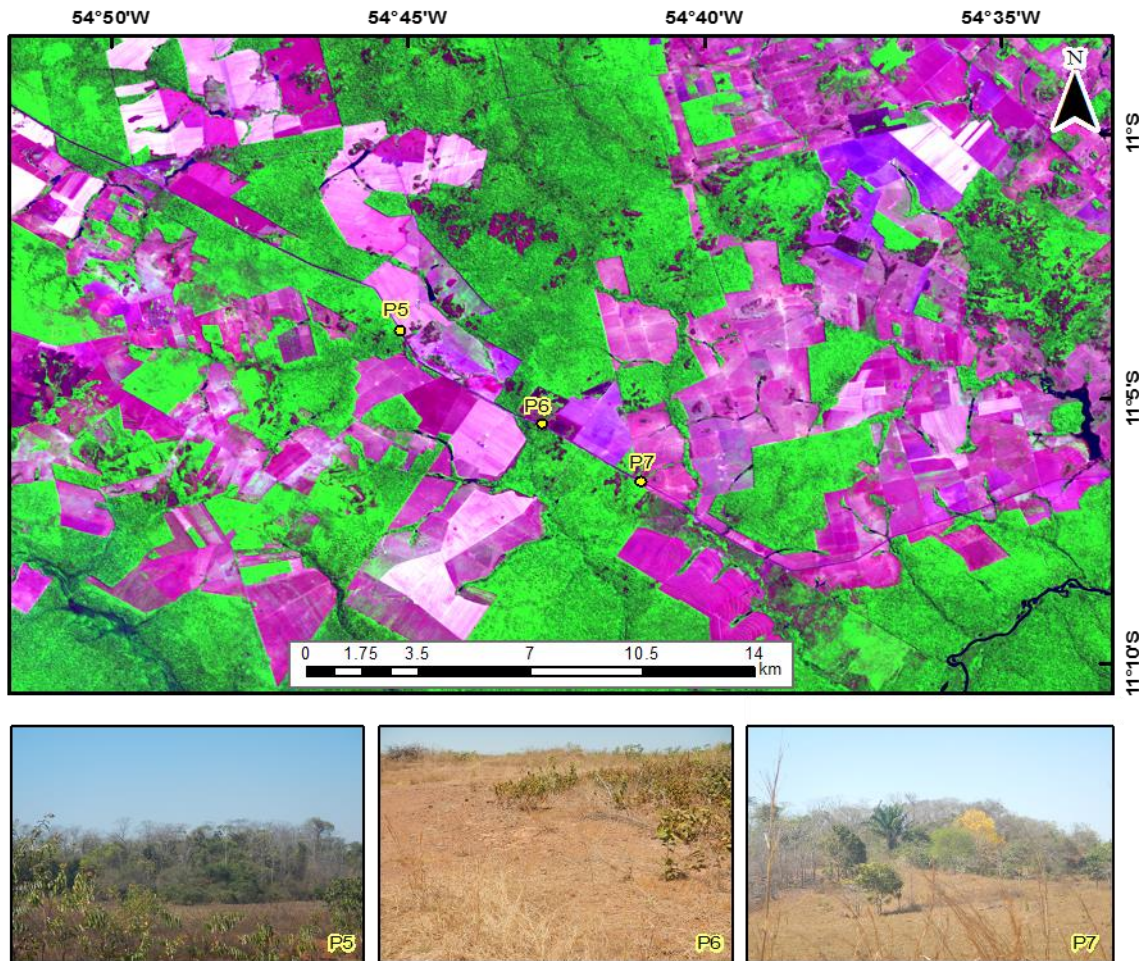
Fonte: Produção do autor.

Pela Figura 5.1, pode-se observar que não houve mudanças abruptas na configuração espacial das áreas degradadas no período mapeado. A área ocupada pelos níveis intermediários de degradação florestal (0,4 a 0,6) demonstra gradativa diminuição ao longo do período. Em 2012 essas classes intermediárias ocupavam uma área aproximada de 895 km<sup>2</sup> e em 2015, apenas 105 km<sup>2</sup>, uma redução de aproximadamente 88%, mostrando uma possível regeneração da área. Em 2012, 2013 e 2014 essas áreas se concentravam principalmente no centro e sudeste da região estudada, ao passo que em 2015, os níveis intermediários de degradação florestal ocorreram na porção central e sul, ocupando uma extensão inferior em relação aos anos anteriores.

As áreas classificadas como *não floresta* aparecem ao norte da área de estudo. São áreas de afloramento rochoso que tem origem geológica antiga (em geral pré-cambriana) e possuem como características principais a ausência quase que completa de cobertura vegetal (GIULIETTI et al., 1997). Este fato justifica a semelhança espectral com as áreas de corte raso ou de alta intensidade de degradação florestal. De acordo com Meirelles et al. (1999) e Porembski (2002), esses afloramentos rochosos abrigam um ecossistema de estrutura frágil com habitat que concentram espécies endêmicas que geralmente são bastante diferentes da vegetação do entorno. A Figura 5.2 mostra exemplos de pontos visitados em campo e a identificação de suas respectivas áreas de afloramento rochoso.



Figura 5.2 – Áreas de afloramento rochoso em composição colorida 654 OLI/Landsat em 2014, e pontos visitados em campo para validação da máscara de não floresta.

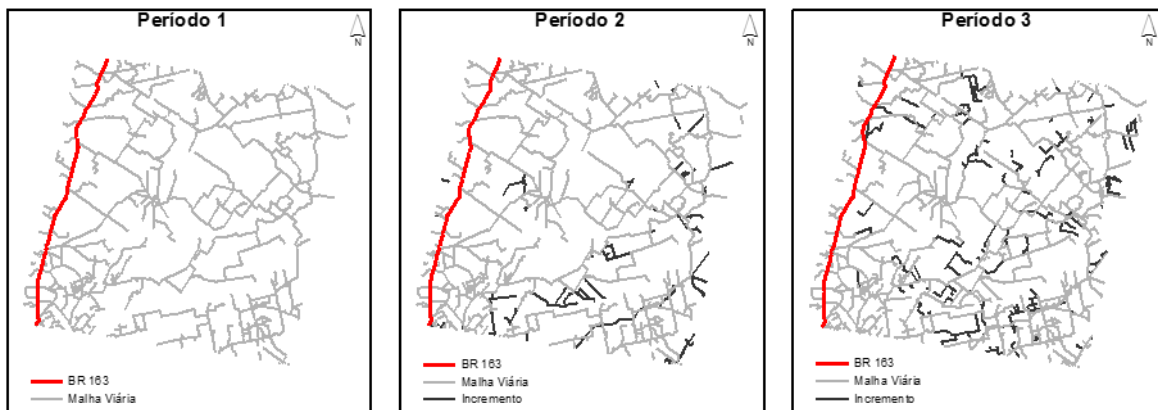


Fonte: Produção do autor.

### 5.1.2. MAPEAMENTO DE ESTRADAS

Foram obtidos três diferentes mapas da malha viária da região de estudo, representando a rede estradas em cada período. Neste mapeamento, o revestimento (asfalto ou terra) das estradas da região não foi discriminado. A Figura 5.3 mostra o resultado do mapeamento das estradas para os três períodos de estudo.

Figura 5.3 – Mapeamento das estradas por período de estudo.



Fonte: Produção do autor.

Por meio da análise da Figura 5.3 é possível observar a expansão da malha viária nos períodos estudados. Os resultados do mapeamento apontam que ao fim do primeiro período, a malha viária era de aproximadamente, 3.796 km. No segundo período, a extensão da rede de estradas ultrapassava os 4.342 km, o que representou um aumento de 12,5%. No terceiro período, houve aumento de aproximadamente 795 km na malha viária, totalizando 5.138 km, representando um aumento de 15,5%.

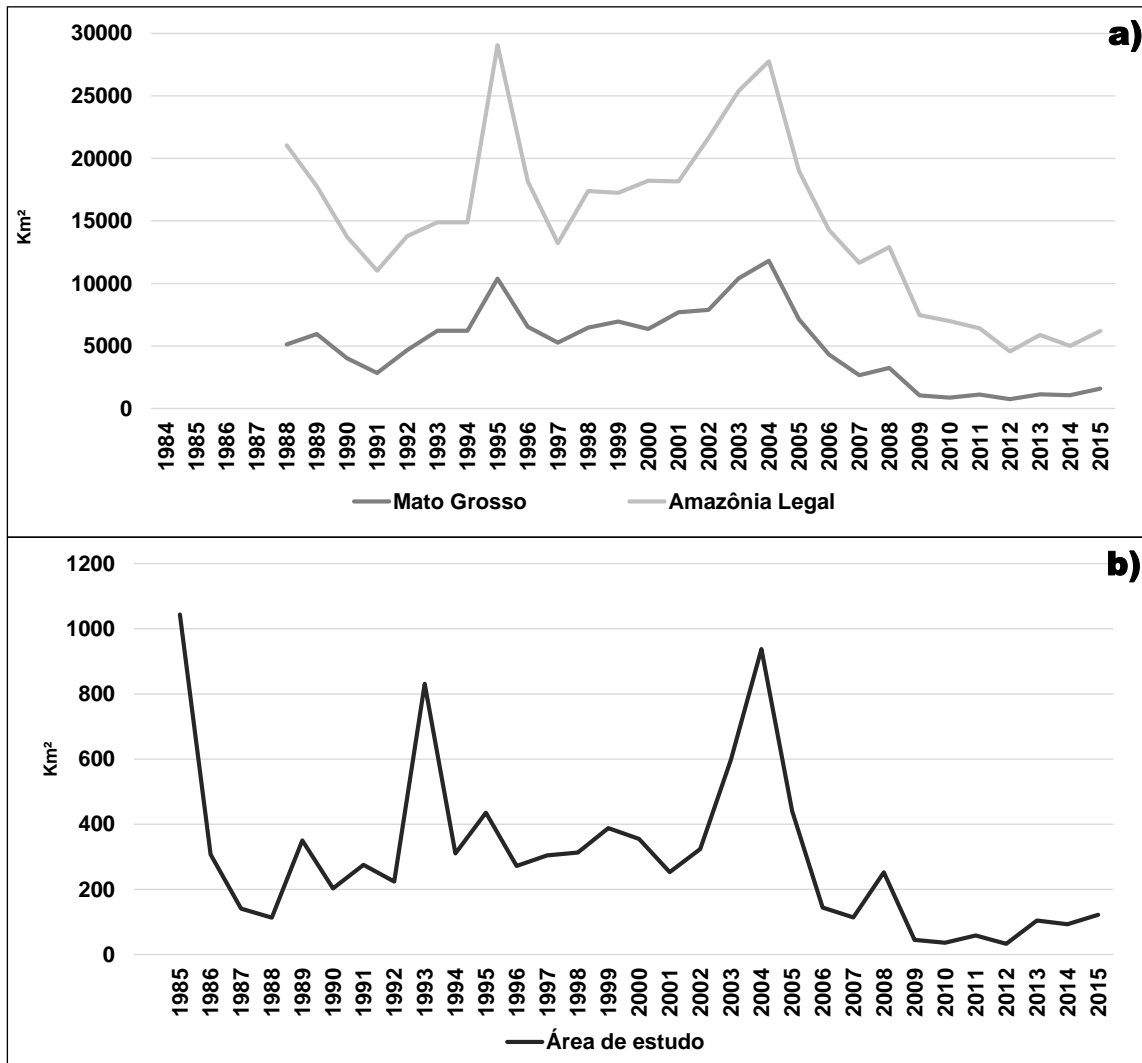
A observação da Figura 5.3 permite ainda constatar que o aumento do número de estradas no segundo período ocorreu, em sua grande maioria, na parte sudeste, ao passo que no terceiro período, o incremento ocorreu ao longo de toda a área de estudo. Dados do TerraClass de 2004 e 2014 apontam que a maioria das áreas onde houve incremento da malha viária, no segundo e terceiro período, são áreas de agricultura anual. Este fato permite concluir que o agronegócio demanda uma logística de transporte mais efetiva, principalmente, para escoamento de produção.

## 5.2. DESMATAMENTO E DEGRADAÇÃO FLORESTAL: UMA VISÃO GERAL AO LONGO DO TEMPO

A integração dos dados de intensidade de degradação florestal produzidos neste estudo com os dados de Pinheiro (2015) deu origem a base de dados de 1984 a 2015. A partir dessa série histórica foi possível traçar um panorama geral tanto da degradação florestal quanto do

desmatamento da região. Na Figura 5.4 é apresentada a dinâmica temporal do desmatamento.

Figura 5.4 – Dinâmica temporal do desmatamento: em a), a dinâmica do desmatamento em Mato Grosso e na Amazônia Legal, de acordo com os dados do PRODES; em b), a dinâmica temporal da área de estudo.



Fonte: Produção do autor.

De acordo com a Figura 5.4, as maiores áreas desmatadas registradas ocorreram no primeiro ano de mapeamento, com aproximadamente 1000 km² em 1985, o que pode significar que neste ano houve intensificação no ritmo do processo de ocupação. Nos anos seguintes foi observada queda do desmatamento, que se manteve com pouca variação até 1993, de cerca de 831 km², o que indica novamente aumento no ritmo da ocupação. Um novo aumento foi registrado em 2004, de 938 km² e, a partir desse ano, foi

observada queda para aproximadamente 250 km<sup>2</sup>, apresentando pouca variação até 2008. Os dados do mapeamento apontam para valores menores a partir de 2005, com uma tendência de aumento desde 2013.

Estes resultados corroboram com os dados do PRODES que mostram dinâmica temporal do desmatamento para o estado de Mato Grosso e Amazônia Legal semelhantes à da área de estudo. Mesmo que em Mato Grosso e na Amazônia Legal tenham sido registradas concomitantemente as primeiras altas da taxa de desmatamento em 1994, o padrão observado nos anos seguintes demonstrou similaridade, com picos em 2004 e em 2008, ainda de acordo com a Figura 5.4.

Os dados revelam ainda que o desmatamento acumulado na área de estudo até 2015 foi de 10.560 km<sup>2</sup>, que corresponde a 39% da área. No Mato Grosso o acumulado foi de 139.917 km<sup>2</sup>, que representa aproximadamente 31% da área, e na Amazônia Legal o acumulado foi de 413.882 km<sup>2</sup>, que representa 17,5%, de acordo com dados do PRODES. Ao comparar o primeiro e o segundo período houve uma pequena redução da área desmatada, passando de 4.938 km<sup>2</sup>, para 4.180 km<sup>2</sup>, que representa aproximadamente 15%. Ao comparar o segundo com o terceiro período, a redução foi bastante significativa e representou uma queda de 1.442 km<sup>2</sup>, que representa aproximadamente 66%. Na Tabela 5.1, é apresentado um resumo da taxa anual de desmatamento para a área de estudo (cena 226/68), para o estado de Mato Grosso e para a Amazônia Legal.

Tabela 5.1 – Área desmatada para a cena 226/68, para o estado de Mato Grosso e para a Amazônia legal em km<sup>2</sup>.

<b>Ano</b>	<b>Cena 226/68</b>	<b>Mato Grosso</b>	<b>Amazônia Legal</b>
1984	-	-	-
1985	1044	-	-
1986	307	-	-
1987	141	-	-
1988	113	5140(a)	21050(a)
1989	350	5960	17770
1990	203	4020	13730
1991	275	2840	11030
1992	224	4674	13786
1993	831	6220(b)	14896(b)

Tabela 5.1 – Taxa anual de desmatamento para a área de estudo, para o estado de Mato Grosso e para a Amazônia legal em km<sup>2</sup> (continuação).

1994	310	6220(b)	14896(b)
1995	435	10391	29059
1996	272	6543	18161
1997	304	5271	13227
1998	313	6466	17383
1999	388	6963	17259
2000	355	6369	18226
2001	253	7703	18165
2002	324	7892	21651
2003	598	10405	25396
2004	938	11814	27772
2005	441	7145	19014
2006	144	4333	14286
2007	114	2678	11651
2008	252	3258	12911
2009	45	1049	7464
2010	36	871	7000
2011	58	1120	6418
2012	33	757	4571
2013	104	1139	5891
2014	93	1075	5012
2015	122	1601	6207
Acumulado (início-2015)	10560	139917	413882

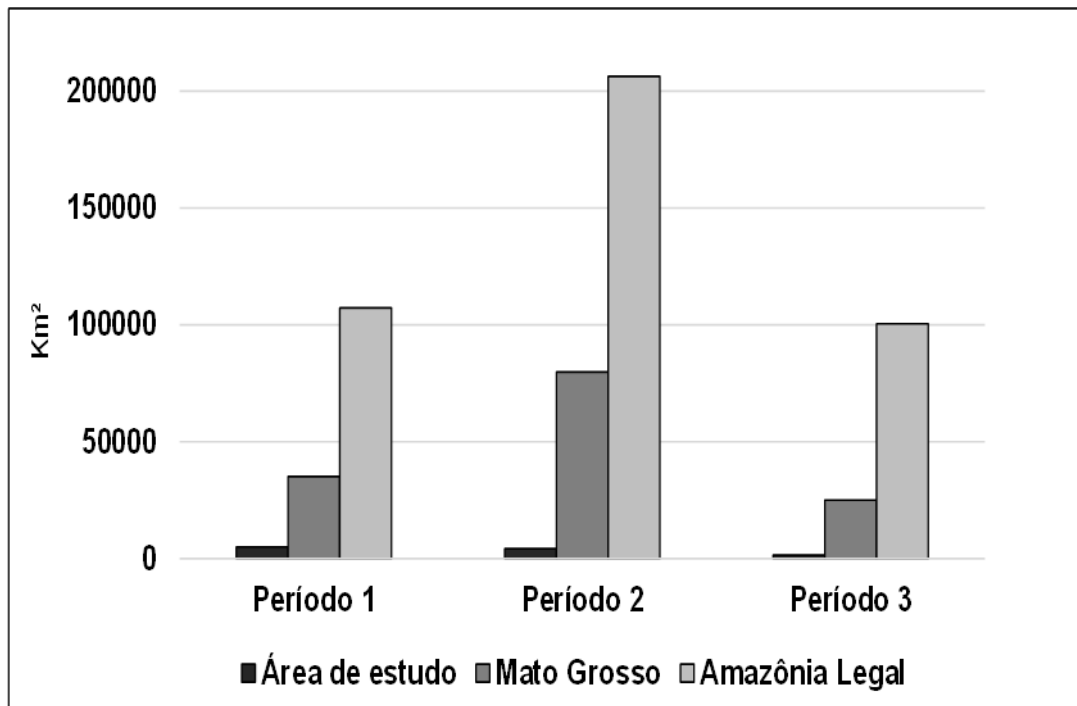
(a) Média entre 1977 e 1988

(b) Média entre 1993 e 1994

Fonte: Adaptado de Pinheiro (2015); INPE (2016).

Os resultados apresentados na Tabela 5.1 demonstram ainda que houve queda abrupta ao se comparar área do desmatamento acumulado entre períodos. Essa dinâmica difere da dinâmica do Mato Grosso e da Amazônia legal, cuja maior área desmatada ocorreu no segundo período com 79.817 km<sup>2</sup> e 206.229 km<sup>2</sup>, respectivamente, como pode ser observado na Figura 5.5.

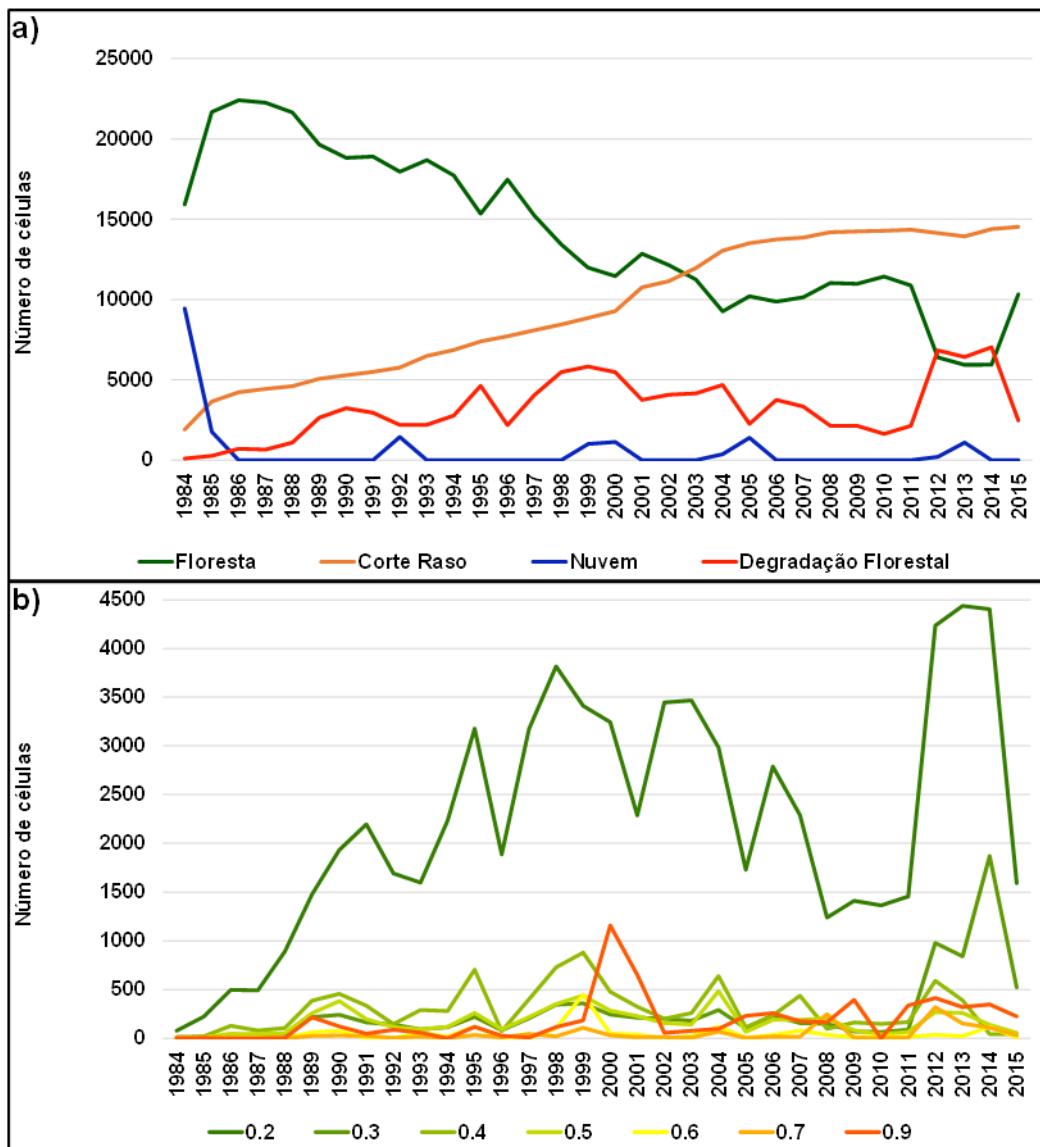
Figura 5.5 – Desmatamento acumulado, por período, na área de estudo, em Mato Grosso e na Amazônia Legal.



Fonte: Produção do autor.

Os dados do período de 1985-2015 possibilitaram realizar uma análise da dinâmica da degradação florestal na região por um período de 31 anos. Os resultados mostram aumento expressivo da área observada de floresta nos primeiros anos de estudo, como pode ser observado na Figura 5.6. Entretanto, esse aumento se deve, em parte a presença de nuvens pois, sobretudo nos primeiros anos de estudo, a área de floresta aumenta à medida que a cobertura de nuvens diminui.

Figura 5.6 – Dinâmica temporal da degradação florestal na área de estudo: a) um panorama geral da degradação florestal em relação as demais classes e b) a dinâmica temporal de cada classe de intensidade de degradação florestal.



Fonte: Produção do autor.

Como era de se esperar, observa-se na Figura 5.6<sup>a</sup> que, ao longo do período analisado, há uma relação inversa entre as áreas de *floresta* e de *corte raso*. A diminuição das áreas da classe *floresta* (intacta), em menor grau, pode estar relacionada também com a degradação florestal, pois podem ocorrer eventos na floresta intacta (exploração seletiva de baixo impacto por exemplo), fazendo com que essas áreas afetadas mudem de classe (0,2 ou 0,3). Pinheiro (2015) destaca que, apesar da ocorrência de os padrões de intensidade de degradação florestal, as reduções mais significativas ocorreram nos padrões de baixa intensidade de degradação florestal, principalmente no período de 2005

a 2011, como mostra a Figura 5.6b. Essa redução pode estar relacionada tanto com a efetivação de políticas mais restritivas de uso dos recursos florestais a partir de 2004 (VALERIANO et al., 2012) quanto com a exaustão dos estoques de madeira na região, visto que Sinop possui histórico de atividade madeireira de mais de 30 anos (LENTINI et al., 2005).

### **5.3. ANÁLISE E INDICAÇÃO DE FATORES RELACIONADOS COM A INTENSIDADE DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL**

Nesta seção, são apresentados os fatores que influenciam a intensidade da degradação florestal, definidos a partir de técnicas de estatística multivariada, para cada período estudado. Os procedimentos empregados na construção e validação dos modelos de cada período foram realizados de acordo com Neter et al. (1996) e mais detalhes sobre a análise estatística realizada e os resultados da validação dos modelos são apresentados no Anexo B.

As variáveis que influenciaram a intensidade de degradação florestal na série temporal estudada foram: *distância de estradas*, *distância de áreas desmatadas*, *distância de áreas queimadas*, *densidade de focos de calor* e *distância de planos de manejo*, essas duas últimas, presentes apenas nos dois últimos períodos de estudo. Esses resultados corroboram com vários trabalhos desenvolvidos utilizando imagens de satélite e/ou dados de campo acerca do fenômeno da degradação florestal na Amazônia brasileira. De acordo com esses estudos, os principais fatores que influenciam ou intensificam a degradação florestal são o desmatamento e a fragmentação florestal (Ferreira et al., 2015; Hadley e Betts, 2011; Alvarado et al., 2004; Fahrig, 2003; Laurance et al., 2002 e; Ferreira e Laurance, 1997); o fogo florestal (Fonseca et al., 2015; Shimabukuro et al., 2014; Fletcher, 2014; Lima et al., 2012), a exploração seletiva de madeira (Carvalho et al., 2017; Barlow et al., 2016; Berenguer et al., 2014; Monteiro et al., 2004 e; Filha, 2002) e a presença de estradas (Lima e Penna, 2016; Pfaff et al., 2009; Arima et al., 2008 e; Arima et al., 2005). Os resultados obtidos no corrente estudo também apontam para esses fatores em todos os períodos estudados, com a adição de um novo fator, cujo efeito é provocar a redução da intensidade



da degradação, relacionado com as políticas de controle e regulação da atividade madeireira, que são os planos de manejo. Os modelos para cada período e as variáveis que compõem cada modelo são apresentados na seção 5.3.1. Na Seção 5.3.2 são apresentadas as estimativas dos pesos de cada variável dos modelos obtidos nos três períodos analisados. A mudança do peso das variáveis ao longo dos três períodos, bem como a inclusão de uma nova variável no segundo e no terceiro período, *distância a planos de manejo*, refletem a dinâmica de ocupação da região bem como os estágios evolutivos que essa região de fronteira se encontrava.

### 5.3.1. MODELOS E FATORES EXPLICATIVOS DA INTENSIDADE DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL

No primeiro período (1984 a 1994), as principais variáveis que influenciaram a intensidade de degradação florestal (IDF) foram a presença de estradas, as áreas de floresta queimadas e o desmatamento, representados, respectivamente, pelas variáveis *distância das estradas* (DE), *distância das áreas queimadas* (DQ) e *distância das áreas desmatadas* (DD). Além dessas três variáveis, *distância aos planos de manejo florestal sustentável* (DPMFS) e *densidade de Kernel de focos de calor* (DKF) compuseram o conjunto de variáveis que explicaram a intensidade de degradação florestal no segundo e terceiro períodos. Os modelos estimados para os períodos 1, 2 e 3 são mostrados nas Equações:

$$IDF_1 = 3,256 \times 10^{-1} - 1,097 \times 10^{-5} \times DE - 6,632 \times 10^{-6} \times DQ - 6,054 \times 10^{-6} \times DD \quad (5.1)$$

$$IDF_2 = 3,206 \times 10^{-1} - 4,511 \times 10^{-6} \times DE - 3,233 \times 10^{-7} \times DQ - 1,491 \times 10^{-5} \times DD + 3,233 \times 10^{-7} \times DPMFS + 4,957 \times 10^4 \times DKF \quad (5.2)$$

$$IDF_3 = 3,292 \times 10^{-1} - 1,179 \times 10^{-5} \times DE - 8,583 \times 10^{-6} \times DQ - 1,939 \times 10^{-5} \times DD + 2,823 \times 10^{-7} \times DPMFS + 6,801 \times 10^4 \times DKF \quad (5.3)$$

Os modelos apresentados nas Equações 5.1, 5.2 e 5.3, mostram que grande parte das variáveis independentes possuem relação inversa com o fenômeno estudado (evidenciado pelo sinal negativo dos coeficientes no modelo), o que indica, por exemplo, que a proximidade com estradas, áreas

desmatadas e áreas queimadas favorecem intensidades mais altas de degradação florestal. A variável “*densidade de Kernel de focos de calor*”, possui relação positiva e indica que onde há maior densidade de focos de calor, há maior intensidade de degradação florestal. O contrário ocorre com as áreas de plano de manejo, ou seja, quanto mais próximo dessas áreas, menor a intensidade de degradação florestal. Esses resultados corroboram com as premissas estabelecidas à priori, relacionadas anteriormente na Tabela 4.3 da Seção 4.4.1.

A análise de regressão, mostrou que o modelo estimado para o primeiro período explica (valor de  $r^2$ ) aproximadamente 76% o fenômeno estudado. Todas as variáveis que compõem este modelo apresentaram alta significância estatística. Os testes estatísticos realizados sobre os resíduos apontaram normalidade e homocedasticidade e a avaliação de multicolinearidade revelou que as variáveis independentes não são correlacionadas entre si. Esses resultados indicam que a abordagem é adequada e são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Resultados da análise de resíduos e de multicolinearidade do primeiro período de estudo.

Estatística	Normalidade (Shapiro-Wilk)*	Homocedasticidade (Breusch-Pagan)**	Multicolinearidade (VIF)***	
			Variável	Valor
p-valor	0,9964	1,6332	DE	1,2511
	0,8134	0,6519	DD	1,2646
			DQ	1,5430

\*Valores de referência: indica normalidade quando o p-valor for maior que 0,05.

\*\* Valores de referência: indica homocedasticidade quando o p-valor for maior que 0,05.

\*\*\* Valores de referência: indica multicolinearidade quando o VIF for maior que 7.

Fonte: Produção do autor.

Os fatores que interferiram na intensidade de degradação florestal encontrados no primeiro período são consistentes com outros estudos como Matricardi et al. (2010) que apontam que, dentre outras variáveis, o desmatamento e os incêndios florestais foram responsáveis pela degradação florestal na Amazônia mato-grossense no período de 1992 a 2004. O estudo de Kury (2016) para toda a Amazônia Legal identifica as estradas como um dos fatores mais importantes que interferem na degradação florestal na Amazônia. A integração física da Amazônia com o restante do país vem sendo discutida desde o início da década de 70,

quando tiveram início os programas de ocupação promovidos pelo Estado, mostrando que a infraestrutura rodoviária tem uma grande importância nas dinâmicas de cobertura florestal sendo responsável por promover o acesso físico a essas áreas, como apontado por Pfaff et al. (2009).

Becker (1982) afirma que o impacto causado pela abertura de estradas foi violento, pois promoveu, de maneira rápida, “a introdução de uma nova dinâmica política territorial, contrariando o ritmo lento que prevalecia na região”. Matricardi et al. (2010) também destacam o impacto de estradas sobre a floresta. Segundo estes autores, a ampliação da malha viária exerce pressão sobre a floresta, facilitando o acesso às áreas florestais, propiciando o aumentando de atividades de exploração madeireira.

O trabalho de revisão de Pfaff et al. (2009), que avalia os impactos da construção de estradas na Amazônia no desmatamento, considerando diferentes contextos socioeconômicos e ambientais, mostra que o impacto da construção de novas estradas irá depender das condições ambientais e econômicas locais. Segundo os autores, a abertura de uma nova estrada em uma área de floresta ainda íntegra não promove perdas florestais locais nos primeiros anos, mas irá impactar a floresta ao longo do tempo. O período estudado no presente trabalho é posterior ao da abertura da Br- 163 e de grande parte das estradas existentes na região, de forma que a relação significativa encontrada da estrada com a floresta degradada, pode ser vista como um efeito de médio/ longo prazo após sua construção.

Grogan et al., (2002), Arima et al., (2005, 2008) destacam que a indústria madeireira talvez seja o principal agente construtor de estradas não oficiais na Amazônia. De acordo com Arima et al., (2005), os madeireiros constroem estradas para terem acesso as espécies de maior valor para maximizar lucros e minimizar as distâncias. Neste processo, eles evitam encostas muito íngremes e rios que requerem pontes de alto custo, o que faz com que essas estradas atendam à demanda local e temporária, e posteriormente podem ser utilizadas para subsidiar atividades que necessitem de melhor infraestrutura.

A variável “*distância de áreas desmatadas*” também apresentou relação significativa com a degradação florestal. As áreas desmatadas fazem fronteira com áreas de floresta estabelecendo faixas de borda onde as condições climáticas e de iluminação diferem das condições do interior das florestas, ocasionando a degradação (LAURANCE et al, 1998; NASCIMENTO e LAURANCE, 2006). Nessas bordas é esperada uma maior intensidade de degradação do que nas áreas mais distantes, como prevê o modelo.

Com relação a variável “*distância de áreas queimadas*”, também incluída no modelo do primeiro período, as práticas corte-queima<sup>6</sup> para limpeza das áreas desmatadas, bem como das áreas agrícolas e de pastagem, implica no uso de fogo. Essas práticas eram mais comuns no início da expansão da fronteira agrícola, embora ainda perdurem nos dias atuais (SPONSEL, 1986; BRONDÍZIO et al., 2002; BRONDÍZIO, 2006; TEIXEIRA, 2006). Como o fogo muitas vezes não é controlado, ele avança para além das áreas de interesse, afetando uma extensão maior da cobertura florestal, promovendo mudanças na floresta. De acordo com Barlow e Peres (2008) e Cochrane (2003), é comum a recorrência de fogo florestal em áreas anteriormente afetadas pelo fogo, principalmente devido à perda da capacidade de retenção da umidade e o acúmulo de matéria orgânica morta, que servem como combustível, tornando as áreas mais propensas à queima.

No segundo período (de 1995 a 2004), as variáveis *distância das estradas* (DE), *distância de áreas queimadas* (DQ) e *distância de áreas desmatadas* (DD) compuseram o conjunto de variáveis independentes do modelo. Contudo, duas novas variáveis são introduzidas, a *distância de planos de panejo* (DPMFS) e *densidade de Kernel de focos de calor* (DKF). A análise de regressão revelou que o modelo estimado explica (valor de  $r^2$ ) aproximadamente 85% da intensidade de degradação florestal. Todas as variáveis independentes do modelo apresentaram alta significância

---

<sup>6</sup> Essa prática ainda perdura, embora possa ter reduzido, principalmente após efetivação da proibição da queima (Lei Federal 4.771 de 15 de setembro de 1965, Lei Federal 6.938 de 31 de agosto de 1981, Decreto Federal 2.661 de oito de julho de 1998 e Decreto Federal 3.010 de 30 de março de 1999), e o convívio com outras práticas, como o uso de maquinário na agricultura de larga escala.

estatística. A análise dos resíduos indicou normalidade e homocedasticidade e a avaliação da multicolinearidade, indicou ausência de relação entre as variáveis independentes. A Tabela 5.3 mostra os resultados da análise de resíduos e os resultados da avaliação da multicolinearidade das variáveis independentes.

Tabela 5.3 – Diagnóstico da avaliação da análise de resíduos e de multicolinearidade do segundo período de estudo.

	Normalidade (Shapiro-Wilk)*	Homocedasticidade (Breusch-Pagan)**	Colinearidade (VIF)***	
			Variável	Valor
Estatística	0,995	7,0217	DE	1,2551
p-valor	0,7239	0,219	DD	2,3054
			DQ	1,5927
			DPMFS	1,4318
			DKF	1,8056

\* Valores de referência: indica normalidade quando o p-valor for maior que 0,05.

\*\* Valores de referência: indica homocedasticidade quando o p-valor for maior que 0,05.

\*\*\* Valores de referência: indica multicolinearidade quando o VIF for maior que 7.

Fonte: Produção do autor.

A presença dessas duas novas variáveis (*distância de planos de manejo e densidade de Kernel de focos de calor*) no modelo estimado para o segundo período indica influência de novos fatores sobre as áreas de floresta na região. No caso dos planos de manejo florestal, que apesar de terem sido recomendados desde 1965 pela lei federal nº 4.771, foram regulamentados apenas em 1994, por meio de decreto federal 1.282 e, portanto, só começaram a ser fiscalizados de maneira mais efetiva a partir do ano de 1995, após a publicação da portaria nº 48 do IBAMA. Este contexto pode justificar o aparecimento da variável “*distância de planos de manejo*”.

A variável “*densidade de Kernel de focos de calor*” também é incluída no modelo como um novo fator. Apesar dos focos de calor não indicarem necessariamente incêndios, podem ser um importante indicador para queimadas, pois são pontos geográficos na superfície do solo com temperatura acima de 47° C (GONTIJO et al., 2011). Os locais com maior densidade de focos de calor são, portanto, os que apresentam maior chance de ocorrência de queimadas. A inclusão desta variável no modelo apenas a partir do segundo período pode estar relacionada com a

disponibilidade dos dados de focos de calor, gerados mensalmente a partir do ano de 1992. No primeiro período (de 1984 a 1994), o dado de entrada utilizado para gerar a variável *densidade de Kernel de focos de calor* apresentava um total de 4.925 focos acumulados em 3 anos (1992 a 1994), enquanto que o dado de entrada do segundo período apresentava um total de 24.863 pontos de focos de calor acumulado para 10 anos (1995 a 2004).

Como visto anteriormente nas Equações 5.2 e 5.3, os modelos estimados para o segundo e terceiro período são compostos pelo mesmo conjunto de variáveis. Contudo, o modelo estimado no terceiro período apresentou ajuste ( $r^2$ ) ligeiramente superior, de aproximadamente 86%, em relação ao segundo. A análise dos resíduos do terceiro período também indicou normalidade e homocedasticidade e a avaliação da multicolinearidade, revelou que não há relação entre as variáveis independentes deste modelo. Estes resultados podem ser observados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Diagnóstico da avaliação da análise de resíduos e de multicolinearidade do terceiro período de estudo.

	Normalidade (Shapiro-Wilk)*	Homocedasticidade (Breusch-Pagan)**	Colinearidade (VIF)***	
			Variável	Valor
Estatística	0,9925	7,873	DE	2,1624
p-valor	0,2998	0,1634	DD	1,8018
			DQ	1,8550
			DPMFS	1,2104
			DKF	1,8603

\* Valores de referência: indica normalidade quando o p-valor for maior que 0,05.

\*\* Valores de referência: indica homocedasticidade quando o p-valor for maior que 0,05.

\*\*\* Valores de referência: indica multicolinearidade quando o VIF for maior que 7.

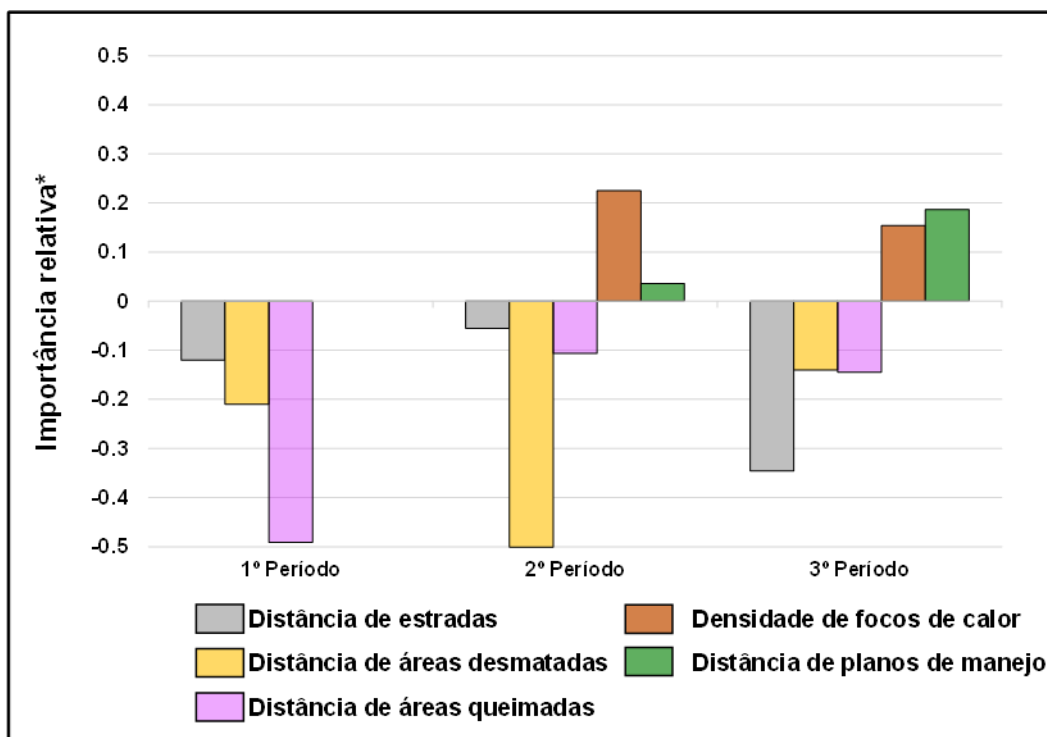
Fonte: Produção do autor.

Em geral, o conjunto de variáveis independentes dos três modelos é semelhante, entretanto, a contribuição relativa das variáveis é diferente em cada um deles. Na seção seguinte, é apresentada uma discussão acerca da contribuição relativa das variáveis de cada modelo na qual se buscou relacionar tais contribuições com os diferentes estágios da fronteira agropecuária.

### 5.3.2. CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DOS FATORES PARA CARACTERIZAÇÃO DA INTENSIDADE DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL NOS DIFERENTES PERÍODOS DA FRONTEIRA AGROPECUÁRIA

Os resultados da análise estatística multivariada permitiram identificar os fatores que influenciam a intensidade de degradação florestal em cada período de estudo. Não houveram grandes variações no conjunto de variáveis ao longo do tempo, contudo, a contribuição de cada variável é diferente, o que permite estabelecer uma relação entre a importância relativa das variáveis em cada período com os diferentes estágios de fronteira, conforme pode ser observado na Figura 5.7.

Figura 5.7 – Contribuição relativa de cada variável por período de estudo.



\*O valor negativo da importância relativa foi utilizado apenas para demonstrar se relação das variáveis independente com a dependente é positiva ou negativa.

Fonte: Produção do autor.

A análise da Figura 5.7 mostra que, no primeiro período, a variável “*distância de áreas queimadas*” é a que possui a maior importância relativa comparada com as demais. Este fato pode estar relacionado principalmente com o uso de fogo para limpeza de áreas de floresta convertidas em outros usos e coberturas, principalmente devido ao método utilizado na região, de corte-

queima, conforme citado anteriormente. Em determinadas classes de uso da terra, como, por exemplo, nas áreas de pasto, o uso do fogo é comumente utilizado como prática de manejo (NEPSTAD et al., 1999b, SÁ et al., 2007 e VASCONCELOS et al., 2013), sobretudo, nas pastagens novas, onde a regeneração natural da floresta ocorre com mais facilidade. O uso de fogo, tanto para limpeza de novas áreas quanto para manejo, pode atingir a floresta, causando danos. Nesse período, o controle de queimadas ainda não era efetivo, o que explica a grande contribuição dessa variável no modelo.

Assim como as áreas queimadas, o desmatamento também teve uma importante contribuição para a degradação, promovendo o aumento da fragmentação florestal que favorece a ocorrência dos efeitos de borda. Áreas queimadas e áreas desmatadas, sobretudo no primeiro período do estudo, estão vinculadas ao mesmo processo, o da supressão da vegetação e do uso de fogo para limpeza das áreas desmatadas (RAVACHE, 2013). Na área de estudo, além da retirada da floresta para a construção das cidades, como Sinop, Cláudia e Vera, houve também desmatamento para o desenvolvimento de atividades socioeconômicas ligadas principalmente a agricultura e a pecuária. Essas atividades foram incentivadas e nesse período, constituíram a principal estratégia para atrair investimentos, pessoas e mercadorias para a região (SOUZA, 2004, TEIXEIRA, 2006). Com isto, o desmatamento associado ao fogo, para limpeza das novas áreas desmatadas, contribuiu de forma significativa para a alteração das áreas de florestas no entorno dessas áreas.

O processo de ocupação local, dependeu fortemente da instalação de infraestrutura para integrar a região às outras regiões do país. Na área de estudo, essa integração ocorreu quase que exclusivamente por meio da construção de estradas, ampliando, assim, o acesso às áreas de floresta, o que justifica a presença da variável “*distância de estradas*” em todos os modelos de todos os períodos analisados. A primeira e principal via de acesso dessa região foi a rodovia BR-163 que, além de ter permitido o acesso dos colonos vindos majoritariamente da região sul às novas terras, favoreceu o desenvolvimento das cidades, como é o caso de Sinop (TEIXEIRA, 2006). A partir da BR-163, novas estradas planejadas foram construídas, dando acesso



a novas áreas que levaram à formação de novos núcleos urbanos, como Cláudia, Vera e Marcelândia (TEIXEIRA, 2006), beneficiando também o acesso às novas áreas de exploração madeireira.

A degradação florestal favorecida pelas estradas se mostrou ligeiramente menor no segundo período, de acordo com a Figura 5.7. Apesar de neste segundo período ter ocorrido o estabelecimento do agronegócio, que necessita de infraestrutura viária de maior qualidade (BERNARDES, 2006, SILVA, 2013, LIMA e PENNA, 2016), a rede de estradas existentes era suficiente para atender a demanda exigida pela agricultura. Os destaques neste período são para as variáveis “*densidade de Kernel de focos de calor*” e “*distância de planos de manejo*”. Conforme ressaltado anteriormente, a alta densidade de focos de calor está relacionada com a disponibilidade de dados oriundos do sistema de monitoramento de queimadas, conforme destacado na subseção anterior.

A inserção da variável relacionada aos planos de manejo, ainda com uma pequena contribuição no modelo do segundo período, pode ser explicada devido ao início da regulamentação e obrigatoriedade da exploração madeireira via manejo florestal sustentável, que até então não era exigida. Conforme destacado na subseção anterior, os planos de manejo só foram regulamentados a partir de 1995 por meio de legislação específica. Tem-se, então, a partir daí maior incentivo e fiscalização das áreas exploradas, sobretudo em florestas privadas. De acordo com dados da SEMA-MT, até 1995 as florestas manejadas na região somavam aproximadamente 6.915 ha, ao passo que ao final de 2004 esse montante já ultrapassava os 16.300 ha, um aumento de aproximadamente 135% no período. Esses dados apontam que grande parte da madeira explorada até 1995 era retirada de maneira desordenada e predatória das florestas.

O segundo período de estudo aparece como um momento decisivo na construção de uma política ambiental mais ativa e eficaz, sob orientação de normas técnicas mais específicas e início de uma fiscalização mais efetiva. Barros e Veríssimo (1996) apontam que o manejo florestal procura reduzir os danos à floresta e aumentar eficiência das operações de

exploração. Filha (2002) afirma que vantagens do manejo florestal em relação à exploração não manejada, é que a primeira reduz o desperdício de matéria prima florestal em até 26,48%, o que resulta em maior produtividade. Contudo, a autora ressalta que é de extrema importância a adoção do manejo florestal concomitante com pesquisas básicas que garantam a regeneração das espécies extraídas pelo corte seletivo.

Mesmo com a contribuição dos planos de manejo florestal, dos focos de calor e demais variáveis que interferiram na intensidade de degradação florestal, o destaque principal no segundo período é, certamente, para o desmatamento. A variável “*distância de áreas desmatadas*” apresentou maior importância relativa, o que pode estar associado às altas taxas de desmatamento registradas neste período (Tabela 5.1, Seção 5.2). Inúmeros são os impactos causados pelo desmatamento nas áreas de floresta, tal como o efeito de borda, que altera o microclima, a disponibilidade de luz, que favorece o aparecimento das espécies pioneiras, alterando toda a composição florística local (NASCIMENTO e LAURENCE, 2006). Outro aspecto importante do desmatamento é a fragmentação florestal que pode ocasionar a perda de habitat, além do aumento de bordas, aumentando as chances de ocorrer extinção local de determinadas espécies devido ao isolamento dos fragmentos (FORMAN e GORDON, 1986; FAHRIG, 2003).

No terceiro período, o desmatamento também aparece como importante fator que interfere na intensidade de degradação florestal, porém, com menor importância relativa, se comparado ao período anterior. Tal redução da importância relativa da variável “*distância de áreas desmatadas*” pode estar relacionada com os reflexos das políticas públicas de controle e combate ao desmatamento implementadas no final do segundo período, como o PPCDAm, que resultaram na queda da taxa de desmatamento, conforme mostrado na Figura 5.4 da Seção, 5.2. Essas medidas refletiram na redução da taxa de desmatamento registrada pelo PRODES neste período (o acumulado do segundo período foi de 4.180 km<sup>2</sup> e o acumulado no terceiro período foi de 1.442 km<sup>2</sup>).

Ações como a moratória da soja e da carne também podem estar associadas à diminuição do desmatamento e, conseqüentemente, à redução dos impactos do desmatamento. Outro fator importante diz respeito ao esgotamento dos recursos florestais nessa região. Os dados levantados apontam que no fim do terceiro período a área de floresta era de aproximadamente 2.582 km<sup>2</sup>, ao passo que no final do segundo e primeiro período, a floresta ocupava 5.755 e 16.258 km<sup>2</sup> respectivamente.

Ao contrário do desmatamento, os planos de manejo influenciaram consideravelmente na intensidade de degradação florestal no terceiro período (Figura 5.7). A importância relativa da variável “*distância de planos de manejo*” mais que triplicou. Mesmo após a deflagração da operação *Curupira*, que impactou fortemente o setor florestal como um todo no estado de Mato Grosso, o aumento da importância das áreas de manejo sobre a intensidade de degradação florestal tem provável associação com políticas públicas, dessa vez, promovidas em esfera estadual em complemento às ações promovidas pelo governo federal. Surge nesse período o programa Mato-grossense de Regularização Ambiental Rural (MT-LEGAL), criado pela lei complementar nº 343 de 2008 e regulamentado pelo decreto 2.238 de 2009, que tinha como principal intuito viabilizar a regularização das propriedades rurais (CIPEM, 2015), condição básica para aprovação dos planos de manejo. De acordo com dados da SEMA-MT, foram aprovados no terceiro período, na área de estudo, 77 PMFS, ao passo que no segundo, foram aprovados apenas 20, o que representa um aumento de 285%. Esses resultados refletem os resultados e a importância dos incentivos promovidos pelas políticas públicas empregadas.

Da mesma forma que os planos de manejo, também foi observado no terceiro período, o aumento da contribuição relativa da variável “*distância de áreas queimadas*”. O aumento da contribuição das áreas queimadas neste período pode estar relacionado com a consolidação do agronegócio na região. Dados do TERRACLASS mostram que em 2004 a área ocupada por agricultura anual na região de estudo era de aproximadamente 7.350 km<sup>2</sup> e a área de pastagem ocupava aproximadamente 12.348 km<sup>2</sup>. Em 2014 esses valores passaram para 13.400 e 11.504 km<sup>2</sup>, respectivamente, o que sugere

ligeiro avanço da agricultura sobre as áreas de pastagem, além da conversão de novas áreas. Para tornar essas áreas aptas para o cultivo de grãos, é necessária a realização de limpeza, geralmente utilizando o fogo.

De acordo com a SEMA-MT, há registros do aumento anual das solicitações e emissões de autorização para queima controlada para fins agropecuários (DOMINGUES, 2015) a partir de 2013. A queima controlada é utilizada para realizar a primeira limpeza da área a ser ocupada pela agricultura, anteriormente coberta ou por pastagens ou por vegetação nativa. O crescimento dessa demanda reflete no aumento de áreas queimadas, o que pode ocasionar alterações nas áreas de floresta próximas a esses locais de uso de fogo. O aumento das solicitações e emissões de autorização de queima controlada registrada pela SEMA-MT é coerente com o aumento das áreas de queima mapeadas por Pinheiro (2015) e as mapeadas neste estudo. Contudo, é importante destacar que nestes trabalhos não há distinção de áreas de queimadas legal e ilegal. A contribuição relativa da variável “*densidade de Kernel de focos de calor*” se mostrou praticamente estável nos dois últimos períodos de estudo.

Juntamente com o aumento da contribuição relativa da variável “*distância de áreas queimadas*”, observa-se ainda na Figura 5.7 o considerável crescimento da influência da “*distância de estradas*” para a intensidade de degradação florestal no terceiro período. Como apontado anteriormente, houve expressivo aumento nas áreas de agricultura e a logística de transporte torna-se então um fator primordial para escoar a produção (LIMA e PENNA, 2016). A expansão das áreas de agricultura pode ter impulsionado a ampliação da malha viária, que passou de 3.796 km no primeiro período para 5.138 km no terceiro período, um aumento de cerca de 35 %.

Ainda de acordo com Lima e Penna (2016), a consolidação do estado de Mato Grosso como grande produtor de grãos e a intensificação das relações comerciais externas baseadas em *commodities* acarretou aumento considerável na produção de grãos em um curto período de tempo. Os autores observaram que havia uma deficiência da logística de transportes, reflexo da falta de investimento público em infraestrutura e das longas

distâncias percorridas que acarretam desperdício e encarecimento no escoamento da produção. Neste contexto, esforços públicos e privados convergiram para otimizar o processo de escoamento por meio de investimentos na inversão logística de transporte, direcionando a produção para portos da região norte, como os portos de Santarém e Itaituba no sudoeste do Pará, tendo como principal eixo a rodovia BR-163.

Anteriormente, a maior parte da produção era direcionada para os portos da região sul e sudeste do país. Como no terceiro período a maior parte das áreas de floresta se concentra na porção norte da área de estudo, a mudança no sentido do fluxo de escoamento da produção, que promoveu melhorias e ampliação da malha viária, pode ter facilitado o acesso às novas áreas de floresta, tornando-as mais suscetíveis à degradação, como previu Fearnside (2007). Segundo esse autor a melhoria (pavimentação) da BR-163, poderia acelerar a destruição da floresta ao longo do seu eixo e nas áreas no entorno, especialmente devido à ausência de políticas locais e de ações de controle do desmatamento mais efetivas.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho buscou-se contribuir com a discussão e o entendimento sobre o processo de degradação florestal na Amazônia, por meio do mapeamento anual da degradação florestal e de sua análise para o período de 1984 a 2015, e do desenvolvimento de modelos estatísticos multivariados para identificar os principais fatores que influenciaram a intensidade da degradação florestal em diferentes períodos de tempo. Duas questões principais conduziram as análises realizadas, a primeira delas diz respeito à identificação dos principais fatores que explicaram a intensidade da degradação florestal no período analisado, enquanto a segunda questão diz respeito à importância dos fatores, como seus pesos variaram ao longo do tempo.

Para responder a essas perguntas, primeiramente, com base na literatura e nos dados do programa de monitoramento de florestas do INPE, foram identificados marcos históricos importantes da ocupação e das atividades de uso da terra na área de estudo. Com isso foi possível definir recortes temporais para representar os diferentes estágios evolutivos dessa região de fronteira. Foram estabelecidos 3 intervalos de tempo: 1984 a 1994; 1995 a 2004 e 2005 a 2015.

O recorte temporal estabelecido se mostrou adequado e possibilitou avaliar a área de estudo em diferentes momentos e identificar os conjuntos de fatores relacionados com a degradação florestal. Foi possível ainda desenvolver os modelos teóricos, que serviram como ponto de partida para a obtenção dos modelos estatísticos e, conseqüentemente, para a determinação dos fatores que influenciaram a degradação florestal nos três períodos.

Foram identificados o fogo, o desmatamento, a presença de estradas e a exploração seletiva de madeira como principais fatores que interferem no processo de degradação florestal nos três períodos. Esses resultados mostraram-se coerentes com o histórico de ocupação da região e corroboram com estudos realizados na Amazônia (CARVALHO et al., 2017; BARLOW et al., 2016; LIMA e PENNA, 2016; FERREIRA et al., 2015;

FONSECA et al., 2015; SHIMABUKURO et al., 2014; PFAFF et al., 2009; ARIMA et al., 2008; FERREIRA e LAURANCE,1997).

Um outro fator importante, não mencionado na literatura, que influenciou o processo de degradação florestal no segundo e no terceiro período foram os Planos de Manejo. Esse resultado demonstra que políticas públicas aplicadas de maneira efetiva no combate e controle da exploração de recursos florestais tendem a diminuir a intensidade de degradação florestal e, conseqüentemente, a minimizar os impactos sobre as áreas de floresta. Com relação a composição dos modelos e a análise dos pesos das variáveis que compõe esses modelos, ao longo do período analisado, pode-se sintetizar os resultados da seguinte maneira:

1. Primeiro período: representa o início da expansão da fronteira, e tem como contexto o início do desenvolvimento de atividades agropecuárias que promoveram o desmatamento, baseado em processos de corte e queima da cobertura florestal. Foram três as variáveis que entraram nesse modelo, relacionadas com fatores como o fogo, o desmatamento e as estradas. Neste período, não havia uma fiscalização mais efetiva do desmatamento e das queimadas. Nesse modelo, a variável *distância a áreas queimadas* foi a que mais contribuiu para explicar a intensidade da degradação florestal. Indiretamente, esse fator está associado ao desmatamento, uma vez que o fogo faz parte do processo de abertura e limpeza das áreas florestais para implantação de pastagens e de áreas agrícolas.

2. Segundo período: Nesse período a expansão da fronteira ainda estava em curso e algumas medidas de controle do desmatamento foram iniciadas, porém, com pouca eficácia. Destaca-se o aumento das taxas de desmatamento, sobretudo nos anos de 1993 e 2004. Nesse período inicia-se a expansão do agronegócio para a região. As variáveis que entraram no modelo para explicar a intensidade da degradação florestal, relacionam-se com o fogo, estradas, desmatamento e plano de manejo. Entretanto, neste período, a variável *distância a áreas desmatadas* foi a que mais contribuiu para explicar a intensidade de degradação evidenciando, de forma mais



explícita que no período anterior. A forte relação dessa variável demonstra a grande sinergia entre o desmatamento e a degradação florestal. É neste período que aparece pela primeira vez a variável *distância aos planos de manejo*, cuja proximidade está associada à níveis menores de intensidade de degradação florestal.

3. Terceiro período: A ocupação da região consolida-se e, seguindo a tendência da Amazônia Legal, ocorre redução da taxa de desmatamento, devido ao maior controle e à adoção de políticas e ações para o combate ao desmatamento nas esferas federal, estadual e municipal. Também nesse período o agronegócio, se consolida na região, promovendo melhorias e a ampliação das redes de estradas e infraestrutura. As variáveis que entraram no modelo desse período relacionam-se com o fogo, a estrada, desmatamento e os planos de manejo. Diferentemente do período anterior, a variável que mais contribuiu para explicar a intensidade de degradação foi a distância a estradas. Presume-se que a melhoria e ampliação das estradas para as áreas de cultivo de grãos tenha aberto o acesso também a novas áreas para extração seletiva. Em contraposição, nesse período, os planos de manejo, cuja proximidade tem o efeito de reduzir os níveis de intensidade de degradação, passam a ter uma contribuição maior do que no segundo período. Isso ocorre devido ao aumento de áreas de planos de manejo, bem como da fiscalização da extração de madeira. Nesse período nota-se um equilíbrio maior em relação ao peso de contribuição das variáveis.

Em geral, os resultados deste trabalho indicam que os fatores que influenciaram a intensidade de degradação florestal variaram pouco ao longo do tempo, porém, as contribuições relativas de cada um deles diferiram em cada período estudado, mostrando que, à medida que a fronteira se consolida, a importância dos fatores se modifica. Uma variável importante identificada nos dois últimos períodos se relaciona com a criação de planos de manejo que tendem a atenuar a degradação florestal em suas imediações. Isso demonstra que, políticas públicas como a implantação e regulamentação de áreas de exploração madeira podem ser eficazes no combate e controle da exploração de recursos florestais. Essas políticas públicas de incentivo ao

manejo florestal podem ajudar a reduzir a intensidade de degradação florestal, pois minimizam os impactos da exploração sobre as áreas de floresta.

Outro ponto importante que deve ser destacado a partir dos resultados obtidos é que a degradação florestal pode ser influenciada indiretamente, por outros processos de mudança no uso da terra. A expansão e consolidação do agronegócio na região, por exemplo, melhorou e ampliou a infraestrutura da região, principalmente a rede de estradas, com isso pode ter aberto novos acessos às áreas de floresta afetando a exploração de madeira.

Para concluir, a abordagem utilizada para identificação dos fatores relacionados com a intensidade da degradação florestal, em diferentes períodos e contextos históricos, mostrou-se adequada, pois permite recomendar ações individualizadas que garantam mais eficácia no controle da degradação florestal em áreas que apresentem características ou contextos históricos semelhantes aos da área estudada. Além disso, permite que ações de controle possam ser planejadas em áreas que ainda se encontram em fases iniciais de ocupação, a partir da criação e fiscalização de áreas de manejo, do controle do fogo, do desmatamento e do planejamento da abertura de novas estradas.

É importante destacar que o presente estudo se concentrou na análise temporal da degradação florestal. Examinar o comportamento espacial também é essencial para colaborar com as discussões e a compreensão deste fenômeno, ficando como sugestão de estudos futuros, assim como a aplicação desta metodologia em outras áreas, incrementar o conjunto de variáveis adicionando dados socioeconômicos, testar outros operadores para obtenção da variável dependente bem como testar outros recortes temporais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. P. D. **Modelagem de mudança do uso da terra na Amazônia: explorando a heterogeneidade intrarregional**. 2012. 206 p. (sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.10.18.21-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZGivnJSY/M7t7e>>. Acesso em: 16 fev. 2016.
- ALMEIDA, R. M. MACAU, E. Stochastic cellular automata model for wildland fire spread dynamics. **J. Phys.:** Conf. Ser. v. 285, p.012-038, Mar. 2011. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1742-6596/285/1/012038.
- ALVARADO, E., et al. Landscape fragmentation and fire vulnerability in primary forest adjacent to recent land clearings in the amazon arc of deforestation. **Revista Floresta**. v. 35, n. 2, p. 169-174, 2004. DOI [10.5380/rf.v34i2.2390](https://doi.org/10.5380/rf.v34i2.2390).
- ARIMA, E. Y. et al. Loggers and forest fragmentation: behavioral models of road building in the amazon basin. Anais da **Associação de Geógrafos Americanos**. v. 95, n. 3, p. 525–541. 2005. DOI 10.1111/j.1467-8306.2005.00473.x.
- ARIMA, E. Y. et al. The fragmentation of space in the amazon basin: emergent roads networks. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 74, n. 6, p 699-709. 2008. DOI [10.14358/PERS.74.6.699](https://doi.org/10.14358/PERS.74.6.699).
- ASNER, G. P. et al. Selective logging in the Brazilian amazon. **Science**, American Association for the Advancement of Science (AAAS). v. 310, n. 5747, p.480-482, 2005. DOI: 10.1126/science.1118051.
- AZEREDO, M. et al. Mineração de trajetórias de mudança de cobertura da terra em estudos de degradação florestal. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 68, n 4, p. 717-731, 2016. ISSN (1808-0936).
- BALIEIRO, A. S. S. **Deteção de conglomerados dos alertas de desmatamentos no estado do Amazonas usando estatística de varredura espaço-temporal**. Dissertação (mestrado em estatística aplicada e biometria) - Universidade Federal De Viçosa, Viçosa, 2008.
- BARLOW, J. et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, p. 144-147, 2016. DOI 10.1038/nature18326.
- BARLOW, J. PERES, C. A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. Philosophical Transactions of the Royal Society B: **Biological Sciences**. v. 363, n. 1498, p.1787-1794, 2008. DOI: 10.1098/rstb.2007.0013.
- BARROS, A. C. VERISSIMO, A. **A expansão da atividade na Amazônia: impactos e perspectivas para o desenvolvimento do setor florestal no Pará**. 1ª Ed. Belém, Brasil: IMAZON. 1996.

- BARROS, A. C., UHL, C. Logging along the Amazon river and estuary: Patterns, problems and potential. **Forest Ecology and Management**. v. 77, n. 1-3, p.87-105, 1995. DOI: [10.1016/0378-1127\(95\)03574-T](https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03574-T).
- BECKER, B. K. **Geopolítica da Amazônia**. Rio de Janeiro: Editora Zahar. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1982. p 53-121.
- BERENGUER, E. et al. A large field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Global Change Biology**. v. 20, p. 3713–3726, 2014. DOI 10.1111/gcb.12627.
- BERNARDES, J. A. Circuitos espaciais da produção na fronteira agrícola moderna: BR-163 matogrossense. **Geografias da soja: BR-163: fronteiras em mutação**. Rio de Janeiro: Arquimedes Edições, 2006, 175p. ISBN (858966712X).
- BORRALHO, A. et al. Os padrões no ensino e aprendizagem da álgebra. VALE, Isabel et al (Org.). **Números e álgebra**. Lisboa: SEM-SPCE, 2007. p. 193-211. Disponível em: <[http://www.rdpc.uevora.pt/bitstream/10174/1416/1/Padrões Caminha.pdf](http://www.rdpc.uevora.pt/bitstream/10174/1416/1/Padrões%20Caminha.pdf)>.
- BRANDÃO JÚNIOR, A. O.; SOUZA JÚNIOR, C. M. Avaliação de imagens landsat para identificação e extração de estradas madeireiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3503-3510. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.23.11.10>>.
- BRASIL. Banco Central do Brasil. **Resolução nº 3.545** de 28 de fevereiro de 2008. Altera o MCR 2-1 para estabelecer a exigência de documentação comprobatória de regularidade ambiental e outras condicionantes, para fins de financiamento agropecuário no Bioma Amazônico. Brasília, 2008.
- BRASIL. **Decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998**. Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (código florestal), mediante o estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências. Diário oficial da união, 09 de julho de 1998. 1998d.
- BRASIL. **Decreto nº 2.788**, de 28 de setembro de 1998. Altera dispositivos referentes à elaboração e execução de planos de manejo florestal sustentáveis na Amazônia enumeradas no Decreto nº 1.282, de 19 de outubro de 1994, e dá outras providências. Diário oficial da união, 28 de setembro de 1998.
- BRASIL. **Decreto nº 3.010, de 30 de março de 1999**. Altera o art. 1º do decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998. Diário oficial da união, 31 de março de 1999.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. **Portaria n. 48, de 10 de julho de 1995**. Disciplina a exploração florestal na Bacia Amazônica. Diário oficial da união, 17 de julho de 1995.

BRASIL. **Instrução normativa nº 17** de 27 de fevereiro de 2004, Ministério do Meio Ambiente. Dispõe sobre a exportação de produtos e sub-produtos madeireiros oriundos de florestas naturais e plantadas, nativas e exóticas;

BRASIL. **Instrução normativa nº 4** de 04 de março de 2002, Ministério do Meio Ambiente. Regulamenta os planos de manejo florestal sustentável de uso múltiplo em escala empresarial, pequena escala, comunitário e em floresta de palmeiras.

BRASIL. **Instrução normativa nº 4** de 28 de dezembro de 1998, Ministério do Meio Ambiente. Regulamenta o manejo florestal comunitário, fixando seus critérios e parâmetros para a bacia amazônica. 1998a.

BRASIL. **Instrução normativa nº 5** de 28 de dezembro de 1998, Ministério do Meio Ambiente. Regulamenta o manejo florestal simplificado nas pequenas e médias propriedades rurais na região amazônica. 1998b.

BRASIL. **Instrução normativa nº 6** de 28 de dezembro de 1998, Ministério do Meio Ambiente. Regulamenta o manejo florestal em escala empresarial na bacia amazônica. 1998c.

BRASIL. [Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012](#). Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a medida provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário oficial da união, 28 de maio de 2012.

BRASIL. [Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965](#). Institui o novo código florestal. Diário oficial da união, 16 de setembro de 1965.

BRASIL. **Medida provisória nº 2.166**, de 24 de agosto de 2001. Altera os arts. 1º, 4º, 14, 16 e 44, e acresce dispositivos à Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o Código Florestal, bem como altera o art. 10 da Lei nº9.393, de 19 de dezembro de 1996, que dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR, e dá outras providências.

BRONDÍZIO, E. S. et al. The colonist footprint: toward a conceptual framework of deforestation trajectories among small farmers in frontier Amazônia. In: WOOD, C.; PORRO, R. (eds.). **Deforestation and land use in the Amazon**. Gainesville, Florida: University Press of Florida, 2002. p. 133-161.

BRONDÍZIO, E. S. Intensificação agrícola, identidade econômica e invisibilidade entre pequenos produtores rurais amazônicos: caboclos e colonos numa perspectiva comparada. In: ADAMS, C.; MURRIETA, R. R. S.; NEVES, W. (orgs.). **Sociedades caboclas amazônicas: modernidade e invisibilidade**. São Paulo: Annablume/ FAPESP, 2006. p. 191-232.

BRUZZONE, L.; BOVOLO, F. Unsupervised change detection in multi-temporal SAR images. In: CHEN, H, C. (Ed.). **Image processing for remote sensing**. Londres: Taylor and Francis, 2008. 380p.

CALDAS, M.C. **Desmatamento na Amazônia: uma análise econométrica de autorelação espacial combinando informações de Sensoriamento Remoto com dados primários**. 2001. 126 p. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP.

CALIFORNIA NATIVE PLANT SOCIETY (CNPS). **Guidelines for landscaping to protect native vegetation from genetic degradation**. Sacramento: Uc Davis Newsletter, 2001. 5 p.

CARVALHO, A. L. et al. Natural regeneration of trees in selectively logged forest in western Amazonia. **Forest Ecology and Management**. v. 392 p. 36–44, 2017. DOI [10.1016/j.foreco.2017.02.049](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.049).

CENTRO DAS INDÚSTRIAS PRODUTORAS E EXPLORADORAS DE MADEIRA DO ESTADO DE MATO GROSSO (CIPEM). **Número de projetos de manejo sustentável aprovados**. 2015. Disponível em <<http://www.cipem.org.br/index2.php?sid=294>> Acesso em: fev. 2016.

CHAVEZ, J. P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**. New York. v. 24, p. 459-479, 1988. DOI [10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3).

COCHRANE, M. A. Fire science for rainforests. **Nature**, Nature Publishing Group. v. 421, n. 6926, p.913-919, 2003. DOI: 10.1038/nature01437.

COHEN, J. Eta-squared and partial eta-squared in fixed factor ANOVA designs. **Educational and Psychological Measurement**, v 33, p 107-112.

COPPIN, P. et al. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**. v. 25, n. 9, p. 1565–1596, 2004. DOI [10.1080/0143116031000101675](https://doi.org/10.1080/0143116031000101675).

CUNHA, O. E. **Expansão da Soja em Mato Grosso e desenvolvimento econômico no período de 1995 a 2005**. 153 p. Dissertação de Mestrado em Agronegócios e Desenvolvimento Rural, UFMT, Cuiabá, 2008.

DAL'ASTA, A. P. et. al. **Núcleos de ocupação humana e usos da terra entre Santarém e Novo Progresso, ao longo da BR-163 (PA)**. São José dos Campos: INPE, 2011. 51 p. Relatório Técnico de atividade de Campo - Projeto Cenários - "Cenários para a Amazônia: Uso da terra, Biodiversidade e Clima" e Projeto LUA - "Land Use Change in Amazonia: Institutional Analysis and Modeling at multiple temporal and spatial scales". IBI: <8JMKD3MGP7W/39DRJ9B>. (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/03.29.14.21-RPQ). Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39DRJ9B>>.

DOMINGUES, R. Utilização da técnica de queima controlada precisa de autorização da Sema. **Editoriais de meio ambiente de Mato Grosso**. 2015. Disponível em <<http://www3.mt.gov.br/editorias/meio-ambiente/utilizacao-da-tecnica-de-queima-controlada-precisa-de-autorizacao-da-sema/140549>>. Acesso: mai. de 2017.

ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V.; AGUIAR, A. P. D.; CARNEIRO, T. G. S.; CÂMARA, G. Análise de padrões e processos de ocupação para a construção de modelos na Amazônia: experimentos em Rondônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2973-2984. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12707-PRE/7997). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.09.13>>

ESPÍRITO-SANTO, F. D. B. et al. Size and frequency of natural forest disturbances and the Amazon forest carbon balance. **Natural Communications**, n. 3434, 2014. DOI: 10.1038/ncomms4434.

FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. **Annual Reviews**. v. 34, n. 1, p.487-515, 2003. DOI:10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419.

FEARNSIDE, P. M. Brazil's Cuiabá - Santarém (BR-163) Highway: the environmental cost of paving a soybean corridor through the Amazon. **Environ Manage**. v. 39, p. 601-614, 2007. DOI 10.1007.

FEARNSIDE, P. M. et al. Modelagem de desmatamento e emissões e gases de efeito estufa na região sob influência da rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 24, n.2, p. 208-233, 2009. DOI [10.1590/s0102-77862009000200009](https://doi.org/10.1590/s0102-77862009000200009).

FERREIRA et al, J. **Degradação florestal na Amazônia: como ultrapassar os limites conceituais, científicos e técnicos para mudar esse cenário**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2015. 29p. Documentos 413 ISSN (1983-0513).

FERREIRA, D. A. C. **Modelagem do desmatamento no noroeste mato-grossense**. 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado em Manejo florestal, Silvicultura) - INPA, Manaus, 2006.

FERREIRA, L. V.; LAURANCE, W. F. Effects of forest fragmentation on mortality and damage of selected trees in central Amazonia.

**Conservation Biology**, v. 11, p. 797-801. 1997. DOI 10.1046/j.1523-1739.1997.96167.x.

FIORINI, A. C. O. **A importância da madeira morta para estimar estoques de carbono em florestas degradadas**: implicações para ações de redução de emissão por desmatamento e degradação florestal. 137 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Estratégico) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

FISHER, R. A. **Statistical methods for research workers**. 14. ed. New York: Hafner, 1973. 362p. ISBN 0050021702.

FLETCHER, I. N. et al. Fractal properties of forest fires in Amazonia as a basis for modelling pan-tropical burnt area. **Biogeosciences**. v. 11, p. 1449-1459, 2014. DOI [10.5194/bg-11-1449-2014](https://doi.org/10.5194/bg-11-1449-2014).

FONSECA, M. G. et. al. Avaliação preliminar da modelagem de queimadas na Amazônia brasileira utilizando o princípio de Máxima Entropia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 1868-1875. Internet. ISBN 978-85-17-0076-8. IBI: <8JMKD3MGP6W34M/3JM49D9>. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM49D9>>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Expert Meeting on harmonizing forest-related definitions for use by various stakeholders**. Roma, Italia: FAO, 2002. 201 p.

FORMAN, R. T. T. GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 619 p.

FORMAN, R. T. T. **Land mosaics**: the ecology of landscapes and regions. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 632p.

FOX, J., MONETTE, G. Generalized collinearity diagnostics. **JASA**, 1992. n. 87, p. 178–183.

GARRIDO FILHA, I. Manejo florestal: questões econômico-financeiras e ambientais. **Estudos Avançados**. v. 16, n. 45, p. 91-106, 2002. DOI 10.1590/S0103-40142002000200007 .

GAVLAK, A. A. **Padrões de mudança de cobertura da terra e dinâmica populacional no Distrito Florestal Sustentável da BR-163**: população, espaço e ambiente. 2011. 177 p. IBI: <8JMKD3MGP7W/3A7C3ML>. (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/08.02.16.24-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3A7C3ML>>.



GEIST, H. J. LAMBIN, E. F. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. **Bioscience**. v. 52, n. 2, p.143- 50, 2002. Oxford University Press (OUP). DOI: 10.1641/0006-3568(2002)052[0143:pcaudf]2.0.co;2.

GERWING, J. VIDAL, E. **Degradação de florestas pela exploração madeireira e fogo na Amazônia**. Belém: Imazon, 2002. 26p. v.20. Série Amazônica.

GIULIETTI, A. M.; PIRANI, J. R.; HARLEY, R. M. Espinhaço range region, eastern Brazil. In: DAVIS, S.D., HEYWOOD, V.H.; HERRERA-MACBRYDE, O.; VILLA-LOBOS, J.; HAMILTON, A. C. (eds). **Centres of plant diversity - a guide and strategy for their conservation**. Cambridge: The Americas, IUCN Publication, 1997. v. 3. p. 397 – 404.

GONTIJO, G. A. B., et al. Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR). 2011, Curitiba. **Anais...São José dos Campos: INPE, 2011. p. 7966-7973. DVD, ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD).** IBI:<3ERPFQRTRW/3A5D39P>. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A5D39P>>

GRAÇA, P. M. L. A. **Monitoramento e caracterização de áreas submetidas à exploração florestal na Amazônia por técnicas de detecção de mudanças**. 2006. 275 p. (INPE-13644-TDI/1046). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/02.15.16.02>>.

GREENPEACE. **Moratória da carne em Mato Grosso**. 2009. Disponível em <<http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2009/6/marfrig-anuncia-moratoria-da-c.pdf>> Acesso em: fev.de 2016.

GRISSOM, R. J., KIM, J. J. **Effect sizes for research: univariate and multivariate applications**. 2, ed. New York: Routledge, 2012. p. 182–183.

GROGAN, J. A. et al. **Mogno na Amazônia brasileira: ecologia e manejo**. Belém, Brasil: IMAZON, 2002. 40p.

GRUPO DE TRABALHO DA SOJA (GST). **Moratória da soja: avanços e próximos passos**. p. 4. 2008. Disponível em <<http://docplayer.com.br/5786319-Moratoria-da-soja-avancos-e-proximos-passos.html>> Acesso em: fev. de 2016.

HADLEY, A. S.; BETTS, M. G. The effects of landscape fragmentation on pollination dynamics: absence of evidence not evidence of absence. **Biological Reviews**. v. 87, n. 3, p.526-544, 2011. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1469-185x.2011.00205.x.

HAYS, W. L. **Statistics**. 5. ed. Fort Worth, TX: Harcourt Brace, 1994. 1112p. ISBN 9780030744679.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/mt/sinop/panorama>> acesso em janeiro de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Regiões de Influência das Cidades – REGIC 2007**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv40677.pdf>>. Acesso em 09 de maio de 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). DEGRAD (Degradação Florestal da Amazônia Brasileira). **Taxas anuais do desmatamento – 1985 até 2016**. p.1. Disponível em <[http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes\\_1988\\_2016n.htm](http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2016n.htm)> Acesso em: jun. de 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Metodologia para criação do PRODES digital e do Banco de Dados Digitais da Amazônia – Projeto BADDAM**. 2003. p. 29. Disponível em <[www.dsr.inpe.br/laf/panamazonia/arquivos/Metodolo\\_prodes.pdf](http://www.dsr.inpe.br/laf/panamazonia/arquivos/Metodolo_prodes.pdf) > Acesso em: fev. de 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites: Sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e QUEIMADAS 2007-2008**. p. 47. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008. Disponível em: <[http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio\\_Prodes2008.pdf](http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf)>. Acesso em: fev. de 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **PRODES (Projeto de estimativa de Desflorestamento da Amazônia) - Dados DEGRAD 2012**. 2017. p. 1. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/degrad/dados/>> Acesso em: jun. de 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto PRODES, Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite** - apresentação geral. p. 1. Disponível em <[www.obt.inpe.br/prodes.index.php](http://www.obt.inpe.br/prodes.index.php)> Acesso em: fev. de 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Tutorial do Terraview 2010**. p. 20. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/terraview/php/dow.php?body=plgPreenchimentoCelulas.pdf>>. Acesso em: fev. de 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Definitions and methodological options to inventory emissions from direct human-induced degradation of forests and devegetation of other vegetation types**. Hayama: Intergovernmental Panel On Climate Change, 2003. p. 30.

JOHNS, A. D. Selective logging and wildlife conservations in tropical rain-forest: problems and recommendations. **Biological Conservation**. v. 31, p. 355-375, 1985.

JOHNS, J. S. et al. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**. v. 89, n. 1-3, p.59-77, 1996. Elsevier BV. DOI: 10.1016/s0378-1127(96)03869-8.

KELLER, M. et al. Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon. **Global Change Biol.** v. 10, n. 5, p.784-795, 2004. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00770.x.

KEPPEL, G. **Design and analysis: a researcher's handbook**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1982.

KITAMURA, P. C. **A Amazônia e o desenvolvimento sustentável**. p. 182. Serviço de Produção de Informação (SPI), Centro Nacional de Pesquisa e Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental (CNPMA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 1994

KÖRTING, T. S. et al. GeoDMA: A Novel System for Spatial Data Mining. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA MINING WORKSHOPS, 1.,2008, Pisa. **Proceedings...** . [s.l.]: Ieee, 2008. p. 975 - 978.

KÖRTING, T. S. **GeoDMA: a toolbox integrating data mining with object-based and multi-temporal analysis of satellite remotely sensed imagery**. 2012. 119 p. IBI: <8JMKD3MGP7W/3CCH86S>. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/07.31.18.22-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CCH86S>>.

KURY, J. P. N. **Análise dos fatores determinantes e trajetórias da degradação florestal na Amazônia legal brasileira**. 2016. 128 p. IBI:<8JMKD3MGP3W34P/3L6QAUP>. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/02.15.01.56-TDI). Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em:<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3L6QAUP>>.

LACERDA-FILHO, J. V. (Ed.). **Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso**. Goiânia: Serviço Geológico do Brasil, 2004. 252 p. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel\\_mato\\_grosso.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_mato_grosso.pdf)>. Acesso em: jan. de 2016.

LAURANCE, W. F. et al. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. **Conservation Biology**. v. 16: p. 605-618. 2002. DOI 10.1046/j.1523-1739.2002.01025.x.

LAURANCE, W. F. et al. Effects of forest fragmentation on recruitment patterns in amazonian tree communities. **Conservation Biology**. v. 12, n. 2, p.460-464, 1998. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1523-1739.1998.97175.x.

LEMOS, D. **Brunetto comemora inauguração da Embrapa em Sinop**. 2012 1p. Disponível em [http://www.al.mt.gov.br/hot\\_deputados/detalhes.php?id=33815&cod\\_parlamentar=7](http://www.al.mt.gov.br/hot_deputados/detalhes.php?id=33815&cod_parlamentar=7). Acesso em: mai. de 2017.

LENTINI, M., et al. **A expansão madeireira na Amazônia**. Belém: IMAZON: O Estado da Amazônia, 2005. p. 1 - 4.

LEVINE, T. R. HULLETT, C. R. Eta squared, partial eta squared and misreporting of effect size in communication research. **Human Communication Research**. International Communications Association, 2002. v. 28, n. 3, p 612-625.

LIMA, A. et al. Land use and land cover changes determine the spatial relationship between fire and deforestation in the Brazilian Amazon. **Applied Geography**. v. 34, p. 239–246, 2012. DOI [10.1016/j.apgeog.2011.10.013](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.10.013).

LIMA, R. C., PENNA, N. A. A Logística de Transporte do Agronegócio em Mato Grosso (Brasil). **Revista franco-brasileira de Geografia**. v. 26. p. 15. 2016. DOI 10.4000/confins.10707.

LUND, H. G. What is a degraded forest? **Gainesville: forest information services**, 2009. 42 p. White paper prepared for FAO. Disponível em: <[http://home.comcast.net/~gyde/2009forest\\_degrade.doc](http://home.comcast.net/~gyde/2009forest_degrade.doc)>. Acesso em: abr. 2014.

MACEDO, F. C., RAMOS, P. Formação, expansão e diversificação econômica: o caso do município projetado de Sinop/MT. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 7., 2015, Santa Cruz do Sul, RS. **Anais...** São Luiz, MA: UEMA, 2015. n. 3673. p. 22.

MACHADO, L. O. Limites e fronteiras: da alta diplomacia aos circuitos da ilegalidade. **Revista Território**, Rio de Janeiro, 2000, ano V, nº 8, p. 7-23.

MATO GROSSO, **Decreto Estadual do Governo de Mato Grosso nº 2.152** de 12 de fevereiro de 2014. Regulamenta a Lei Complementar nº 233, de 21 de dezembro de 2005 no que diz respeito aos procedimentos de elaboração, análise e acompanhamento dos Planos de Manejo Florestal Sustentável Madeireiro no Estado de Mato Grosso. Diário Oficial Estadual, 2014.

MATO GROSSO, **Decreto Estadual do Governo de Mato Grosso nº 2.238** de 13 de novembro de 2009. Regulamenta o Programa Mato-grossense de Regularização Ambiental Rural- MT LEGAL, disciplina as etapas do Processo de Licenciamento Ambiental de Imóveis Rurais e dá outras providências. Diário Oficial Estadual, 2009.

MATRICARDI, E. A. T. et al. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**. v. 114, n. 5, p.1117-1129, 2010. Elsevier BV. DOI:10.1016/j.rse.2010.01.001.

MATRICARDI, E. A. T. et al. Monitoring selective logging in tropical evergreen forests using landsat: multitemporal regional analyses in Mato Grosso, Brazil. **Earth Interactions**. v. 9, n. 24, p.1-24, 2005. American Meteorological Society. DOI: 10.1175/ei142.1.

MEIRELLES, S.T. et al. The vegetation of granite rock outcrops in Rio de Janeiro, Brazil, and the need for its protection. **Environmental Conservation**, 1999. v. 26, p. 10-20.

MENDONÇA, M. J. C. et al. The economic cost of the use of fire in the Amazon. **Ecological Economics**, 2004. v. 49, n. 1, p.89-105. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2003.11.011.

MERTZ, O. et al. The forgotten D: challenges of addressing forest degradation in complex mosaic landscapes under REDD+. Geografisk Tidsskrift-danish **Journal of Geography**. v. 112, n. 1, p.63-76, may 2012. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/00167223.2012.709678.

METZGER, J. P. O que é ecologia da paisagem? **Biota Neotropica**, v. 1, n.1, p. 1-9, 2001. (ISSN 1676-0603).

MIETTINEN, J. et al. On the extent of fire-induced forest degradation in Mato Grosso, Brazilian Amazon, in 2000, 2005 and 2010. **International Journal of Wildland Fire**, n. 25, p. 129-16, 2016. DOI 10.1071/WF15036#sthash.QJwAf2Hs.dpuf.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Manejo florestal sustentável**. p. 1. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/florestas/manejo-florestal-sustent%C3%A1vel>> Acesso em: jan. de 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) - 3ª Fase (2012-2015)**. 2013. p. 1. Disponível em <[www.mma.gov.br/florestas](http://www.mma.gov.br/florestas)> Acesso em: fev. de 2016.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Moratória da Carne**: assinatura do TAC é marcada para o dia 11 de maio. 2010. p. 1. Disponível em <<http://mpf.jusbrasil.com.br/noticias/2158868/moratoria-da-carne-assinatura-do-tac-e-marcada-para-o-dia-11-de-maio>> Acesso em: fev. de 2016.

MONTEIRO, A. et al. Object-based classification to detection of selective logging in the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 59, p.225-234, 2007.

- MONTEIRO, A. L. et al. Detection of logging in Amazonian transition forests using spectral mixture models. **International Journal of Remote Sensing**. v. 24, n. 1, p.151-159, 2003. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/01431160305008.
- MONTEIRO, A. L. S. et al. Impactos da exploração madeireira e do fogo em florestas de transição da Amazônia Legal. **Scientia Florestalis**, 2004. v. 65. p. 11-21.
- MONTEIRO, A.; SOUZA, C. Remote monitoring for forest management in the Brazilian Amazon. **Sustainable Forest Management -Current Research**. p.67-86, 2012. InTech. DOI: 10.5772/30126.
- MOURA, D. G. **Mídia e corrupção: a operação curupira da amazônia**. p. 147. Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado. UnB, Brasília, dez. de 2006.
- NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, W. F. Efeitos de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento. **Acta Amazonica**. v. 36, n. 2, p.183-192, 2006. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0044-59672006000200008.
- NASCIMENTO, L. J. **Embrapa é inaugurada em Mato Grosso com foco em sustentabilidade**. p. 1. Disponível em <<http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2012/07/embrapa-e-inaugurada-em-mato-grosso-com-foco-em-sustentabilidade.html>>. Acesso em: mai. de 2017.
- NELSON, B. W. Detection of natural and anthropogenic-indigenous disturbance of tropical forest using optical orbital images. In: SEMINÁRIO EM ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADAS À ENGENHARIA FLORESTAL, 7., 2006, Curitiba. **Anais...** . [s.l.]: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2006. p. 529 - 536.
- NELSON, B. W. et al. Forest Disturbance by Large Blowdowns in the Brazilian Amazon. **Ecology**. v. 75, n. 3, p.853-858, 1994. JSTOR. DOI: 10.2307/1941742.
- NEPSTAD, D. C. et al. A. **Floresta em Chamas: origens, impactos e prevenção do fogo na Amazônia**. 2. ed. Brasília: Ipam, 1999b. 202 p. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil.
- NEPSTAD, D. C. et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**. v. 398, n. 6727, p.505-508, 1999a. Nature Publishing Group. DOI: 10.1038/19066.
- NETER, J. M. et al. **Applied linear statistical models**. Chicago, IL: Irwin, 1996. p. 1396.
- PANDOLFO, C. **Amazônia Brasileira: ocupação, desenvolvimento e perspectivas atuais e futuras**. Belém, CEJUP, 1994. p 15-35.
- PARADELLA, W. et al. Radares imageadores nas geociências: estado da arte e perspectivas. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 1, n. 57, p. 56–62, 2005.

- PEDHAZUR, E. J. **Multiple regression in behavioral research**. Fort Worth, Harcourt Brace, 1997. 3ª ed. 1058p. ISBN 003028312.
- PEREIRA, D. et al. **Fatos florestais da Amazônia**. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, IMAZON. Belém. Brasil, 2010. p. 125.
- PEREIRA, R. et al. Forest canopy damage and recovery in reduced-impact and conventional selective logging in eastern Para, Brazil. **Forest Ecology and Management**. v. 168, n. 1-3, p.77-89, 2002. Elsevier BV. DOI: 10.1016/s0378-1127(01)00732-0.
- PERES, C. A. et al. Detecting anthropogenic disturbance in tropical forests. **Trends in Ecology & Evolution**. v. 21, n. 5, p.227-229, 2006. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.tree.2006.03.007.
- PFAFF, A. et al. Impactos de estradas na Amazônia brasileira. **Amazonia and global change geophysical monograph**, n. 185, p. 101-116, 2009. DOI 10.1029/2008GM000737.
- PINAGÉ, E. R. **Estudo dos Impactos da exploração madeireira em áreas de concessão florestal utilizando imagens orbitais**. p. 102. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEFL) da Universidade de Brasília, 2013.
- PINHEIRO, T. F. et al. Forest degradation associated with logging frontier expansion in the Amazon: The BR-163 region in southwestern Pará, Brazil. **Earth Interactions**. v. 20, n. 17, p. 1-26, 2016. DOI [10.1175/EI-D-15-0016.1](https://doi.org/10.1175/EI-D-15-0016.1).
- PINHEIRO, T. F. **Padrões e trajetórias de degradação florestal em fronteiras madeiras da Amazônia**. 2015. 205 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34P/3KMS44B>. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/12.03.16.00-TDI). Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3KMS44B>>.
- PINHEIRO, T. F.; ESCADA, M. I. S. Detecção e classificação de padrões da degradação florestal na Amazônia por meio de banco de dados celular. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José Dos Campos: INPE, 2013. P. 3397-3404. DVD, internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (internet), 978-85-17-00065-2 (dvd). Ibi: <3erpfqrtrw34m/3e7qlbn>. Disponível em: <<http://urlib.net/3erpfqrtrw34m/3e7qlbn>>.
- PIONTEKOWSKI, V. J. et al. Modelagem do desmatamento para o estado do Acre utilizando o programa DINAMICA EGO. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 4., 2012, Bonito, MS. **Anais...** UNEMAT, 2012. p. 1067-1075.

PONZONI, F.J.; SHYMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 1. ed. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2010. 144p.

POREMBSKI, S. **Terrestrial habitat islands as model systems for biodiversity research**. In: ARAÚJO, E.L.; MOURA, A.N.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GESTINARI, L.M.S; CARNEIRO, J.M.T. (eds.). **Biodiversidade, conservação e uso sustentável da Flora do Brasil**. Recife, 2002. Universidade Federal Rural de Pernambuco. p. 158-161.

QUINLAN, J. R. **C4.5: programs for machine learning**. Sydney, 1993: Morgan Kaufmann Publishers. 299 p.

RADAMBRASIL, **Levantamento dos recursos naturais volume 20, folha SC. 21 Juruena – 4, Vegetação**. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, 1980.

RAPERA, R. Effects of logging on residual stands. **Biotrop Special Publication**, 1997. v. 3, p. 119-125.

RAVACHE, L. R. **Migração e modernização em cidades médias da Amazônia legal: áreas de abrangência da BR 163**. Tese de Doutorado. São Paulo, 2013: USP, p. 285.

ROSENDO, J. S. TEIXEIRA, L. A Expansão da Fronteira Agrícola no Norte do Mato Grosso-Impactos Socioambientais da Exploração Madeireira. **Sociedade & Natureza**. v. 16, n. 31, p. 71-79, 2004.

ROSENFELD, D. TRMM Observed First Direct Evidence of Smoke from Forest Fires Inhibiting Rainfall. **Geophysical Research Letters**. v. 26, p. 3105-3108, 1999.DOI 10.1029/1999GL006066.

SÁ, T. D. A. et al. Queimar ou não queimar?: Como produzir na Amazônia sem queimar. **Revista USP**. v. 0, n. 72, p.90-97, 2007. Universidade de Sao Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas SIBiUSP. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i72p90-97.

SABINO, W. **Leitão confirma R\$ 16 mi para o Exército em Sinop**.2015. p. 1. Disponível em: <<https://www.gazetadigital.com.br/conteudo/show/secao/10/materia/446007/t/leitaconfirmar-16-mi-para-o-exercito-em-sinop>> Acesso em: mai. de 2017.

SABOGAL, C. et al. **Diretrizes técnicas para a exploração de impacto reduzido em operações florestais de terra firme na Amazônia brasileira**. Belém: Cifor. Projeto EMBRAPA/CIFOR: Manejo florestal sustentável em escala comercial na Amazônia brasileira. 2000. 24p.

SAITO, E. A. et al. Efeitos da mudança de escala em padrões de desmatamento na Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 63, n.3, p.401-414, 2011. (ISSN 1808-0936).



SAITO, É. A. **Caracterização de trajetórias de padrões de ocupação humana na Amazônia Legal por meio de mineração de dados**. 2011. 158 p. IBI: <8JMKD3MGP7W/38MM2TL>. (sid.inpe.br/mtc-m19/2010/12.01.16.33-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38MM2TL>>.

SATO, L. Y. et al. Classificação de áreas exploradas por sistema de corte seletivo na Amazônia. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR)., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 6688-6695. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). IBI: <3ERPFQRTRW/3A2QQF2>. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A2QQF2>>.

SHIMABUKURO, Y. E. et al. Assessment of forest degradation in Brazilian Amazon due to selective logging and fires using time series of fraction images derived from Landsat ETM+ images. **Remote Sense Letters**. v. 5, n. 9, p. 773-782, 2014. DOI: [10.1080/2150704X.2014.967880](https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.967880).

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing**. v. 29, n. 1, p.16-20, 1991. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/36.103288.

SILVA, E. J. M. A atuação das grandes tradings do agronegócio da soja no avanço da fronteira agrícola na BR-163. In: VI SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA; VII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA E 1ª JORNADA DE GEOGRAFIA DAS ÁGUAS, 2013, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPA, 2013.

SILVA, M. P. S. et al. Remote sensing image mining: detecting agents of land use change in tropical forest areas. **International Journal of Remote Sensing**. v. 29, n. 16, p.4803-4822, 2008. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/01431160801950634.

SILVA, R. G.; RIBEIRO, C. G. **Análise da degradação ambiental na Amazônia ocidental: um estudo de caso dos municípios do Acre**. RER, Rio de Janeiro. v. 42, n. 1, p. 91-110, 2004. DOI 10.1590/S0103-20032004000100005.

SINGH, A. Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**. v. 10, n. 6, p. 989-1003, 1989. DOI: 10.1080/01431168908903939.

SIZER, N. C. et al. Edge effects on litterfall mass and nutrient concentrations in forest fragments in central Amazonia. **J. Trop. Ecol.** v. 16, n. 6, p.853-863, 2000. Cambridge University Press (CUP). DOI: 10.1017/s0266467400001760.

SOARES-FILHO, B. S. et al. **Modelagem espacial do desmatamento Amazônico**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 14., 2004, Caxambú- MG. **Anais...** ABEP, 2004. p. 19.

SOUZA Jr, C. M. Avanços do sensoriamento remoto para o monitoramento da exploração madeireira na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR)., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6987- 6994. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.17.38>>.

SOUZA Jr, C. M. et al. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires, **Remote Sensing of Environment**. v. 98, p. 329-343, 2005. DOI [10.1016/j.rse.2005.07.013](https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.07.013).

SOUZA, C. et al. 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, out. 2005. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.rse.2005.07.013.

SOUZA, E. A. **Sinop**: história, imagens e relatos. Um estudo sobre sua colonização. Editora EdUMFT/FAPEMAT, 2004, p 220.

SOUZA, E. L. P. **A organização industrial do setor madeireiro no município de Sinop, Mato Grosso - uma análise da estrutura de mercado**. Belém/PA, 1999. Dissertação de mestrado apresentada a UFPA. p. 126.

SPONSEL, L. E. Amazon ecology and adaptation. **Annual Review of Anthropology**. v. 15, n. 1, p. 67-97, 1986. DOI 10.1146/ANNUREV.AN.15.100186.000435.

TEIXEIRA, L. **A colonização no norte de mato grosso**: o exemplo da gleba celeste. Presidente Prudente, 2006: Dissertação de Mestrado. Unesp, p. 117.

TRANCOSO, R. et al. Padrões de desflorestamento na Amazônia legal: diferenças espaciais e temporais das mudanças na cobertura da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR)., 2007, florianópolis. **Anais...** São José Dos Campos: INPE, 2007. P. 3187-3194. Cd-rom, on-line. Isbn 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.23.38.31>>.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Key decisions relevant for reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries (REDD+)**. 2016. Disponível em <[http://unfccc.int/files/land\\_use\\_and\\_climate\\_change/redd/application/pdf/compilation\\_redd\\_decision\\_booklet\\_v1.2.pdf](http://unfccc.int/files/land_use_and_climate_change/redd/application/pdf/compilation_redd_decision_booklet_v1.2.pdf)>. Acesso em: mai. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO (UFMT). **Campus Universitário de Sinop**. p. 1. Disponível em <<http://www.ufmt.br/ufmt/site/secao/index/Sinop/2125>>. Acesso em: abr. de 2017.

VALERIANO, D. M. et al. Monitoring tropical forest from space: the PRODES digital project. **Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. v.34, p. 1-3, 2012.

VASCONCELOS, S. S. et al. Forest fires in southwestern Brazilian Amazonia: Estimates of area and potential carbon emissions. **Forest Ecology and Management**. v. 291, p.199-208. Elsevier BV. DOI:10.1016/j.foreco.2012.11.044, 2013.

VITEL, C. S. M. N. **Modelagem da dinâmica do desmatamento em uma fronteira em expansão, Lábrea, Amazonas**. Manaus, 2009: Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, INPA.

XIMENES, A. C. et al. Modelagem dinâmica do desmatamento na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, 2008. v. 20, n. 3, p 370-391.



**APÊNDICE A – VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO ESTRUTURAL  
PARA OS ANOS DE 2012, 2013, 2014 E 2015.**

A foi realizada por meio de uma classificação feita por um fotointérprete independente, que selecionou células ao logo do período de 2012 a 2015, e as classificou. Em seguida, a validação foi realizada por meio de matriz de confusão, e calculados os índices de exatidão global e Kappa. A Tabela A1 apresenta os resultados da validação da classificação espectral.

Tabela A1 – Validação da classificação para os anos de 2012, 2013, 2014 e 2015.

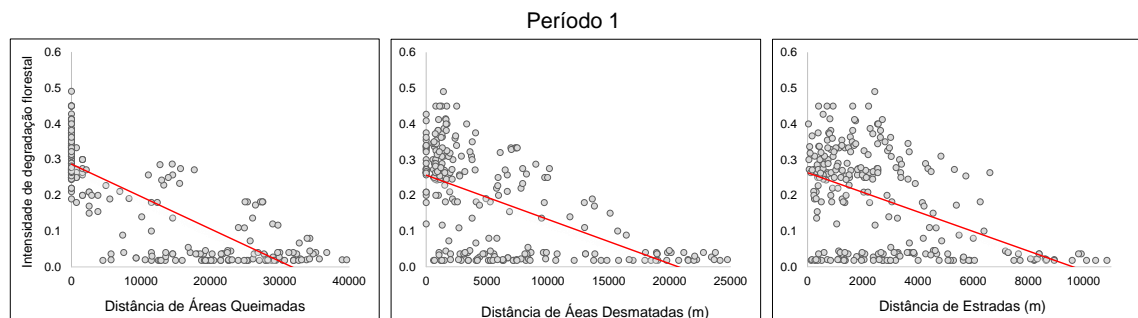
Classificação	Referência									Erro de Comissão (%)
	MFD1	MFD2	MFD3	LFD2	LFD1	HDF2	HFD1	FLORESTA	TOTAL	
<b>MFD1</b>	14	0	0	1	0	0	0	0	15	7
<b>MFD2</b>	0	9	3	0	0	0	0	0	12	25
<b>MFD3</b>	1	3	8	0	0	0	0	0	12	33
<b>LFD2</b>	0	0	0	11	0	0	0	0	11	0
<b>LFD1</b>	0	0	0	0	15	0	0	1	16	6
<b>HDF2</b>	0	0	0	0	0	16	0	0	16	0
<b>HFD1</b>	0	0	2	0	0	0	16	0	18	11
<b>FLORESTA</b>	0	0	0	0	0	0	0	15	15	0
<b>TOTAL</b>	15	12	13	12	15	16	16	16	<b>115</b>	
<b>Erro de Omissão (%)</b>	7	25	38	8	0	0	0	6		
<b>Índice Kappa</b>	0,89									
<b>Exatidão Global</b>	0,90									



## APÊNDICE B – DIAGNÓSTICO DA ANÁLISE DE RESÍDUOS

Para verificar se a relação das variáveis era minimamente linear, foram construídos gráficos de dispersão entre as variáveis independentes e a variável dependente. A relação das variáveis do modelo do primeiro, segundo e terceiro período, é mostrada nas Figuras B.1, B.3 e B.5, respectivamente.

Figura B.1 – Relação das variáveis que compõem o modelo para explicar a degradação florestal no período 1.



Fonte: Produção do autor

A identificação dos fatores que influenciaram na intensidade de degradação florestal ocorreu por meio da análise de regressão múltipla. Foram construídos um modelo por período de estudo por meio dos quais foram possíveis identificar as variáveis atuantes em cada período bem como o poder explicativo ( $r^2$ ) do fenômeno estudado. A análise de regressão do período 1, 2 e 3 pode ser observada nas Tabelas B.1, B.2 e B.3, respectivamente.

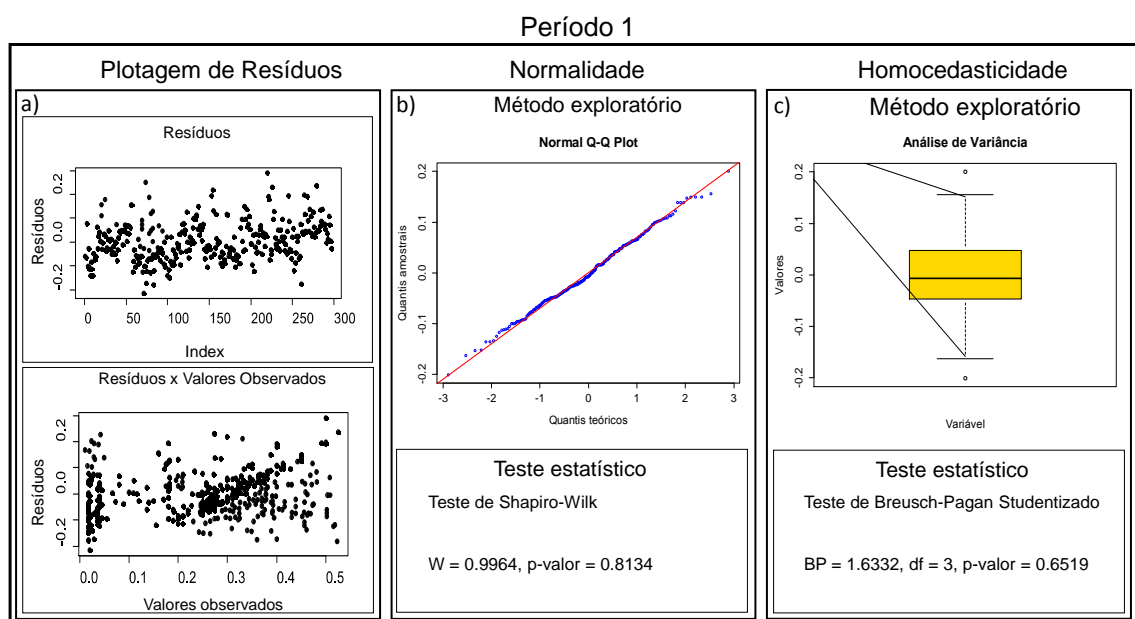
Tabela B.1 – Análise do modelo de regressão múltipla para o período 1

Coeficientes	Estimado	Erro Padrão	t valor	Pr(> t )
Intercepto	$3,256 \cdot 10^{-1}$	$7,071 \cdot 10^{-3}$	46,050	$< 2 \cdot 10^{-16} ***$
Distância de estradas (DE)	$-1,097 \cdot 10^{-5}$	$1,860 \cdot 10^{-6}$	-5,898	$1,17 \cdot 10^{-8} ***$
Distância de áreas queimadas (DQ)	$-6,632 \cdot 10^{-6}$	$4,225 \cdot 10^{-7}$	-	$< 2 \cdot 10^{-16} ***$
Distância de áreas desmatadas (DD)	$-6,054 \cdot 10^{-6}$	$7,353 \cdot 10^{-7}$	-8,233	$9,50 \cdot 10^{-15} ***$
Significância do p-valor : 0 '****' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 '.' 1				
Erro padrão residual: 0,06827 em 255 graus de liberdade				
$r^2$ múltiplo: 0,759 $r^2$ ajustado: 0,7562				
Estatística F: 267,7 em 3 e 255 GL, p-valor: $< 2,2 \cdot 10^{-16}$				

Fonte: Produção do autor

A verificação da adequabilidade dos modelos foi realizada por meio da análise de resíduos. A análise de resíduos envolveu observação dos resíduos por meio da plotagem dos valores, teste de normalidade e teste de homocedasticidade. A análise dos resíduos para o período 1, 2 e 3 pode ser observada nas Figuras B.2, B.4 e B.6, respectivamente.

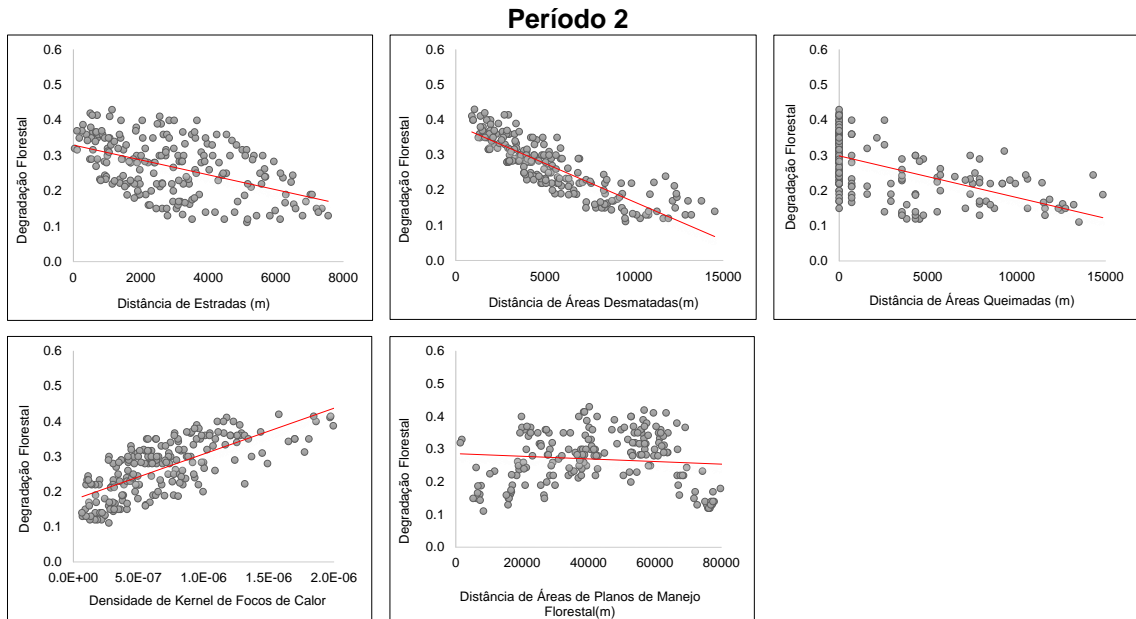
Figura B.2 – Análise dos Resíduos do modelo de regressão ajustado para o primeiro período de estudo. Em a) são apresentados os gráficos de dispersão dos resíduos e dos resíduos versus valores observados, respectivamente. Em b) são apresentados os diagnósticos de normalidade e em c) o diagnóstico de homocedasticidade.



Fonte: Produção do autor



Figura B.3 – Relação das variáveis que compõem o modelo para explicar a degradação florestal no período 2.



Fonte: Produção do autor

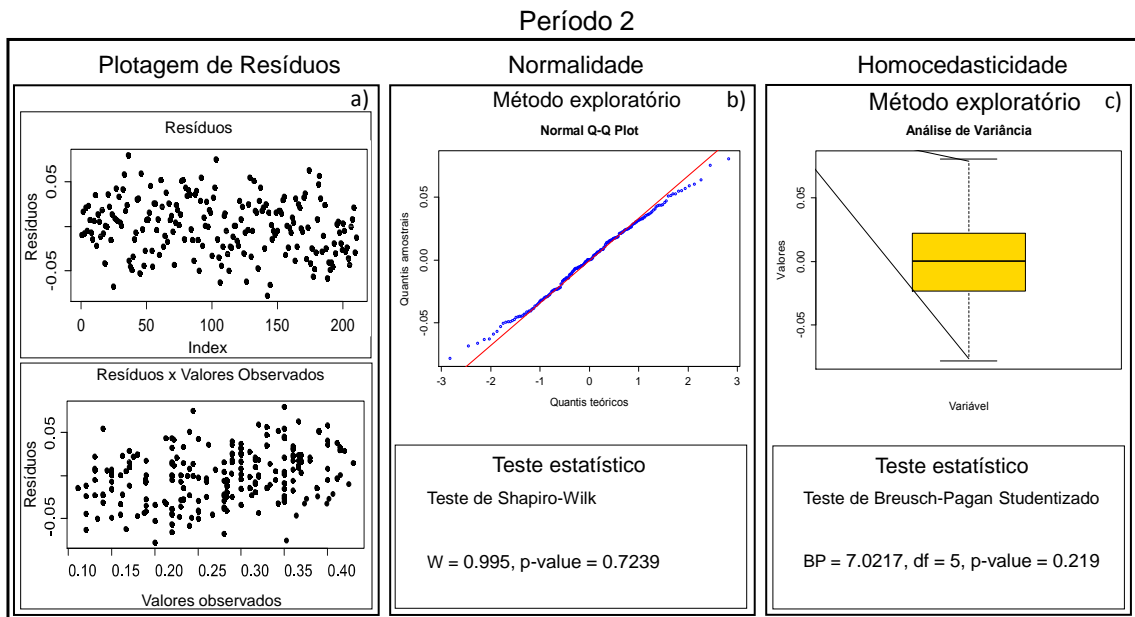
Tabela B.2 – Análise do modelo de regressão múltipla para o período 2

Coeficientes	Estimado	Erro Padrão	t valor	Pr(> t )
Intercepto	$3,206 \times 10^{-1}$	$1,067 \times 10^{-2}$	30,029	$< 2 \times 10^{-16}$ ***
Distância de estradas (DE)	$-4,511 \times 10^{-6}$	$1,306 \times 10^{-6}$	-3,455	0,000669 ***
Distância de áreas queimadas (DQ)	$-3,233 \times 10^{-7}$	$6,971 \times 10^{-7}$	-4,927	$1,72 \times 10^{-6}$ ***
Distância de áreas desmatadas (DD)	$-1,491 \times 10^{-5}$	$1,041 \times 10^{-6}$	- 4,317	$< 2 \times 10^{-16}$ ***
Distância dos PMFS (DPMFS)	$3,233 \times 10^{-7}$	$1,168 \times 10^{-7}$	2,767	0,006181 **
Densidade de Kernel de Focos de calor (DKF)	$4,957 \times 10^4$	$6,443 \times 10^3$	7,694	$5,99 \times 10^{-13}$ ***

Significância do p-valor : 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1  
 Erro padrão residual: 0,0312 em 204 graus de liberdade  
 $r^2$  múltiplo: 0,8506,  $r^2$  ajustado: 0,8469  
 Estatística F: 232,2 em 5 e 204 GL, p-valor:  $< 2,2 \times 10^{-16}$

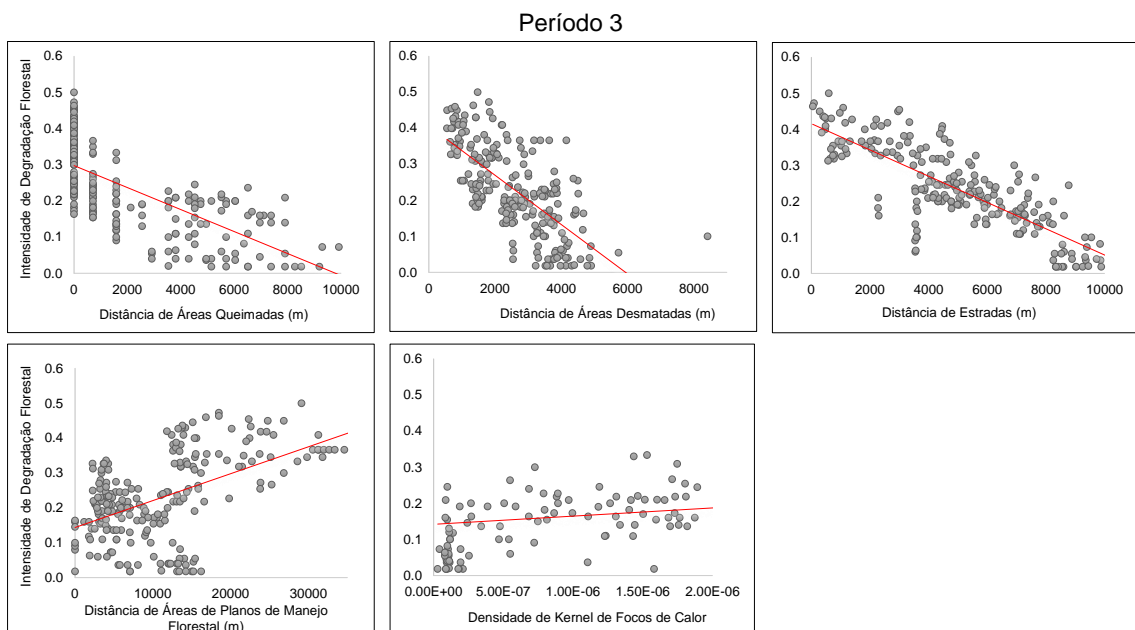
Fonte: Produção do autor

Figura B.4 – Análise dos Resíduos do modelo de regressão ajustado para o segundo período de estudo. Em a) são apresentados os gráficos de dispersão dos resíduos e dos resíduos *versus* valores observados, respectivamente. Em b) são apresentados os diagnósticos de normalidade e em c), o diagnóstico de homocedasticidade.



Fonte: Produção do autor

Figura B.5 – Relação das variáveis que compõem o modelo para explicar a degradação florestal no período 3.



Fonte: Produção do autor

Tabela B.3 – Análise do modelo de regressão múltipla para o período 3

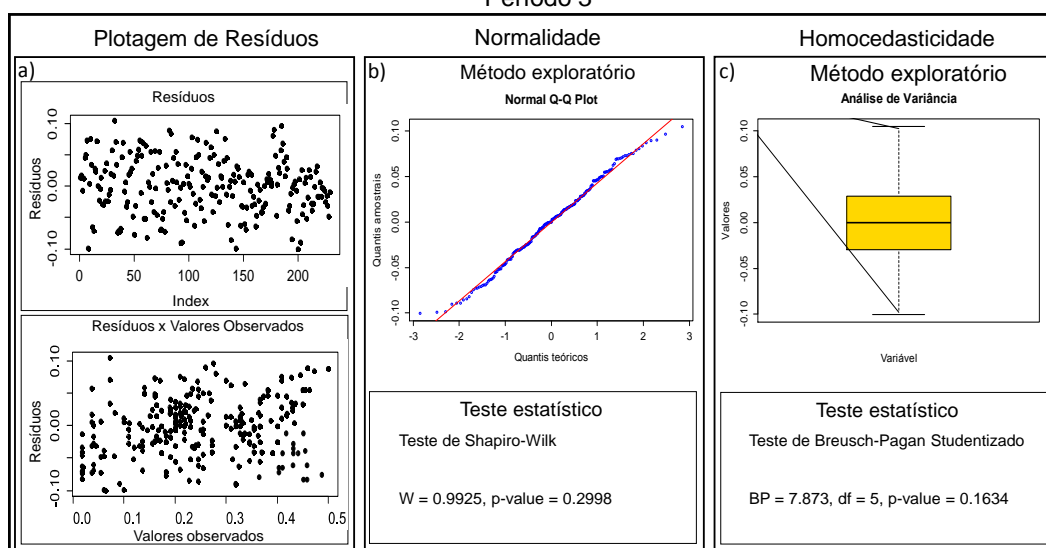
Coeficientes	Estimado	Erro Padrão	t valor	Pr(> t )
Intercepto	$3,292 \times 10^{-1}$	$1,386 \times 10^{-2}$	23,746	$< 2 \times 10^{-16}$ ***
Distância de estradas (DE)	$-1,179 \times 10^{-5}$	$1,583 \times 10^{-6}$	-10,856	$< 2 \times 10^{-16}$ ***
Distância de áreas queimadas (DQ)	$-8,583 \times 10^{-6}$	$1,397 \times 10^{-6}$	-6,143	$3,69 \times 10^{-9}$ ***
Distância de áreas desmatadas (DD)	$-1,939 \times 10^{-5}$	$3,213 \times 10^{-6}$	-6,034	$6,59 \times 10^{-9}$ ***
Distância dos PMFS (DPMFS)	$2,823 \times 10^{-7}$	$3,948 \times 10^{-7}$	7,150	$1,23 \times 10^{-11}$ ***
Densidade de Kernel de Focos de calor (DKF)	$6,801 \times 10^3$	$1,067 \times 10^3$	6,374	$1,05 \times 10^{-9}$ ***

Significância do p-valor : 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 ',' 0,1 '.' 1  
 Erro padrão residual: 0,04435 em 223 graus de liberdade  
 $r^2$  múltiplo: 0,8659,  $r^2$  ajustado: 0,8629  
 Estatística F: 288,1 em 5 e 223 GL, p-valor:  $< 2,2 \times 10^{-16}$

Fonte: Produção do autor

Figura B.6 – Análise dos Resíduos do modelo de regressão ajustado para o terceiro período de estudo, Em a) são apresentados os gráficos de dispersão dos resíduos e dos resíduos *versus* valores observados, respectivamente, Em b), os diagnósticos de normalidade e, em c), o diagnóstico de homocedasticidade,

Período 3



Fonte: Produção do autor