MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/02.15.01.56-TDI

ANÁLISE DOS FATORES DETERMINANTES E TRAJETÓRIAS DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA

Juliana Paiva Nunes Kury

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Ana Paula Dutra de Aguiar, e Dalton de Morisson Valeriano, aprovada em 29 de fevereiro de 2016.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3L6QAUP>

INPE
São José dos Campos
2016

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
Fax: (012) 3208-6919
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 Ducca 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 E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/02.15.01.56-TDI

ANÁLISE DOS FATORES DETERMINANTES E TRAJETÓRIAS DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA

Juliana Paiva Nunes Kury

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Ana Paula Dutra de Aguiar, e Dalton de Morisson Valeriano, aprovada em 29 de fevereiro de 2016.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3L6QAUP>

INPE
São José dos Campos
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Kury, Juliana Paiva Nunes.

K967a Análise dos fatores determinantes e trajetórias da degradação florestal na Amazônia legal brasileira / Juliana Paiva Nunes Kury. – São José dos Campos : INPE, 2016.

xviii + 110 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/02.15.01.56-TDI)

Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

Orientadores : Drs. Ana Paula Dutra de Aguiar, e Dalton de Morisson Valeriano.

1. Amazônia legal brasileira. 2. Degradação florestal. 3. Análise multitemporal. 4. Análise intra-regional. 5. Análise estadual. I.Título.

CDU 504.1(811.3)

Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

Aluno (a): ***Juliana Palva Nunes Kury***

Título: "ANÁLISE DOS FATORES DETERMINANTES E TRAJETÓRIAS DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA ".

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

Ciência do Sistema Terrestre

Dr. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto

Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Dra. Ana Paula Dutra de Aguiar

Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Dalton de Morisson Valeriano

Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Flávio Jorge Ponzoni

Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Joberto Veloso de Freitas

Convidado(a) / UFAM / Manaus - AM

Dra. Ane Auxiliadora Costa Alencar

Convidado(a) / INPA / Brasília - DF

Este trabalho foi aprovado por:

( ) maioria simples

(X) unanimidade

São José dos Campos, 29 de Fevereiro de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus orientadores Dra. Ana Paula Dutra de Aguiar e Dr. Dalton de Morisson Valeriano pelo aprendizado e confiança no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço pela atenção, dedicaçãoe amizade.

Ao Dr. Joberto Veloso de Freitas, a Dra. Ane Auxiliadora Costa Alencar, ao Dr. Flávio Jorge Ponzoni e Dr. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto, pelas contribuições valiosas ao trabalho.

À Talita Assis e Grasiela Rodrigues pela ajuda e apoio no desenvolvimento do meu trabalho. Obrigada pela amizade e parceria de trabalho estabelecida.

A todos os meus colegas do curso de Doutorado em Ciência doSistema Terrestre (CST), em especial aos amigos da turma de 2010, Camille, Adriana, Eloi, Jussara e Felipe. Obrigada pela parceria e diversos momentos que passamos juntos.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao Centro de Ciência do Sistema Terrestre do INPE, agradeço o auxílio à pesquisa e a disponibilidade de infraestrutura.

A meu marido Eduardo e minha filha Carolina, que estiveramsempre ao meu lado. Obrigada por fazerem parte da minha vida e torná-la muito mais feliz. Obrigada pelapaciência, dedicação, compreensãoe apoio necessário para continuar.

A meus familiares e em especial meu pai, Nunes e minhamãe, Ana Maria que mesmo de longe me deram todo o apoio para continuar. Obrigadapor

entenderem a minha ausência em muitos momentos importantes e principalmente por acreditarem em mim.

A Deus, por ter iluminado o meu caminho e me dado e serenidade para ir em frentedurante todos esses anos.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A degradação florestal na Amazônia Legal Brasileira vem ocorrendo de forma acentuada, apesar da redução significativa na taxa do desmatamento na última década. A degradação envolve um processo dinâmico de mudança de uso e cobertura da terra onde as florestas passam por períodos de distúrbios segundo diferentes escalas espaciais e temporais. Uma floresta degradada pode ser definida como uma área que ainda permanece com tipologia florestal, porém sofreu perda de biomassa, biodiversidade e serviços ecológicos, resultantes principalmente por atividades de exploração ilegal de madeira e por incêndios florestais. Este estudo tem como objetivo compreender o processo de degradação florestal na Amazônia Brasileira, e identificar potenciais fatores determinantes que mais influenciam o processo na região. Inicialmente, foram analisados os dados do Sistema de Monitoramento da Degradação Florestal na Amazônia (DEGRAD), uma vez que estes serviram de base para todas as análises realizadas nesta tese. Em seguida, foi realizado o cruzamento dos dados do DEGRAD e do Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), no período de 2007 a 2012 buscando identificar as possíveis trajetórias da degradação florestal na região. Com isso, identificou-se o tempo de permanência entre episódios de degradação, de processo de regeneração florestal e conversão em corte raso. As análises foram realizadas para toda a região e estratificadas por estado. Os resultados mostram que a maior parte da área degradada no período analisado, foi abandonada no ano seguinte à degradação, enquanto uma pequena parte foi convertida em corte raso e outra permaneceu em processo de degradação. Para finalizar, foi realizada análise estatística para identificar os fatores que mais influenciam o processo de degradação florestal na Amazônia. Esta análise considerou a degradação florestal ocorrida em 2007 e as três trajetórias resultantes da análise anterior no período de 2007 a 2012, classificadas em degradação, conversão em corte raso e em processo de regeneração. Além disso, analisou diferentes partições no espaço para avaliar diferenças intra-regional na importância relativa dos fatores determinantes da degradação. As partições analisadas foram o Arco do Desmatamento, a Amazônia Central com o Arco e toda a Amazônia. Os resultados das análises confirmaram que a importância relativa dos fatores determinantes da degradação varia bastante na Amazônia. Com base nos resultados e na constatação de que a degradação é desigual entre os estados, é importante determinar quais são os fatores mais atuantes a explicar a degradação em cada estado. Para identificar isso, realizou-se uma analise para o estado do Mato Grosso, porém considerando apenas as trajetórias da degradação. Estas análises representam importante ferramenta para auxiliar os tomadores de decisão em criar políticas mais efetivas no monitoramento e controle da degradação, além de apresentar suporte para futuras pesquisas relacionadas, por exemplo, à estimativa de emissões de carbono provenientes de mudanças de uso e cobertura da terra na Amazônia Brasileira.

Palavras-chave: Amazônia Legal Brasileira. Degradação florestal. Análise Multitemporal. Análise intra-regional. Análise estadual.

ANALYSIS OF FACTORS DETERMINANTS AND TRAJECTORIES OF FOREST DEGRADATION IN THE LEGAL BRAZILIAN AMAZONA

ABSTRACT

The forest degradation in the Legal Brazilian Amazon has occurred sharply, despite the significant reduction in the deforestation rate in the last decade. The degradation involves a dynamic process of land use and land cover change where the forests go through periods of disorders according to different spatial and temporal scales. A degraded forest can be defined as an area that still remains with forest typology, but suffered loss of biomass, biodiversity and ecological services, mainly by illegal logging activities in wood and forest fires. This study aims to understand the process of forest degradation in the Brazilian Amazon, and identify potential determinants that influence the process in the region. Initially, we analyzed the data from the Forest Degradation Monitoring System in the Amazon (DEGRAD), since these data were the basis for all analyzes performed in this thesis. Then we carried out the intersection of DEGRAD data and Monitoring Program of the Brazilian Amazon Forest Satellite (PRODES) data from 2007 to 2012 aiming to identify the possible trajectories of forest degradation in the region. With this, it identified the permanence time between episodes of degradation, of forest regeneration process and of conversion into clear-cut. Analyses were performed for the whole region and stratified by state. The results show that most of the damaged area during the period studied was abandoned in the coming year after degradation, while a small portion was converted in clear-cut and the other remained in the degradation process. Finally, statistical analysis was performed to identify the variables that influence the forest degradation process in the Amazon. This analysis considered forest degradation occurred in 2007 and the three trajectories resulting from previous analysis from 2007 to 2012, classified as degradation, conversion to clearcutting and regeneration process. Moreover, it explored different partitions in the space to explore intra-regional differences of in the relative importance of the determinants of degradation. The analyzed partitions were the Arc of Deforestation in Central Amazon with the Arc and the whole Amazon. The test results confirmed that the relative importance of the determinants of degradation factors varies widely in the Amazon. Based on the results and the finding that degradation is uneven across the states, it is important to determine which are the most active factors to explain the degradation in each state. To identify it, we performed an analysis for the state of Mato Grosso, only considering the trajectories of degradation. These analyzes are an important tool to assist decision-makers to create more effective policies on monitoring and control of degradation, and provide support for future related research, for example, the estimated carbon emissions from land use and land cover change in the Brazilian Amazon.

Keywords: Legal Brazilian Amazon, forest degradation, multi-temporal analysis, intra-regional analysis, state analysis

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 - Estrutura da tese. 5
Figura 3.1 -Compilação das áreas degradadas registradas pelo DEGRAD, no período de 2007 a 2013 na Amazônia Brasileira. 18
Figura 3.2 - Relação entre áreas degradadas mapeadas pelo DEGRAD e ocorrência de fogo identificada no Sistema de Monitoramento de Queimadas e Incêndios, na Amazônia Brasileira entre 2007 a 2013..... 20
Figura 3.3 - Áreas degradadas e desmatadas registradas pelo DEGRAD e PRODES, respectivamente, na Amazônia Brasileira no período de 2007 a 2013. 21
Figura 3.4 - Áreas Protegidas (a) e Assentamentos Rurais (b) na Amazônia Legal Brasileira 26
Figura 4.1 - Área de estudo: Amazônia Legal Brasileira 34
Figura 4.2 – Fases das interseções dos dados do DEGRAD e do PRODES no período de 2007 a 2012. 35
Figura 4.3 - Trajetórias Degradação resultante do cruzamento dos dados do DEGRAD e do PRODES no período de 2007 a 2012..... 42
Figura 4.4 - Trajetórias Corte Raso resultante do cruzamento dos dados do DEGRAD e do PRODES no período de 2007 a 2012..... 42
Figura 4.5 - Trajetórias Regeneração resultante do cruzamento dos dados do DEGRAD e do PRODES no período de 2007 a 2012..... 43
Figura 4.6 – Porcentagem e área total das trajetórias degradação, corte raso e regeneração em relação ao total analisado entre 2007 e 2012. 43
Figura 5.1 – Área de Estudo..... 54
Figura 5.2 – Padrão espacial da degradação florestal em 2007. 56
Figura 5.3 – Padrão espacial da trajetória degradação entre 2007 e 2012..... 57
Figura 5.4 – Padrão espacial da trajetória corte raso entre 2007 e 2012..... 57
Figura 5.5 – Padrão espacial da trajetória regeneração entre 2007 e 2012..... 57
Figura 5.6 – Padrão espacial da distância mínima do desmatamento (2007).. 58

Figura 5.7 – Eixo de transporte madeireiros na Amazônia Legal. 59
Figura 5.8 – Fronteiras e pólos madeireiros na Amazônia Legal. 61
Figura 5.9 – Distância Mínima a Pólos Madeireiros. 61
Figura 5.10 – Distância Mínima a Depósitos Minerais. 62
Figura 5.11 – Distância Mínima aos principais rios. 63
Figura 5.12 – Distância Mínima a todas as rodovias. 63
Figura 5.13 – Distância Mínima a centros urbanos. 63
Figura 5.14 – Conexão a mercados nacionais. 64
Figura 5.15 – Conexão a portos. 65
Figura 5.16 – Porcentagem Áreas Protegidas: Unidades de Conservação, Terras Indígenas e Áreas Militares 65
Figura 5.17 – Porcentagem Assentamentos. 66
Figura 4.18 – Porcentagem de solos férteis. 66
Figura 5.19 – Partições no espaço: a) Arco do desmatamento; b) Amazônia Central e Arco; c) Amazônia Legal Brasileira. 67
Figura 5.20 – Comparação gráfica dos fatores determinantes da degradação em 2007 nas três partições espaciais. 79
Figura 5.21 – Comparação gráfica dos fatores determinantes da trajetória degradação nas três partições espaciais. 81
Figura 5.22 – Comparação gráfica dos fatores determinantes da trajetória corte raso nas três partições espaciais. 83
Figura 5.23 – Comparação gráfica dos fatores da trajetória regeneração nas três partições espaciais. 85
Figura 5.24 – Padrão espacial das variáveis dependentes no Mato Grosso.... 88
Figura 5.25 – Comparação gráfica dos principais fatores determinantes da degradação no Mato Grosso..... 90

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 3.1 - Distribuição das áreas degradadas por Estado na Amazônia Legal Brasileira no período de 2007 a 2013. 19
Tabela 3.2 - Área total (km²) degradada e desmatada entre 2007 e 2013, por estado na Amazônia Legal Brasileira. 22
Tabela 3.3 - Área degradada (km²) por estado na Amazônia Legal Brasileira entre 2007 e 2013, registrada no DEGRAD e estimada sem considerar sobreposição de áreas. 23
Tabela 3.4 - Conversão de áreas degradadas entre 2007 e 2013 na Amazônia Legal Brasileira, em degradação recorrente, corte raso e área abandonada. 25
Tabela 3.5 - Proporção de área degradada em áreas protegidas e assentamento rural no período de 2007 a 2013 na Amazônia Legal. 30
Tabela 4.1 - Trajetórias resultantes das interseções dos dados do DEGRAD e do PRODES no período de 2007 a 2012, área (km²) e porcentagem em relação ao total degradado em 2007 (15.983 km²). 38
Tabela 4.2 – Porcentagem (%) de área degradada (rosa), convertida em corte raso (marrom) e abandonada (verde) em relação à área degradada no ano base (2007) das interseções dos dados do DEGRAD e do PRODES no período de 2007 a 2012. 40
Tabela 4.3 - Área (km²) e porcentagem por estado das trajetórias na Amazônia Legal Brasileira no período de 2007 a 2013. 44
Tabela 4.4 - Tempo de permanência entre episódios de degradação, regeneração, conversão em corte raso e alternância entre processos.... 45
Tabela 4.5 - Comparativo de áreas convertidas em corte raso, em regeneração e em processo de degradação. 46
Tabela 5.1 - Descrição das variáveis utilizadas na modelagem estatística, operador e fonte de dados. 55

Tabela 5.2 – Comparativo dos Modelos de Regressão Linear e Espacial nas três partições espacial. 72
Tabela 5.3 – Modelos de regressão espacial (spatiallag) dos fatores determinantes da degradação florestal nas três partições espacial..... 74
Tabela 5.4 – Fatores determinantes de cada variável dependente nas três partições espacial 77
Tabela 5.5 – Coeficientes de regressão (beta) dos fatores determinantes da degradação florestal, nas diferentes partições no espaço para as quatro variáveis dependentes. 86
Tabela 5.6 – Modelos de regressão espacial (spatiallag) dos fatores determinantes relacionados ao processo de degradação florestal no Mato Grosso. 88
Tabela 5.7– Fatores determinantes para cada variável dependenteno Mato Grosso. 89
Tabela A.1 - Matriz de correlação entre variáveis exploratórias potenciais na Amazônia Brasileira. 107
Tabela A.2 – Matriz de correlação entre variáveis exploratórias potenciais na Amazônia Central e Arco do Desmatamento. 108
Tabela A.3 – Matriz de correlação entre variáveis exploratórias potenciais no Arco do Desmatamento. 109
Tabela A.4 – Matriz de correlação entre variáveis exploratórias potenciais no Mato Grosso. 110

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DEGRAD	Sistema para Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira
DETER	Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real
DETEX	Sistema de Detecção de Exploração Seletiva
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IMAZON	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PAMZ	Programa Amazônia
PPCDAm	Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PRODES	Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
TI	Terras Indígenas
UCPI	Unidades de Conservação de Proteção Integral
UCUS	Unidades de Conservação de Uso Sustentável

SUMÁRIO

Pág.

1 INTRODUÇÃO 1
1.1. Hipótese, objetivos e contribuição da pesquisa 3
1.2. Estrutura da tese 4
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 7
2.1. Degradação Florestal 7
2.2. Exploração madeireira e incêndios florestais 9
2.3. Monitoramento da degradação florestal 12
3 ANÁLISE DOS DADOS DO SISTEMA PARA MAPEAMENTO DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA 17
3.1. Distribuição das áreas degradadas identificadas pelo DEGRAD 18
3.2. Conversão das áreas degradadas 24
3.3. Avaliação das áreas degradadas em áreas protegidas e assentamentos rurais 26
3.4. Conclusão 30
4 TRAJETÓRIAS DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA 33
4.1. Introdução 33
4.2. Área de estudo 33
4.3. Material e Métodos 34
4.4. Resultados e Discussão 36
4.4.1. Trajetórias da degradação florestal 36
4.4.2. Trajetórias da degradação florestal por Estado 44
4.4.3. Tempo de permanência do processo 45
4.5. Conclusão 47
5 MODELAGEM ESPACIAL DOS FATORES DETERMINANTES DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA 51
5.1. Introdução 51
5.2. Área de estudo 53

5.3. Banco de dados 54
5.3.1. Variáveis de padrões de uso da terra 56
5.3.2. Fatores determinantes potenciais 58
5.4. Métodos 67
5.4.1. Modelo de Regressão Linear 68
5.4.2. Modelo de Regressão Espacial 69
5.5. Resultados e Discussão 70
5.5.1. Análise dos Modelos de Regressão Linear e Espacial 71
5.5.2. Fatores determinantes nas três partições espaciais 74
5.5.3. Relação entre a variável dependente e as variáveis explicativas 78
5.5.4. Análise dos Modelos de Regressão Espacial para o estado do Mato Grosso 87
5.6. Conclusão 91
6 CONCLUSÃO GERAL 93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 97
APÊNDICE A 107

1 INTRODUÇÃO

A degradação florestal na Amazônia Legal Brasileira vem ocorrendo de forma acentuada segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), apesar da redução significativa na taxa do desmatamento na ultima década. No período de 2007 a 2013, a área de floresta degradada na regiãofoi de aproximadamente 76 mil km², ou seja, 26% maior que a área desmatada por corte raso, 56 mil km² no mesmo período (INPE, 2015 a, b).

Dados dessa magnitude indicam a necessidade de avançar em estudos para entender os processos de mudanças de uso e cobertura da terra[1] relacionados à degradação florestal, pois podem fornecer informações importantes para auxiliar tomadores de decisão no combate à degradação e no uso sustentável da floresta. Ultimamente as medidas de conservação na Amazônia focam principalmente o controle do desmatamento (MMA, 2013), enquanto a degradação tem sido pouco discutida e avaliada.

O termo degradação florestal no meio técnico científico é bastante complexo, no entanto a maioria das definições estabelecidas globalmente indicam mudanças ocorridas na floresta que afetam negativamente a estrutura, a dinâmica e a função do local (FAO, 2001), bem como reduzem sua capacidade no fornecimento de bens e serviços (CBD, 2001, ITTO, 2002; FAO, 2011), podendo incluir, por exemplo, o armazenamento de carbono, a regulação do clima e a conservação da biodiversidade (FOLEY et al., 2005; THOMPSON et al., 2013; BERENGUER et al., 2014).

---

[1]*Cobertura da terra* compreende a caracterização do estado físico, químico e biológico da superfície terrestre e trata-se de um fenômeno único em um certo local e tempo, como por exemplo, floresta, água, área construída. *Uso da terra* refere-se ao processo no qual a cobertura da terra é modificada ou convertida devido a propósitos humanos associados àquela cobertura, como por exemplo, extração de madeira, queimadas, pecuária, conservação, área residencial, entre outros (TURNER et al., 1994, citado por BRASSOULIS, 2000)

Outras colocações menos generalistas são fornecidas pelo IPCC (2003), segundo o qual, a degradação florestal pode ser compreendida como a perda induzida diretamente pelo homem, no estoque de carbono da floresta persistindo por um determinando tempo “T”, não classificada como desmatamento, e por Lamb & Gilmour (2003), como a perda da estrutura, da produtividade e da diversidade de espécies nativas, sendo que uma área degradada pode ainda conter árvores.

De forma simplificada, a degradação florestal envolve um processo de perda parcial da cobertura florestal e não conversão de floresta em outros tipos de cobertura da terra, ou seja, uma floresta degradada pode ser definida como uma área que ainda permanece com tipologia florestal, porém sofreu perda de biomassa, biodiversidade e serviços ecológicos (PARROTTA et al., 2012), resultante principalmente por atividades humanas (IPCC, 2003). No entanto, o processo de degradação florestal pode ser atribuído a diversos fatores tanto naturais (tempestades, secas) como antrópicos (queimadas, incêndios florestais, exploração madeireira, agricultura, pecuária)

Embora existam inúmeras definições de degradação florestal (SIMULA, 2009; FAO, 2011), muitas são reducionistas e não são adequadas para os tomadores de decisão que visam gerenciar os recursos naturais (THOMPSON et al., 2013). Diante disso, há crescente necessidade de um conceito bem definido (SASAKI; PUTZ, 2009) que englobe as escalas espacial e temporal, além de classificações bem claras dos padrões da degradação.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo compreender o processo de degradação florestal na Amazônia Legal Brasileira, por meio da análise dos dados doSistema de Monitoramento da Degradação Florestal (DEGRAD) desenvolvidos pelo INPE, além de identificar os potenciais fatores determinantes do processo. As próximas seções apresentam a hipótese, os objetivos, a contribuição desta pesquisa e a organização do documento.

1.1. Hipótese, objetivos e contribuição da pesquisa

Esta tese explora as seguinteshipóteses sobre o processo de degradação florestal na Amazônia Legal Brasileira:

- Áreas em processo de degradação florestal por atividades de exploração madeireira ou incêndios florestais na Amazônia, terminam sendo convertidas em desmatamento por corte raso.
- Os potenciais fatores determinantes do processo de degradação florestal é desigual entre diferentes partições no espaço.

O objetivo geral desta tese é compreender o processo de degradação florestal na Amazônia Legal Brasileira, e identificar potenciais fatores determinantes que influenciam esse processo na região. Deste modo, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar os dados da degradação florestal registrados pelo Sistema para Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira (DEGRAD) desenvolvido pelo INPEque servirão de base para todas as análises deste estudo;
- Analisar a dinâmica espaço-temporal da degradação florestal na Amazônia Legal Brasileira no período de 2007 a 2012, buscando caracterizar e quantificar trajetórias da degradação;
- Analisar as relações espaciais dos padrões de degradação aos fatores socioeconômicos, institucionais e condições de infraestrutura, buscando identificar potenciais fatores determinantes do processo de degradação florestal na Amazônia.

Cientificamente, essa tese visa contribuir com informações relacionadas ao processo da dinâmica florestal associada à degradação florestal, bem como os potenciais fatores determinantes do processo, podendo assim auxiliar os tomadores de decisão que visam gerenciar os recursos naturais, em criar políticas mais efetivas na prevenção, monitoramento e combate da degradação. Além disso, apresentar suporte de dados para

futuras pesquisas relacionadas, por exemplo, a estimativas de emissões de carbono provenientes do processo de degradação florestal na Amazônia Legal Brasileira.

1.2. Estrutura da tese

Inicialmente o Capítulo 2 apresenta a Fundamentação Teórica abordando o processo de degradação florestal, as atividades relacionadas ao processo, como a exploração de madeira e incêndios florestais e o monitoramento da degradação florestal.

O Capítulo 3 apresenta a distribuição das áreas degradadas na Amazônia Legal Brasileira entre 2007 e 2013 registradas pelo INPE, fazendo um comparativo com focos de calor e dados de desmatamento no mesmo período. Além disso, analisaa conversão dessas áreas, no ano seguinte ao processo de degradação, bem como sua ocorrência em Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Áreas Militares e Assentamentos Rurais.

O Capítulo 4 apresenta o resultado das trajetórias da degradação florestal (degradação, corte raso e regeneração) na Amazônia Legal Brasileira no período de 2007 a 2012, resultantes do cruzamento dos dados dos Sistemas de Monitoramento da Degradação Florestal (DEGRAD) e do Desmatamento (PRODES) desenvolvidos pelo INPE.

Em seguida, o Capítulo 5apresenta os resultados das análises estatísticas dos modelos de regressão linear e espacial considerando a degradação florestal ocorrida em 2007 e as três trajetórias resultantes da análise anterior, no período de 2007 a 2012, comparando diferentes partições do território amazônico (Arco do Desmatamento, a Amazônia Central juntamente com o Arcoe toda a Amazônia Brasileira). Assim como, os resultados da regressão espacial do estado do Mato Grosso para as trajetórias da degradação.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões gerais desta tese, contribuições, limitações e algumas sugestões para a continuidade dessa pesquisa.

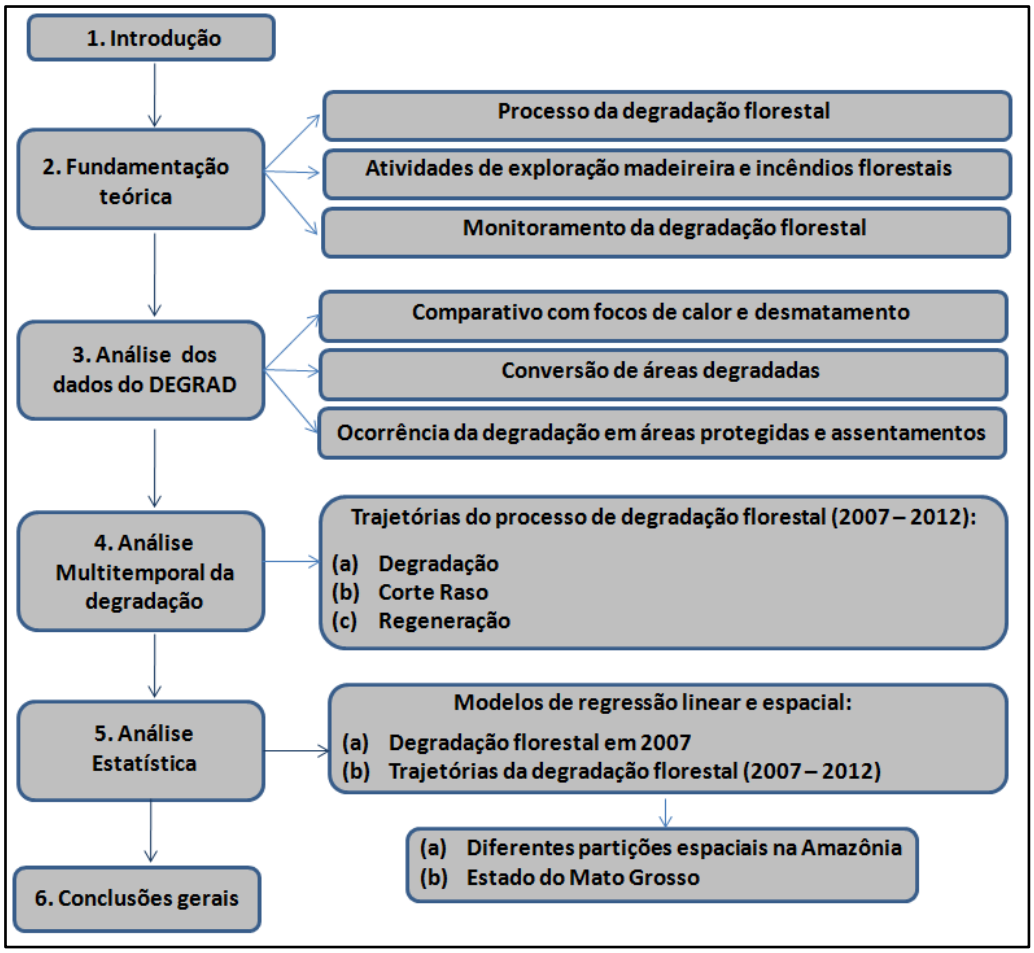


Figura 1.1 - Estrutura da tese.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Fundamentação teórica abordar o processo da degradação florestal (2.1), em seguida as atividades relacionadas ao processo, como a extração de madeira e os incêndios florestais (2.2), e o monitoramento da degradação florestal (2.3).

2.1. Degradação Florestal

A degradação florestal trata-se de um processo dinâmico de mudança de uso e cobertura da terra, resultante da interação de diversos fatores no tempo e no espaço. O processo leva à alteração do estado da floresta primária (COCHRANE, 2003) e é caracterizado pela combinação da floresta com uma ou mais classes de cobertura da terra como cicatriz de fogo florestal, solo exposto e floresta secundaria INPE (2008 b).

A proporção, frequência, densidade e arranjo espacial dessas classes, bem como dos distúrbios, como a exploração predatória de madeira e os incêndios florestais provenientes de queimadas que escapam ao controle e invadem florestas primárias ou previamente exploradas (NEPSTAD et al., 1999 a), podem indicar a intensidade da degradação florestal, classificada, por exemplo, pelo INPE (2008 b), como leve, moderada ou alta. No entanto, o processo implica em vários estágios dificultando assim sua separação em classes bem definidas.

Segundo INPE (2008, a, b), as áreas com intensidade de degradação leve apresentam pequenas clareiras que podem estar associadas à atividade de extração de madeira. Nesse estágio, o primeiro passo,por exemplo, é a retirada de madeiras nobres de alto valor comercial, indicando o estágio inicial de alteração da cobertura florestal. No estágio intermediário, de intensidade de degradação moderada, ainda são encontradas árvores de grande porte e sub-bosque conservado, porém a presença de pátios de estocagem e ramais de arraste torna evidente a ocorrência de extração

de madeira. No estágio mais avançado, com intensidade de degradação alta, há perda significativa das árvores de grande porte, com perda concomitante do sub-bosque. Nesse estágio é evidente a presença de grandes clareiras, pátios de estocagem e ramais de arraste.

Além deste exemplo, considerando diferentes estágios na intensidade da degradação por exploração de madeira, seria por queimadas, porém mais frequentes em estágios mais avançados da degradação e com presença de grandes clareiras com solo exposto e cicatriz de fogo florestal (INPE, 2008 a). Sob esses tipos de degradação, as florestas se tornam mais suscetíveis ao fogo florestal, devido à redução da umidade e do aumento da quantidade de material lenhoso no interior da floresta, o que resulta em aumentos ainda maiores da mortalidade de árvores e da probabilidade de ocorrer novos incêndios florestais (GERWING, 2002; MONTEIRO et al. 2004; NEPSTAD et al., 2000).

O processo de degradação florestal pode terminar na conversão da floresta em desmatamento por corte raso, ou seja, em áreas de pastagem ou agricultura, se não houver interrupção. Porém, uma vez cessadas tais atividades e dependendo de suas frequências, magnitudes e intensidades do impacto gerado, a floresta pode-se recuperar em um determinado espaço de tempo.

Contudo, uma análise temporal da degradação florestal possibilita observar as alterações na cobertura florestal remanescente ao longo do tempo (LAMBIN, 1999). Essas sucessivas modificações na cobertura são conhecidas como trajetórias da degradação florestal, que necessitam ser compreendidas e avaliadas de forma mais eficiente para combater o processo.

Diversos estudos vêm demonstrando a magnitude da degradação florestal na Amazônia Brasileira nas ultimas décadas associadas a atividades de exploração predatória de madeira e incêndios florestais (COCHRANE et al., 1999; NEPSTAD et al. 1999; SANTOS et al., 2001; ASNER et al.,

2005; ASNER et al., 2006; ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010; ALENCAR et al, 2011), bem como os impactos gerados sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (GERWING, 2002; MONTEIRO et al., 2004; BERENGUER et al., 2014), e as emissões de carbono para a atmosfera provenientes do processo (AGUIAR, et al., 2015).

O processo de degradação florestal incrementa consideravelmente as emissões de carbono por desmatamento (AGUIAR, et al., 2015) e necessitam ser adequadamente incluídas no cálculo do balanço de carbono das atividades relacionadas a mudança de uso da terra na região amazônica (BERENGUER et al., 2014).

Van der Werfet al. (2009) estimaram que a contribuição das emissões de carbono por desmatamento e degradação florestal em florestas tropicais representou 12% do total das emissões antrópicas de CO_2 em 2008, considerando uma faixa de 6 - 17%, em função das incertezas das estimativas. Porém, estimativas de emissões de carbono por desmatamento na Amazônia, geralmente estão relacionadas às áreas de corte raso (AGUIAR, 2012; HOUGHTON, 2010), com finalidade de expansão agrícola ou pecuária, não incluindo as perdas de carbono no processo de degradação associada à atividades de exploração madeireira e incêndios florestais.

2.2. Exploração madeireira e incêndios florestais

A exploração de madeira é uma das formas mais dinâmicas de mudança de uso da terra e uma das principais atividades econômicas da Amazônia Brasileira, no entanto, sua prática tem sido insustentável e realizada em bases predatórias, fundada numa visão imediatista sem nenhum tipo de planejamento prévio à extração de madeira causando uma série de impactos (VERÍSSIMO et al., 2002 a; SBF & IMAZON, 2010).

Inicialmente, os madeireiros entram na floresta para retirar indivíduos de espécies de alto valor comercial, e em seguida, em intervalos cada vez

mais curtos, podem retornar à mesma área para retirar o restante das árvores de valor econômico ou indivíduos ainda jovens das espécies mais valiosas (AMARAL et al., 1998; BARROS; VERÍSSIMO, 2002). O resultado é uma floresta com grandes clareiras, muitas árvores remanescentes danificadas (UHL et al., 1991; VERÍSSIMO et al., 1992) e danos na composição e estrutura da floresta, facilitando a entrada e a propagação do fogo, devido à redução da umidade e do aumento da quantidade de material lenhoso no interior da floresta, dificultando a regeneração de espécies de alto valor comercial e reduzindo drasticamente o estoque madeireiro (COCHRANE; SCHULZE, 1999; JUNIOR, 2007; PANTOJA, 2010).

As queimadas, amplamente inseridas no processo produtivo da Amazônia, constituem uma prática de manejo utilizada na criação e na manutenção de pastos e na expansão da fronteira agrícola (PIROMAL et. al., 2008). Muitas vezes são relacionadas a um processo intencional do uso do fogo, com o propósito de converter florestas em áreas de lavouras ou de pastagens, ou controlar a proliferação de plantas invasoras (NEPSTAD et al., 1999 a). O fogo se espalha, por exemplo, como uma linha de chamas de movimento lento no sub-bosque, as bases de muitas árvores são queimadas à medida que o fogo se prolonga (NEPSTAD et al., 2000).

A propagação do fogo de forma não controlada resulta nos incêndios florestais, uma vez que áreas previamente estabelecidas como fora do alcance do fogo podem ser atingidas acidentalmente (COCHRANE et al., 1999; NEPSTAD et al., 1999 b), queimando áreas já alteradas pela ação antrópica (pastagens, áreas agrícolas ou exploradas) e até mesmo áreas extensivas de florestas em pé, principalmente durante períodos de seca severa (MATRICARDI et al., 2010; ALENCAR et al, 2011).

A exploração de madeira e os incêndios florestais promovem mudanças significativas na estrutura da floresta. Estudos conduzidos por Gerwing (2002), Monteiro et al. (2004) e Cochrane e Schulze(1999) com objetivo

de compreender as implicações da degradação florestal, comparando os impactos de diferentes intensidades de exploração e queimadas na estrutura e composição da floresta, mostraram que florestas perturbadas tornam-se ainda mais vulneráveis a futuras queimadas e os distúrbios causados na mesma diminuem a capacidade de produção de madeira devido à drástica redução de espécie de valor comercial. Além disso, o ciclo de exploração e de queimadas repetidas torna a floresta mais degradada em termos de redução de biomassa, diversidade de espécies e estrutura da floresta.

Gerwing (2002) classificou as áreas em cinco classes de degradação: 1) intacta; 2) moderadamente explorada (com intensidade de extração média de 35 m^3/ha); 3) intensamente explorada (69 m^3/ha); 4) explorada e levemente queimada (35,6 m^3/ha, com uma ou duasqueimadas, queimando em média 72% da área total); e 5) explorada e intensamente queimada (intensidade de exploração similar à classe 2 com dois ou três incêndios queimando 96% da área total). Os resultados do estudo, mostraram que o aumento na intensidade da degradação, reduz significativamente a proporção da vegetação que permanece intacta após estes distúrbios passando de 72% (classe 2) para 2% (classe 5). Além disso, redução de 39% na cobertura do dossel, aumento de 42% na quantidade de resíduos gerados e redução na estimativa total da biomassa acima do solo de 364 t/ha^{-1} na floresta intacta para 178 t/ha^{-1}na área explorada e intensamente queimada (51% a menos do valor inicial).

Cochrane e Schulze (1999) mostraram que o aumento na frequência e na intensidade de queimadas, reduz entre 10% a 30% a cobertura do dossel, além da redução da biomassa viva e densidades de indivíduos adultos, em relação ás florestas intactas. Concluiu que as queimadas aumentam substancialmente a susceptibilidade das florestas ao fogo, visto que 50% da área das florestas queimadas se tornam inflamável, caso ocorra um período de 16 dias sem chuva.

Outros estudos (HOLDSWORTH E UHL, 1997; UHL E KAUFFMAN, 1990; SCHROEDER et al., 2009) relataram que um único incêndio na floresta, pode matar de 15% a 50% das árvores em pé, reduzindo o fechamento do dossel pela queda das folhas. Além disso, o decréscimo do índice da área foliar favorece o aumento da radiação solar incidente, o ressecamento do interior da floresta, o aumento da quantidade de material morto e da camada inflamável do solo da floresta.

Contudo, essas atividades embora distintas, mas tradicionalmente associadas, resultam em uma floresta mais pobre em biodiversidade, mais suscetível a queimadas e com menos reservas de carbono (BERENGUER et al., 2014) e consequentemente na degradação da floresta, que representa um grave problema ambiental, social e econômico, tanto no nível local quanto no global.

Entretanto, quantificar a dimensão e combater o problema é bastante difícil, pois o processo de degradação florestaltem diversas causas, ocorre em diferentes formas e com intensidade variável, e é percebido de forma distinta por diferentes partes interessadas (FAO, 2011).

2.3. Monitoramento da degradação florestal

O monitoramento de áreas em processo de degradação florestal é de extrema importância, uma vez que permite quantificar a extensão da área alterada e avaliar se as atividades relacionadas ao processo (exploração de madeira e queimadas) foram realizadas de acordo com a legislação ambiental.

O monitoramento permite identificar ocorrência de exploração ilegal de madeira, incêndios florestais e se o plano de manejo autorizado pelos órgãos ambientais foi realizado em área já explorada, desmatada (corte raso) ou se foi além da área aprovada. No entanto, a prevenção e o combate à degradação florestal requer que sistemas eficientes de

monitoramento sejam desenvolvidos e aperfeiçoados, garantindo assim maior eficácia nas políticas públicas.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) desenvolveu Programa Amazônia (PAMZ). Trata-se de um Programa de Monitoramento da Amazônia por Sensoriamento Remoto iniciado em 1988, que recebeu a incumbência do governo brasileiro de realizar o monitoramento e a quantificação do desmatamento da floresta amazônica brasileira por satélite, buscando ter embasamento para ações de fiscalização, controle e combate aos desmatamentos ilegais (INPE, 2015 c). O programa conta com sistemas operacionais de monitoramento do desmatamento por corte raso (PRODES e DETER), da degradação florestal (DEGRAD e DETER) em diferente resolução espacial e frequência temporal e da exploração seletiva de madeira (DETEX) (INPE, 2008 a, b).

O sistema PRODES (Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite) vem sendo executado sistematicamente há mais de 25 anos e estima a taxa anual do desmatamento por corte raso, quando ocorre a retirada completa da cobertura florestal. Este sistema utiliza imagens de sensores que cobrem a Amazônia com baixa frequência temporal (16 e 26 dias) e resolução espacial de 30 e 20 metros, permitindo identificar e mapear desmatamentos em superiores a 6,25 hectares. Identifica áreas referentes à conversão da floresta para o desenvolvimento de atividades agrícola e pastoril, mas não registra derrubadas parciais da floresta, resultantes da atividade de exploração madeireira ou incêndios florestais (INPE, 2008 a).

O DETER (Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real) foi implementado em 2004, para o monitoramento contínuo do desmatamento e da degradação florestal. O sistema foi criado para atender ao Governo Federal no Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), e tem como principal função fornecer informação sobre local e dimensão de

ocorrências de mudanças na vegetação, para auxiliar a fiscalização e o controle de remoção ou uso ilegal da cobertura florestal. Esse sistema utiliza imagens dos sensores MODIS (a bordo do satélite TERRA) e WFI (CBERS-2B) que cobrem a Amazônia com alta frequência temporal, de dois e cinco dias, respectivamente, mas com resolução espacial moderada de 250 metros, permitindo detectar desmatamentos e degradação apenas em áreas superiores a 25 hectares (INPE, 2008 a).

Em função das indicações do crescimento da degradação florestal da Amazônia obtidas a partir dos dados do DETER o INPE desenvolveu em 2008, o DEGRAD (Sistema para Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira), destinado a mapear anualmente e em detalhes áreas de floresta degradada com tendência a ser convertida em corte raso, ou seja, áreas em processo de desmatamento onde a cobertura florestal ainda não foi totalmente removida. O sistema utiliza imagens dos satélites LANDSAT e CBERS e mapeia uma área mínima de 6,25 hectares. Para conhecer melhor o processo de degradação florestal, foi desenvolvido técnicas específicas para processamento das imagens. O processo consiste em preparar as imagens de satélite, aplicando realces de contraste de modo a destacar as evidências da degradação (INPE, 2008 a).

O sistema DETEX (Detecção de Exploração Seletiva) desenvolvido em 2007, com apoio do Serviço Florestal Brasileiro, têm como principal finalidade gerar subsídios à fiscalização efetiva dos planos de manejo das concessões florestais previstas na Lei 11.284/2006 e das florestas públicas em geral (SFB, 2010). O sistema permitirá saber se, de fato, os madeireiros estão respeitando os planos de manejo aprovados pelo governo. Seu diferencial é a observação detalhada de extensões menores, o que possibilita fazer o acompanhamento das atividades das madeireiras no que se refere à exploração seletiva de madeira, na qual são cortadas apenas as árvores de valor comercial.

Além desses Sistemas, o INPE conta o Programa de Monitoramento de Queimadas e Incêndios. O programa é realizado operacionalmente desde 1998 e tem como objetivos detectar e quantificar regularmente, por meio de imagens de satélites, a extensão da vegetação queimada no País, além de monitorar a cobertura da terra e o impacto do fogo para apoiar as ações de gestão ambiental e controlar o desmatamento, queimadas e incêndios florestais. Este monitoramento utiliza imagens de baixa (0,3 a 1 km) e média (10 a 50 m) resolução espacial para estimar a superfície queimada no País, gerando mapas digitais, comparações temporais, e produtos de apoio à gestão e avaliação do impacto do uso do fogo na vegetação (INPE, 2015 d).

A grande extensão da cobertura florestal a ser monitorada na Amazônia torna a aplicação de técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto por imagens de satélite uma forma viável de controle e prevenção da degradação. Além disso, representam importante ferramenta para a compreensão da dinâmica do processo, assim como seus impactos ambientais, social e econômico.Essas técnicas permitem detectar e quantificar áreas onde as atividades de exploração ilegal de madeira e de queimadas ocorrem com alto impacto ambiental (BATISTA, 2004; GRAÇA, 2008), auxiliam no monitoramento de planos de manejo florestal e identificam áreas susceptíveis a incêndios florestais (NEPSTAD et al., 1999).

Alguns estudos que utilizaram técnicas de sensoriamento remoto tem mostrando progresso na detecção de exploração madeireira (SANTOS et al., 2001; HAYASHI; ALENCAR, 2003; MONTEIRO et al., 2007; PANTOJA, 2010) e no monitoramento dos incêndios florestais (COCHRANE et al., 1999; ANDERSON et al., 2005; PIROMAL et. al., 2008; MATRICARDI et al., 2010; ALENCAR, 2011).

Estimativas da área afetada pela atividade madeireiraobtidas com imagens de satélite divergiram fortemente entre si e entre as estimativas geradas a partir dos dados de volume de madeira explorada. Diferentes

autores apresentam números controversos, SANTOS et al. (2001) por exemplo, estimaram, usando imagens Landsat, áreas de 1.000 km²/ano e de 1.571 Km²/ano em 1992 e 1996, respectivamente, enquanto MATRICARDI et al. (2001) obtiveram estimativassignificativamente diferentes para estes anos (5.627 km²/ano para 1992 e 9.449 km²/ano para 1996). ASNER et al. (2005) chegaram a áreas que variaram de 12.075 a 19.823 km²/ano, para o período de 1999 a 2002. Estas estimativas variam bastante, devido à variedade de metodologias, escalas e frequência temporal utilizadas no mapeamento.

Contudo, é importante que os monitoramentos indiquem os níveis de degradação e definam tipologias de florestas degradadasem função da fonte (fogo eexploração madeireira) e intensidade dos distúrbios, para entender melhor a dinâmica da floresta no processo de degradação florestal. Bem como, direcionar as ações de gestão para receber, por exemplo, benefícios no âmbito do REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal) [2].

[2] *REDD+:*mecanismo de compensação financeira para os países em desenvolvimento ou para comunidades desses países, pela preservação de suas florestas. O REDD é visto como uma forma fundamental de incentivar a redução da quantidade de CO^2 lançada na atmosfera por conta do desmatamento e da degradação em todo o mundo.

3 ANÁLISE DOS DADOS DO SISTEMA PARA MAPEAMENTO DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

O Sistema para Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira (DEGRAD)já mencionado no capítulo 2, desenvolvido pelo INPE, mapeia áreas com estágio de degradação florestal desde 2007 e é realizado de forma independente a cada ano, sem levar em conta os registros de áreas degradadas nos anos anteriores (INPE, 2015 c), desse modo, o sistema já mapeou na Amazônia no período de 2007 a 2013, aproximadamente uma área total de 76 mil km² de florestas degradadas.

O sistema DEGRAD mapeia principalmente cicatriz de incêndio florestal e áreas de exploração de madeira caracterizadas por danos generalizados na floresta, sendo assim este programa representa uma importante ferramenta de prevenção do desmatamento ilegal, uma vez que permite intervenções em áreas onde a cobertura florestal ainda não foi totalmente suprimida.

Nesse contexto, foi realizada uma analisedos dados do DEGRAD, que servirão de base para as análises dessa tese e que poderão direcionar melhor políticas publicas no monitoramento e combate da degradação florestal. Com isso, procurou-se nesse capítulo, analisar a distribuição das áreas degradadas registradas entre 2007 e 2013, considerando a Amazônia Legal e os Estados que a compõem, fazer um comparativo desses dados com os dados de focos de calor e das áreas desmatadas identificadas pelo PRODES (3.1), bem como identificar e quantificar as áreas degradadas que estão sendo convertidas em corte raso, abandonadas ou permanecendo degradada no ano seguinte ao processo de degradação (3.2). Além disso, buscou-se analisar e quantificar ocorrência de áreas degradadas em Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Áreas Militares e Assentamentos Rurais (3.3).

3.1. Distribuição das áreas degradadas identificadas pelo DEGRAD

O sistema DEGRAD mapeou a degradação florestal na Amazônia entre os anos de 2007 e 2013 (INPE, 2013 a). Nesse período, grande parte das áreas degradadas concentrava-se na região sudeste da Amazônia Brasileira, uma área usualmente conhecida como “Arco do Desmatamento”, onde a maioria dos centros urbanos, estradas e cerne das atividades econômicas estãolocalizados (BECKER, 2005, 2009).No entanto, podem-se observar algumas áreas bem distribuídas na Amazônia Ocidental, onde a região é mais preservada, de difícil acesso e fora da influência dos eixos das principais rodovias. Indicando que, algumas áreas degradadas registradas pelo DEGRAD podem estar associadas à ação natural, como por exemplo, tempestades, ventos fortes, entre outros(Figura 3.1).

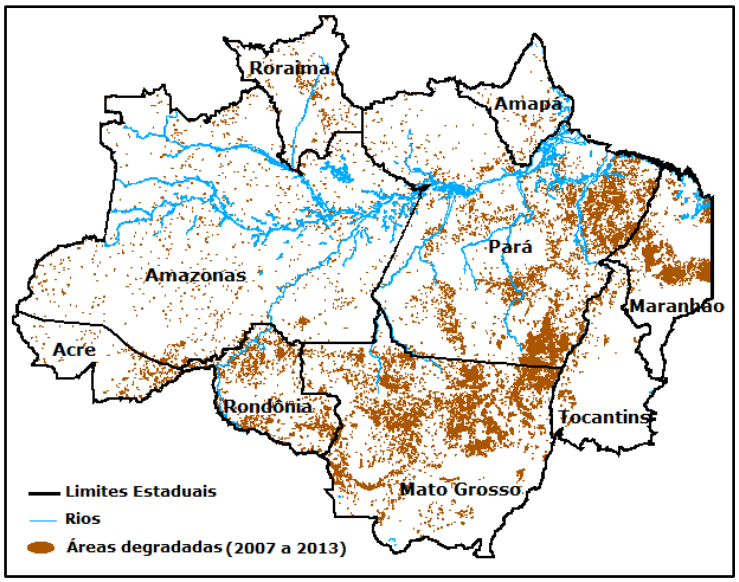


Figura 3.1-Compilação das áreas degradadas registradas pelo DEGRAD, no período de 2007 a 2013 na Amazônia Brasileira.

Nesse período de sete anos (2007 a 2013) de análise, houve grande variação na área degradada sendo registrada a maior área em 2008 (27.413 km²) e a menor em 2013 (5.434 km²), representando uma redução de cerca de 80% de área degradada na região (Tabela 3.1).

Apesar da série histórica do DEGRAD ser considerada pequena, pode-se observar aumento de 71% e 228% respectivamente, da área degradada nos anos de 2008 e 2011 em relação aos anos anteriores, e logo em seguida tendência de queda brusca nos dois anos seguintes, sendo mais de 70% no segundo ano.

Uma vez que o sistema DEGRAD mede as taxas anuais da degradação para os períodos de agosto do ano anterior a julho do ano corrente, os valores elevados em 2008 (27.413 km²) e 2011 (24.650 km²) podem estar relacionados a eventos extremos ocorridos na região, como por exemplo, as secas históricas em 2007 e a mais severa em 2010. Dentre os vários impactos causados ao ambiente pelas secas severas, tem-se o aumento da inflamabilidade das florestas e o consequente aumento das queimadas e incêndios florestais (ARAGÃO et al., 2007; ALENCAR, et al, 2011; LEWIS et al. 2011; ALENCAR et al. 2015), que são atribuídos ao processo de degradação florestal.

Tabela 3.1 -Distribuição das áreas degradadas por Estado na Amazônia Legal Brasileira no período de 2007 a 2013.

UF	**ÁREA DEGRADADA (km²)**						
	2007	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
Acre	122	121	31	76	391	85	21
Amazonas	257	412	181	459	1.209	1.289	355
Amapá	50	63	61	20	12	17	6
Maranhão	1.976	4230	2423	383	1.511	1796	822
Mato Grosso	8.922	12.987	8.486	2.502	11.632	3.273	2.121
Pará	3.899	8.264	1.559	3.499	6.283	1.359	1.511
Rondônia	412	643	232	315	2745	471	343
Roraima	137	171	99	61	109	201	71
Tocantins	179	522	229	194	758	143	184
TOTAL AMZ LEGAL	**15.983**	**27.413**	**13.301**	**7.508**	**24.650**	**8.634**	**5.434**

Fonte: INPE (2015 a)

Analisando os dados do DEGRAD em relação aos focos de calor[3](Figura 3.2)identificados pelo Sistema de Monitoramento de Queimadas e Incêndios por satélites (INPE, 2015 d), pode-se observar a taxa da degradação é correlacionada com os focos de calor, ou seja, há uma estreita relação entre o aumento de área degradada e o aumento de ocorrências de queimadas em anos impactados pela seca (INPE, 2015 d).

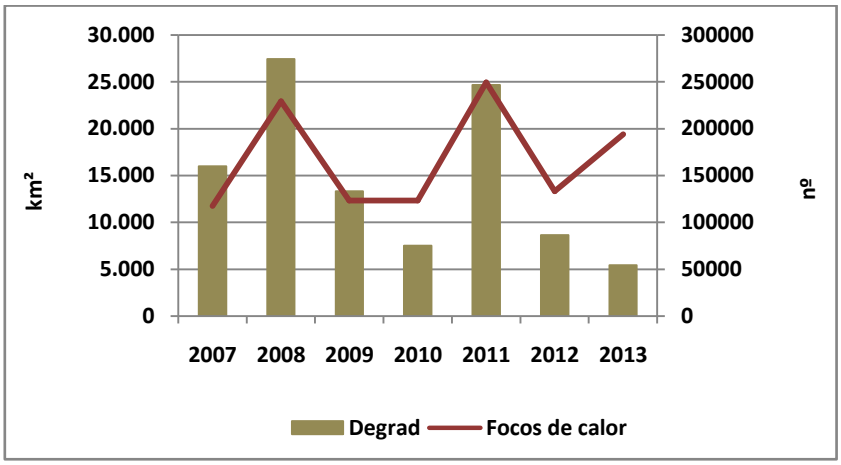


Figura 3.2 - Relação entre áreas degradadas mapeadas pelo DEGRAD e ocorrência de fogo identificada no Sistema de Monitoramento de Queimadas e Incêndios, na Amazônia Brasileira entre 2007 a 2013.

Na análise dos dados por estado, observou-se que a degradação florestal se concentrou em uma porção limitada e especifica da Amazônia, entre os Estados do Mato Grosso, Pará e Maranhão. Esses três estados juntos contribuíram em média nesses sete anos, com 86% da área anual degradada na Amazônia Legal Brasileira enquanto, os demais estados contribuem com apenas 14% do total. Em 2007, por exemplo, do total da área degradada (15.983 km²) na região, 93% (14.797 km²) foram registrados nesses três estados, sendo, 56% (8.922 km²) no Mato Grosso,

---

[3]*Focos de calor:* expressão utilizada para interpretar o registro de calor captado da superfície do solo pelo satélite imageador, o sensor capta e registra qualquer temperatura acima de 47ºC e a interpreta como sendo um foco.

Monitorados pelo Centro de Pesquisa do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE por meio da analise das imagens de diferentes satélites (das séries NOAA, GOES, AQUA, TERRA e METEOSAT) que rastreiam a superfície terrestre diariamente ou várias vezes por dia.

25% (3.899 km²) no Pará e 12% (1.976 km²) no Maranhão, enquanto, apenas 7% (1.157 km²) foram identificadas nos demais estados (Tabela 3.1).

O Estado do Mato Grosso foi responsável pela maior concentração de área degradada na Amazônia Legal em todos os anos, exceto em 2010 quando o Pará teve uma maior representatividade (3.499 km²). Em contrapartida, o estado do Amapá apresentou a menor área degradada em todos os anos, exceto em 2009, que foi o estado do Acre (31 km²).

Comparando os dados do DEGRAD com os dados do PRODES, pode-se observar que a área submetida à degradação florestal vem ocorrendo de forma mais acentuada nos últimos anos, do que a área desmatada por corte raso na Amazônia Brasileira, exceto em 2013 onde a área desmatada (5.891 km²) foi 8% maior que a área degradada (5.434 km²) (Figura 3.3)

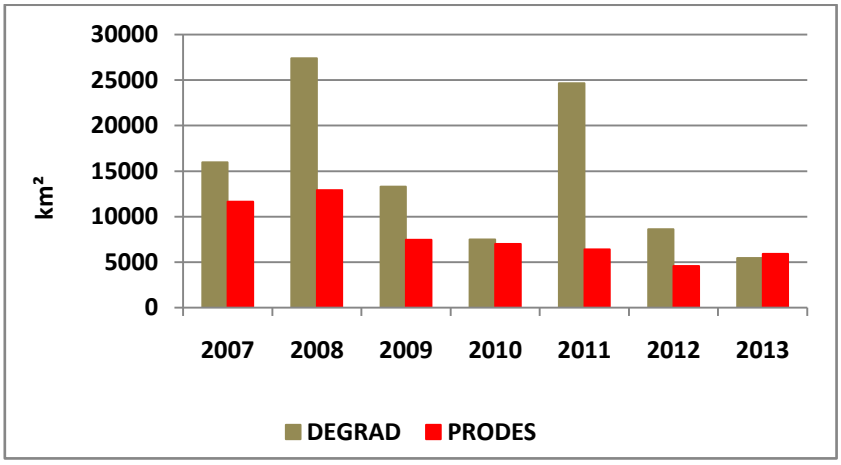


Figura 3.3 - Áreas degradadas e desmatadas registradas pelo DEGRAD e PRODES, respectivamente, na Amazônia Brasileira no período de 2007 a 2013.

Em termos de área total estimada no período de 2007 a 2013, os sistemas DEGRAD e PRODES identificaram 102.924 km² de floresta degradada e 55.906 km² de área desmatada por corte raso na Amazônia Legal, o equivalente a 46% a mais de área degradada na região (INPE, 2015 a; b). Desses totais, os Estados do Maranhão, Mato Grosso, Pará e

Rondônia foram os mais representativos tanto em termos de degradação como de desmatamento, contribuindo juntamente com 92% (94.628 km²) e 86% (47.895 km²) da área, respectivamente (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Área total (km²) degradada e desmatada entre 2007 e 2013, por estado na Amazônia Legal Brasileira.

UF	DEGRAD (Degradação)		PRODES (Desmatamento)	
	km²	%	km²	%
Acre	847	*0.8*	1.670	*3.0*
Amazonas	4.162	*4.0*	3.822	*6.8*
Amapá	229	*0.2*	378	*0.7*
Maranhão	13.141	*12.8*	4.510	*8.1*
Mato Grosso	49.952	*48.5*	10.872	*19.5*
Pará	26.374	*25.6*	26.279	*47.0*
Rondônia	5.161	*5.0*	6.234	*11.2*
Roraima	849	*0.8*	1.695	*3.0*
Tocantins	2.209	*2.2*	446	*0.8*
TOTAL AMZ LEGAL	**102.924**	***100***	**55.906**	***100***

Fonte: INPE (2015 a; b).

Tanto o processo de degradação como o de desmatamento na Amazônia Legal é bastante desigual entre os estados. Com base nos dados da tabela 3.2 acima, podemos constatar que o estado mais representativo em termos de degradação, foi o Mato Grosso (49.952 km²), enquanto em desmatamento por corte raso foi o Pará (26.279 km²), contribuindo com 48,5% e 47% respectivamente, da área total estimada nesse período de 7 anos. Em contrapartida, o estado do Amapá foi o que apresentou a menor participação tanto em degradação (0,2%, 229 km²) como em desmatamento (0,7%, 378 km²).

Como os dados do DEGRAD são realizados de forma independente a cada ano, sem levar em conta os registros de áreas degradadas nos anos anteriores os resultados da tabela 3.2 acima, representam o total da área degradada sem eliminarsobreposição das áreas em degradação de um ano para o outro, ou seja, a soma total estimada em 102.924 km²

representa tanto áreas em processo de degradação recorrente, como novas áreas degradadas a cada ano registradas pelo DEGRAD.Sendo assim, o total da área degradada sem sobreposiçãona Amazônia Brasileira, sem considerar novamente evento de degradação entre 2007 e 2013, foiestimada em 75.796 km², representando uma diferença de 26,4% no total (Tabela 3.3).

A tabela 3.3 a seguir apresenta os dados por estado registrados no DEGRAD pelo INPEno período de 2007 a 2013 (INPE, 2015 b), e os calculados sem sobreposição de área degradada, com a porcentagem (%) da diferença entre eles.

Tabela 3.3 - Área degradada (km²) por estado na Amazônia Legal Brasileira entre 2007 e 2013, registrada no DEGRAD e estimada sem considerar sobreposição de áreas.

ESTADOS	DEGRAD (km²)	SEM SOBREPOSIÇÃO (km²)	DIFERENÇA (%)
Acre	847	786	*7.2*
Amazonas	4.162	3.951	*5.1*
Amapá	229	214	*6.6*
Maranhão	13.141	8.087	*38.5*
Mato Grosso	49.952	34.174	*31.6*
Para	26.374	21.670	*17.8*
Rondônia	5161	4.496	*12.9*
Roraima	849	809	*4.7*
Tocantins	2.209	1.609	*27.2*
TOTAL AMZ LEGAL	**102.924**	**75.796**	***26.4***

Esses resultados mostram diferença mais representativa nosestados do Maranhão e Mato Grosso, indicando que nesses estados mais de 30% da área apresentou novamente evento de degradação em algum ano do período analisado. No Mato Grosso, por exemplo, estado com maior concentração de degradação na Amazônia, o DEGRADregistrou uma área degradada de 49.952 km² entre 2007 e 2013, no entanto, eliminando a sobreposição das áreasdegradadas nesse período, o estado degradou

uma área total de 34.174 km², e nas demais áreas (15.778 km², 31,6%) houve novamente eventos de degradação.

Contudo, na Amazônia, dos 102.824 km² registrados pelo INPE noSistema DEGRAD, 75.796 km² representam área degradada sem sobreposição e o restante (27.128 km² - 26,4%) áreas onde houvenovamenteevento de degradação em algum anodo período analisado.

3.2. Conversão das áreas degradadas

Os dados provenientes do DEGRAD possibilitaram avaliar a degradação recorrente, áreas convertidas em corte raso e áreas abandonadas após evento de degradação, em processo inicial e natural de regeneração florestal, uma vez que os dados são realizados de forma independente a cada ano, sem levar em conta os registros de áreas de florestas degradadas nos anos anteriores e identificando apenas as atualizações das áreas desmatadas registradas pelo PRODES.

Essas possíveis conversões nas áreas degradadas foram identificadas neste estudo, por meio do cruzamento de dados em formato de mapas vetoriais, do DEGRAD com os dados do PRODES entre o período de 2007 e 2013 e serão mais detalhadas no capítulo 3 desta tese.

Com isso, está análise possibilitou quantificar o quanto da degradação florestal de um determinado ano foi convertido em corte raso ou abandonado no ano seguinte, bem como o quanto permaneceu degradado. Assim, foi possível verificar que em todos os anos analisados, a proporção da área abandonada após um episódio de degradação florestal foi significativamente maior do que a área convertida em corte raso ou com degradação recorrente, sendo maior de 2011 para 2012 (e) (95,5%) e menor de 2007 para 2008 (a) (64,4%) (Tabela 3.4).

Em relação à área que permaneceu degradada pode-se observar maior proporção nas duas primeiras conversões, reduzindo significativamente na terceira conversão, passando de 32% em (b) para 7,1% em (c). Nas duas ultimas conversões (e) e (f) analisadas, observa-se uma similaridade com as proporções das áreas convertidas em corte raso, a qual apresentou maior proporção na conversão de 2007 para 2008 (a) (12,4%) (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 - Conversão de áreas degradadas entre 2007 e 2013 na Amazônia Legal Brasileira, em degradação recorrente, corte raso e área abandonada.

CONVERSÃO ANO A ANO		**PERMANECEU DEGRADADA**		**CONVERTIDA EM CORTE RASO**		**ABANDONADA**		**DEGRAD ANUAL (AMZ LEGAL)**
		Km²	**%**	**Km²**	**%**	**Km²**	**%**	**Km²**
(a)	**2007 → 2008**	3.710	*23.2*	1.982	*12.4*	10.291	*64.4*	**15.983**
(b)	**2008 → 2009**	8.767	*32.0*	410	*1.5*	18.236	*66.5*	**27.413**
(c)	**2009 → 2010**	943	*7.1*	327	*2.5*	12.031	*90.5*	**13.301**
(d)	**2010 → 2011**	657	*8.8*	255	*3.4*	6.596	*87.9*	**7.508**
(e)	**2011 → 2012**	558	*2.3*	543	*2.2*	23.549	*95.5*	**24.650**
(f)	**2012 → 2013**	293	*3.4*	321	*3.7*	8.020	*92.9*	**8.634**

Com base nos resultados dessa serie histórica disponível, pode-se concluir que é baixa a taxa de conversão da degradação florestal registrada pelo DEGRAD para o desmatamento por corte raso mapeado pelo PRODES, sendo menos de 4% em todos os anos analisados, exceto de 2007 para 2008 que foi 12,4%. Porém, é alta a taxa que representa área abandonada após um processo de degradação, sendo em torno de 65% nas duas primeiras conversões (a) e (b), e cerca de 90% nas demais. Entretanto, é necessária avaliação temporal maior para melhor representar esses resultados.

3.3. Avaliação das áreas degradadas em áreas protegidas e assentamentos rurais

Ao longo dos últimos anos a cobertura de áreas protegidas na Amazônia Legal avançou significativamente, com a contribuição dos governos federais, estaduais e municipais, como estratégia para a conservação da biodiversidade. No entanto, apesar dos avanços notáveis na criação dessas áreas protegidas, ainda há muitos desafios para garantir sua consolidação e a proteção socioambiental efetiva.

Diante disso, procurou-se verificar se há ocorrência de áreas degradadas em Áreas Protegidas (Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI) e de Uso Sustentável (UCUS), Terras Indígenas (TI), e Áreas Militares), e em Assentamentos Rurais (Assentamento Agrário e Assentamento Sustentável) (Figura 3.4), assim como em áreas desmatadas(ICBio e MMA, 2016, FAGUNDES et al., 2014) para auxiliar os tomadores de decisão em criar políticas públicas mais efetivas no monitoramento e controle da degradação nessas áreas protegidas.

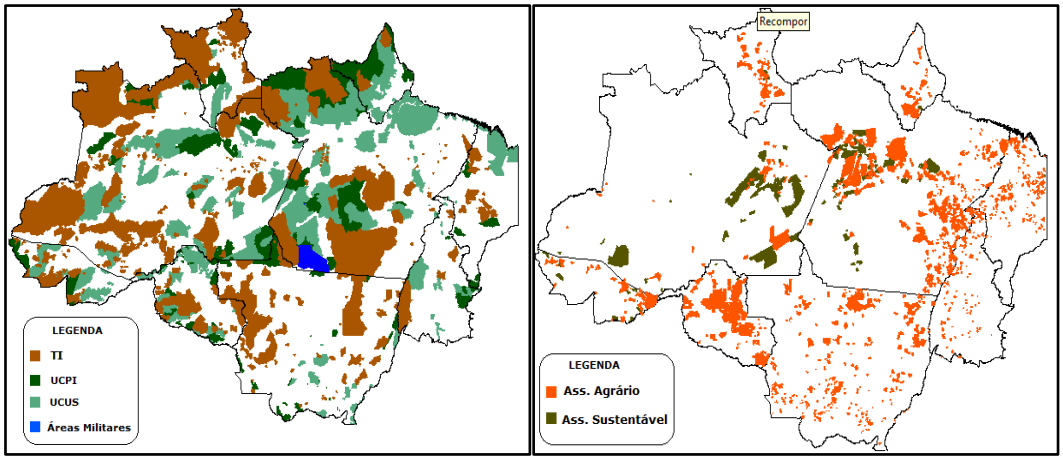


Figura 3.4 - Áreas Protegidas (a) e Assentamentos Rurais (b) na Amazônia Legal Brasileira

As áreas protegidas são definidas como uma área terrestre e/ou marinha especialmente dedicada à proteção e à manutenção da diversidade biológica e dos recursos naturais e culturais associados, manejados por meio de instrumentos legais ou outros igualmente eficientes (IUCN, 2008).

As Unidades de Conservação (UCs) integram o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), criado pela Lei 9.985 de 18 de julho de 2000 e regulamentada pelo Decreto 4.440 de 22 de agosto de 2002. De acordo com essa Lei, UC refere-se ao espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção. O SNUC classifica as Unidades de Conservação em dois grupos e 12 categorias:

a) Proteção Integral (PI): voltadas para a manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitindo apenas o uso indireto dos seus atributos naturais. Nesse grupo, incluem-se as Estações Ecológicas (EE), Reservas Biológicas (REBIO), Parques Nacionais (PN, PE, PNM), Monumentos Naturais (MN) e Refúgios de Vida Silvestres (RVS);

b) Uso Sustentável (US): unidades onde é permitida a exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável. Nesse grupo, estão Áreas de Proteção Ambiental (APA), Áreas de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), Florestas Nacionais (FLONA), Reservas Extrativistas (RESEX), Reservas de Fauna (REFAU), Reservas de Desenvolvimento Sustentável (RDS) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN).

Terra Indígena (TI) segundo a Fundação Nacional do Índio (FUNAI) refere-se a uma porção do território nacional, de propriedade da União, habitada por um ou mais povos indígenas, por ele(s) utilizada para suas

atividades produtivas, imprescindível à preservação dos recursos ambientais necessários a seu bem-estar e necessária à sua reprodução física e cultural, segundo seus usos, costumes e tradições. Conforme a legislação vigente (Constituição Federal/88, Lei 6001/73 – Estatuto do Índio, Decreto n.º1775/96), as terras indígenas são classificadas em: Terras Indígenas Tradicionalmente Ocupadas, Reservas Indígenas, Terras Dominiais, e Interditada (FUNAI, 2015). No entanto, neste estudo, foram analisadas somente as Terras Indígenas Tradicionalmente Ocupadas.

Assentamento rural é um conjunto de unidadesagrícolas independentes entre si, instaladas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) onde originalmente existia um imóvel rural que pertencia a um único proprietário. Cada uma dessas unidades, chamadas de parcelas, lotes ou glebas é entregue pelo INCRA a uma família sem condições econômicas para adquirir e manter um imóvel rural por outras vias (INCRA, 2015). Os assentamentos são divididos em 2 modalidades:

a) Grupo I – Modalidades de Projeto criado pelo INCRA: Projeto de Assentamento Federal (PA), Projeto de Assentamento Agroextrativista (PAE), Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS), Projeto de Assentamento Floresta (PAF), Projeto de Assentamento Casulo (PCA), Projeto de Colonização Oficial (PC), Projeto Integrado de Colonização (PIC), Projeto de Assentamento Rápido (PAR), Projeto de Colonização Particular (PAP), Projeto de Assentamento Dirigido (PAD), Projeto de Assentamento Conjunto (PAC);

b) Grupo 2 – Modalidades de áreas reconhecidas pelo INCRA: Projeto de Assentamento Estadual (PE), Projeto de Assentamento Municipal (PAM), Programa Cédula da Terra (PCT), Reservas Extrativistas (RESEX), Território Remanescentes Quilombola (TQR), Projeto de Assentamento Fundo de Pasto (PFP), Projeto de Reassentamento de

Barragem (PRB) e Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS).

Neste estudo, as modalidades PAE e PDS foram utilizadas para Assentamento Sustentável, e as demais modalidades para Assentamento Agrário.

Foram realizados cruzamentos de dados do DEGRAD de 2007 a 2013, com os dados das terras indígenas disponibilizadas pela FUNAI, de Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI) e de Uso Sustentável (UCUS) e Áreas Militares pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Assentamentos pelo INCRA.

A tabela 3.5 abaixo apresenta a proporção de degradação de cada categoria (UC, TI, Área Militar, Assentamentos) em relação ao total degradado no ano, registrado pelo DEGRAD. Analisando essas quatro categorias observou-se de maneira geral que TI apresentou a maior proporção de área degradada nos 7 anos analisados,enquanto a Área Militar apresentou a menor proporção, mantendo-se abaixo de 0,1% do total. Entre 2007 a 2011, os Assentamentos apresentaram a 2ª maior proporção, seguido pelas Unidades de Conservação, no entanto essa proporção se alterou em 2012 e 2013.

As Unidades de Conservação (PI e US) apresentaram aumento na proporção de área degradada ao longo do tempo, passando no total de 4,4% em 2007 para 10,5% em 2013, com maior participação em todos os anos, nas UCUS.

Os Assentamentos apresentaram variação na proporção de áreas degradadas, sendo que assentamento agrário apresentou maior participação em relação a assentamento sustentável. No entanto, a proporção em assentamento sustentável vem aumentando, passando de 0.2% em 2007 para 2,1% em 2013.

Tabela 3.5 - Proporção de área degradada em áreas protegidas e assentamento rural no período de 2007 a 2013 na Amazônia Legal.

CATEGORIA	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Áreas Protegidas							
Terras Indígenas	*11.8*	*23.0*	*34.7*	*14.9*	*30.1*	*34.0*	*25.7*
Unidade de Conserv.*de Uso Sustentável*	*3.8*	*2.3*	*2.0*	*4.9*	*4.2*	*6.7*	*6.0*
Unidade de Conserv. *de Proteção Integral*	*0.6*	*1.5*	*1.8*	*2.0*	*2.7*	*2.3*	*4.5*
Área Militar	*0.1*	*0.0*	*0.1*	*0.1*	*0.1*	*0.1*	*0.0*
Assentamentos							
Assent. Agrário	*10.1*	*7.4*	*5.4*	*10.5*	*7.0*	*4.8*	*7.5*
Assent. Sustentável	*0.2*	*0.1*	*1.0*	*0.8*	*0.6*	*0.9*	*2.1*
Demais áreas degradadas							
	73.3	*65.8*	*55.1*	*66.8*	*55.3*	*51.1*	*54.2*
TOTAL DEGRAD (km²)	**15.983**	**27.413**	**13.301**	**7.508**	**24.650**	**8.634**	**5.434**

Conforme os dados apresentados na tabela acima, pode-seobservar que em geral, a ocorrência de áreas degradadas nessas regiões destinadas à conservação do meio ambiente, vem aumentando ao longo do tempo. Isso pode ser verificado no valor da proporção de degradação fora das áreas protegidas e assentamentos, identificadas como "demais áreas degradadas" na tabela acima, que apresentou uma redução de 73,3% em 2007 para 54,2% em 2013. Este resultado indica que em 2007, por exemplo, 26,7% da área degradada identificada pelo DEGRAD ocorreram em Áreas protegidas e em Assentamentos, enquanto 73,3% em outras regiões na Amazônia Brasileira.

3.4. Conclusão

Com a análise dos dados do DEGRADno período de 2007 a 2013,foi possível constatar que o processo de degradação florestal na Amazônia Brasileira vem ocorrendo de forma acentuada, porémbastante desigual entre os estados que a compõe, apresentando maior concentração no Mato Grosso, Pará e Maranhão. Além disso, pode-se observar que a área

total degradadana região, foi maior do que a área desmatadadurante operíodo analisado.

Constatou-se também que nas analises de um ano para o outro, em média, 83% da área degradada foi abandonadano ano seguinte ao processo de degradação na Amazônia, enquanto 13% manteve-se degradada e apenas 4% foi convertida em corte raso.

Nas análises, foi possível verificar ocorrência de áreas degradadas em unidades de conservação, terras indígenas, áreas militares e assentamentos. Com isso, pode-se observar que asterras indígenas que apresenta uma área total (km²) superior do que as demais analisadas, apresentaram a maior proporção de área degradada. Além disso, que nas unidades de conservação a proporção de áreas degradadas aumentou ao longo do tempo, enquanto nos assentamentos manteve-se uniforme.Com isso, pode perceber que apesar dos esforços em investimentos na ampliação e consolidação de áreas protegidas, são necessárias ações estratégicas e ágeis de monitoramento efiscalização nessas áreas.

Diante dessas constatações, pode-se verificar que existe a necessidade de séries históricas mais longas, disponibilidade de dados do setor e analises locais complementares para melhor interpretar e compreender o processo de degradação florestal na Amazônia Brasileira.

4 TRAJETÓRIAS DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

4.1. Introdução

A degradação florestal envolve um processo dinâmico de mudança de uso e cobertura da terra onde as florestas passam por períodos de distúrbio ou de perturbações segundo diferente escalas espaciais e temporais (CHAZDON, 2003). Os distúrbios podem ser por causas naturais (tempestades, incêndios, ventos fortes, secas) ou por ação antrópica (queimadas, extração de madeira) e removem parcialmente a cobertura florestal com consequências para a biodiversidade e para as funções do ecossistema (CHAZDON 2012).

Processos posteriores a eventos de degradação levam a novas alterações na cobertura florestal remanescente, gerando múltiplas trajetórias na área ao longo do tempo. Tais trajetórias podem incluir eventos de degradação recorrente, podendo representar aumento na intensidade do processo, conversão da área degradada em área desmatada por corte raso, e abandono da área após um ou mais eventos de degradação. Uma vez cessados tais distúrbios, e dependendo de suas frequências, magnitudes e intensidades do impacto gerado, a floresta, por se tratar de um sistema dinâmico, pode se recuperar gradualmente.

Neste contexto, pretende-se analisar a dinâmica espaço-temporal da degradação florestal na Amazônia Legal Brasileira no período de 2007 a 2012, com base no cruzamento dos dados do Sistema de Monitoramento da Degradação Florestal (DEGRAD) e do Desmatamento (PRODES) desenvolvidos pelo INPE.

4.2. Área de estudo

A área de estudo compreende a Amazônia Legal Brasileira em escalas de análise regional e estratificada por estado, no período de 2007 a 2012. No Brasil, a Amazônia Legal se estende por nove estados brasileiros (Acre,

Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, Mato Grosso e parte do estado do Maranhão) e compreende área de aproximadamente 5 milhões de km², representando cerca de 59% do território brasileiro (Figura 4.1).

Figura 4.1 - Área de estudo: Amazônia Legal Brasileira

4.3. Material e Métodos

Foram realizados cruzamentos dos dados em formato de mapas vetoriais dos Sistemas de Monitoramento da Degradação Florestal (DEGRAD) e do Desmatamento (PRODES) no aplicativo TerraView 4.2.0 (INPE, 2015 e) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Com os dados das áreas degradadas e desmatadas de 2007 a 2012, disponíveis no site do INPE (INPE, 2013 a, b), foram realizadas intersecções gerando uma análise multitemporal de seis (6) anos, da cobertura florestal remanescente em áreas onde ocorreu degradação florestal na Amazônia.

Utilizou-se o dado do DEGRAD de 2007 como ano base para as intersecções com os demais dados dos anos seguintes. Inicialmente, foi realizada a intersecção das áreas degradadas em 2007 com as áreas degradadas em 2008, para identificar as áreas que permaneceram degradadas (d). Em seguida, a interseção das áreas degradadas em 2007 com as áreas desmatadas em 2008, para identificar as áreas que foram convertidas em corte raso (c). As demais áreas foram classificadas neste estudo, como áreas abandonadas e alteradas após um processo de degradação, consideradas em processo inicial e natural de regeneração florestal (r) (Figura 4.2).

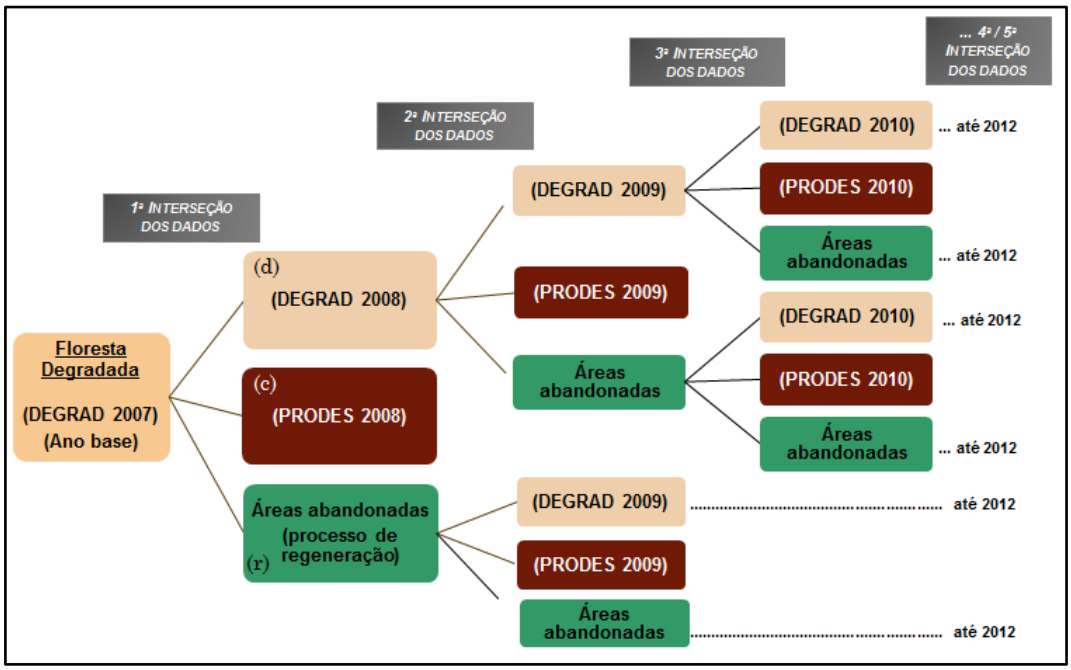


Figura 4.2 – Fases das interseções dos dados do DEGRAD e do PRODES no período de 2007 a 2012.

Nas áreas que permaneceram degradadas (d) e que foram abandonadas (r) resultantes da 1ª intersecção, foram realizadas novas intersecções com os dados do DEGRAD e do PRODES de 2009, procurando assim identificar se essas áreas sofreram novamente perturbações na cobertura florestal, se foram convertidas em corte raso ou permaneceram abandonadas. Do mesmo modo, nas demais áreas identificadas como degradadas e abandonadas foram realizadas novas interseções ano a ano, com os dados do PRODES e do DEGRAD até o ano de 2012.

Nasáreas convertidas em corte raso (c)não foram realizadas novas intersecções, uma vez que as alterações na cobertura da terra nessas áreas, como por exemplo, a regeneração da vegetação secundária, não foi analisada neste trabalho, sendo considerada como corte raso até o final do período analisado.

Com isso, foram realizadas cinco (5) interseções resultando nas trajetórias da degradação florestal, considerando três possíveis estados para cada ano t, definidos como: 1) degradação (d), quando há intersecção com os dados do DEGRAD; 2) desmatamento por corte raso (c) quando há intersecção com os dados do PRODES; e 3) abandono e regeneração (r) nas demais áreas.

O cruzamento desses dados em um determinado período geraram múltiplas trajetórias com várias combinações desses três estados, como por exemplo, áreas que sofreram degradação recorrente, que foram abandonadas e iniciaram naturalmente um processo de regeneração florestal, que foram convertidas em corte raso, ou que sofreram alternância de estados entre processo de degradação e de regeneração em alguma fase do período analisado.

4.4. Resultados e Discussão

Como base nas 5 intersecções foi possível caracterizar e quantificar no período de 6 anos de análise, 63 trajetórias da cobertura florestal remanescente em áreas onde ocorreu degradação florestal na Amazônia, bem como, identificar o tempo de permanência entre episódios de degradação e de processo de regeneração florestal, além do tempo deconversão em corte raso.

4.4.1. Trajetórias da degradação florestal

Dentre as 63trajetórias identificadas naAmazônia Legal (Tabela 4.1 e 4.2)no período de 2007 a 2012, têm-se:

a) uma que apresentou degradação (d) recorrente por 6 anos (dddddd – trajetória 1), onde houve frequentes perturbações na vegetação podendo representar aumento na intensidade da degradação por atividades, como por exemplo, incêndios frequentes ou exploração ilegal de madeira;
b) uma que apresentou apenas um evento de degradação (d) e foi abandonada no ano seguinte até o final do período analisado, permanecendo em processo de regeneração (r) florestal por 5 anos (drrrrr - trajetória 63);
c) trinta e uma que foram convertidas em corte raso (c) em um determinado ano da análise, sendo uma convertida já no ano seguinte à degradação (dccccc - trajetória 32) e as demais após eventos de degradação ou de regeneração florestal.
d) trinta que apresentaram alternâncias entre processo de degradação e de regeneração, como por exemplo, uma área degradada que é abandonada em determinado tempo e em seguida sofre novamente algum tipo de perturbação na cobertura florestal.

Tabela 4.1 - Trajetórias resultantes das interseções dos dados do DEGRAD e do PRODES no período de 2007 a 2012, área (km²) e porcentagem em relação ao total degradado em 2007 (15.983 km²).

TRAJETÓRIAS (*)		km²	%	TRAJETÓRIAS (*)		km²	%
1	**dddddd**	4	*0.02*	**33**	**drdddd**	4	*0.02*
2	**dddddc**	1	*0.01*	**34**	**drdddc**	0	*0.00*
3	**dddddr**	19	*0.12*	**35**	**drdddr**	8	*0.05*
4	**ddddcc**	7	*0.04*	**36**	**drddcc**	3	*0.02*
5	**ddddrd**	14	*0.09*	**37**	**drddrd**	44	*0.27*
6	**ddddrc**	2	*0.01*	**38**	**drddrc**	1	*0.01*
7	**ddddrr**	28	*0.17*	**39**	**drddrr**	22	*0.14*
8	**dddccc**	34	*0.21*	**40**	**drdccc**	27	*0.17*
9	**dddrdd**	13	*0.08*	**41**	**drdrdd**	8	*0.05*
10	**dddrdc**	5	*0.03*	**42**	**drdrdc**	0	*0.00*
11	**dddrdr**	142	*0.89*	**43**	**drdrdr**	48	*0.30*
12	**dddrcc**	20	*0.12*	**44**	**drdrcc**	16	*0.10*
13	**dddrrd**	27	*0.17*	**45**	**drdrrd**	25	*0.16*
14	**dddrrc**	13	*0.08*	**46**	**drdrrc**	7	*0.04*
15	**dddrrr**	316	*1.98*	**47**	**drdrrr**	263	*1.65*
16	**ddcccc**	84	*0.52*	**48**	**drcccc**	336	*2.10*
17	**ddrddd**	2	*0.01*	**49**	**drrddd**	10	*0.06*
18	**ddrddc**	1	*0.01*	**50**	**drrddc**	1	*0.01*
19	**ddrddr**	21	*0.13*	**51**	**drrddr**	22	*0.14*
20	**ddrdcc**	6	*0.04*	**52**	**drrdcc**	9	*0.06*
21	**ddrdrd**	3	*0.02*	**53**	**drrdrd**	13	*0.08*
22	**ddrdrc**	2	*0.01*	**54**	**drrdrc**	6	*0.04*
23	**ddrdrr**	46	*0.29*	**55**	**drrdrr**	167	*1.05*
24	**ddrccc**	88	*0.55*	**56**	**drrccc**	290	*1.81*
25	**ddrrdd**	33	*0.21*	**57**	**drrrdd**	84	*0.52*
26	**ddrrdc**	8	*0.05*	**58**	**drrrdc**	14	*0.09*
27	**ddrrdr**	380	*2.38*	**59**	**drrrdr**	473	*2.96*
28	**ddrrcc**	60	*0.37*	**60**	**drrrcc**	164	*1.03*
29	**ddrrrd**	163	*1.02*	**61**	**drrrrd**	446	*2.79*
30	**ddrrrc**	41	*0.26*	**62**	**drrrrc**	104	*0.65*
31	**ddrrrr**	2.113	*13.22*	**63**	**drrrrr**	7.694	*48.13*
32	**dccccc**	1.980	*12.39*	**TOTAL**		**15.983**	***100***

Trajetórias(*): d (degradação), c (corte raso), r (áreas abandonadas em processo de regeneração florestal).

Como resultado dessas trajetórias, pode-se observar que do total da área degradada em 2007 (15.983 km²), ano base das integrações dos dados, apenas 0,02% (4 km²) permaneceu degradada durante todo o período

analisado (trajetória 1), enquanto 48% (7.694 km²) foi abandonada, permanecendo em processo de regeneração florestal até 2012 (trajetória 63) e 12% (1.980 km²) foi convertido em corte raso (trajetória 32) já no ano seguinte a degradação. Nas demais áreas, 8% (1.349 km²) foram convertidas em corte raso entre o 3º e 5º ano de análise, e 31% (4.957 km²) sofreu constante pressão no processo com alterações de um ano para o outro, entre área degradada e abandonada, representando as outras 60 trajetórias (Tabela 4.1 e 4.2).

Os cruzamentos dos dados ano a ano, indicaram que independente das trajetórias e alterações na cobertura florestal remanescente, a maior parteda área degradada na Amazônia Legal, foi abandonada no ano seguinte ao evento de degradação, conforme pode ser observado nas proporções apresentadas das áreas abandonadas (em verde) na Tabela 4.2 a seguir.

A tabela apresenta o valor da porcentagem de cada ano, da área degradada (em rosa) que permaneceu ou que foi degradada novamente após um período de regeneração, da convertida em corte raso (em marrom) e da abandonada (em verde), em relação à área degradada no ano base (2007) das interseções. Esses valores são resultantes das intercepções dos dados do e DEGRAD e do PRODES entre 2007 e 2012.

Tabela 4.2 – Porcentagem (%) de área degradada (rosa), convertida em corte raso (marrom) e abandonada (verde) em relação à área degradada no ano base (2007) das interseções dos dados do DEGRAD e do PRODES no período de 2007 a 2012.

2007	2008	2009	2010	2011	2012	T*
100 (%)	23.11	4.03	0.47	0.15	0.02	1
					0.01	2
					0.12	3
				0.04	0.04	4
				0.27	0.09	5
					0.01	6
					0.17	7
			0.21	0.21	0.21	8
			3.35	1.00	0.08	9
					0.03	10
					0.89	11
				0.12	0.12	12
				2.22	0.17	13
					0.08	14
					1.98	15
		0.52	0.52	0.52	0.52	16
		18.56	0.50	0.15	0.01	17
					0.01	18
					0.13	19
				0.04	0.04	20
				0.32	0.02	21
					0.01	22
					0.29	23
			0.55	0.55	0.55	24
			17.51	2.64	0.21	25
					0.05	26
					2.38	27
				0.37	0.37	28
				14.50	1.02	29
					0.26	30
					13.22	31
	12.39	12.39	12.39	12.39	12.39	32
	64.50	2.98	0.51	0.07	0.02	33
					0.00	34
					0.05	35
				0.02	0.02	36
				0.42	0.27	37
					0.01	38
					0.14	39
			0.17	0.17	0.17	40
			2.30	0.35	0.05	41
					0.00	42
					0.30	43
				0.10	0.10	44
				1.85	0.16	45
					0.04	46
					1.64	47
		2.10	2.10	2.10	2.10	48
		59.42	1.43	0.21	0.06	49
					0.01	50
					0.14	51
				0.06	0.06	52
				1.17	0.08	53
					0.04	54
					1.05	55
			1.81	1.81	1.81	56
			56.17	3.58	0.52	57
					0.09	58
					2.96	59
				1.03	1.03	60
				51.57	2.79	61
					0.65	62
					48.13	63

T*: trajetórias

Considerando uma proporção de 100% de área degradada em 2007 (15.983 km²), no ano base das interseções (em vermelho), calculou-se que desse total, 23,11% permaneceramdegradadas (rosa), 12,39% foram convertidas em corte raso (marrom) e 64,50% foram abandonadas (verde) em 2008 (Tabela 4.2).

Em 2009, do total da área com degradação recorrente (23,11%), apenas 4,03% continuou degradada e 0,52% foi convertida em corte raso, enquanto, 18,56% foram abandonadas.Da área abandonada (64,50%)em 2008, 2,98% e 2,10% respectivamente, foi degradada novamente e convertida em corte raso, mas a maior parte, 59,42% permaneceuabandonada em 2009.No final das analises, dos 100% degradado em 2007, grande parte (48,13%) ficou abandonada, em processo de regeneração florestal por 5 anos (trajetória 63 da tabela 4.2).

A partir dessas informações, fez-se compilação das 63 trajetórias no intuito de estabelecer trajetórias para as análises estatísticas que serão descritas no próximo capítulo desta tese. Foram estabelecidas três trajetórias, sendo classificadas como: a) trajetória degradação, b) corte raso e c) regeneração.

A Trajetória Degradação (Figura 4.3) incluiu a trajetória onde a área permaneceu degradada por 6 anos juntamente com as trajetórias onde houve alternância entre processo de degradação e abandono de área, representando as áreas onde houve constante pressão no processo durante o período analisado (trajetórias impares das tabelas 3.1 e 3.2, exceto a trajetória 63). Esta trajetória representa 31% (4.961 km²) da área total (15.983 km²) analisada no estudo no período de 2007 a 2012 (Figura 4.6), com maior concentração nas regiões do Mato Grosso, sudeste do Pará e leste do Maranhão.

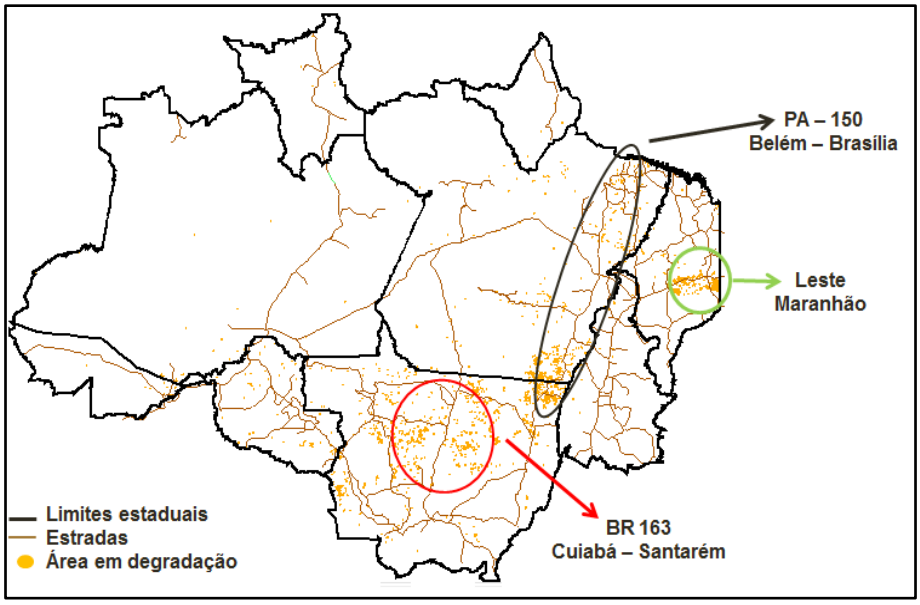


Figura 4.3 - Trajetórias Degradação resultante do cruzamento dos dados do DEGRAD e do PRODES no período de 2007 a 2012.

A Trajetória Corte Raso (Figura 4.4.) incluiu todas as trajetórias onde a área degradada ou abandonada foi convertida em corte raso em algum período da analise(trajetórias pares das tabelas 4.1 e 4.2), representando 21% (3.328 km²) do total analisado (Figura 4.6).As áreas convertidas em corte raso apresentaram maior concentração em regiões sob alta pressão do desmatamento nos estados do Mato Grosso e Pará,e no leste do Maranhão.

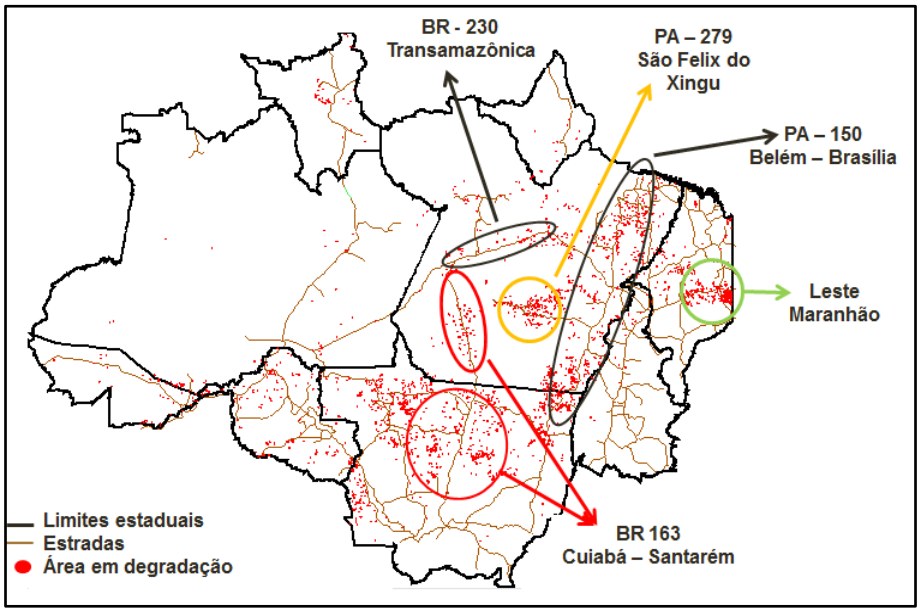


Figura 4.4 - Trajetórias Corte Raso resultante do cruzamento dos dados do DEGRAD e do PRODES no período de 2007 a 2012.

A Trajetória Regeneração (Figura 4.5) incluiu somente a trajetória onde a área foi abandonada no ano seguinte ao processo de degradação, ou seja, no 2º ano dasanálises(2008) e permaneceu em processo de regeneração florestal até o ano de 2012(trajetória 63 das tabelas 3.1 e 3.2), representando 48% (7.694 km²) do total degradado em 2007(Figura 4.6).

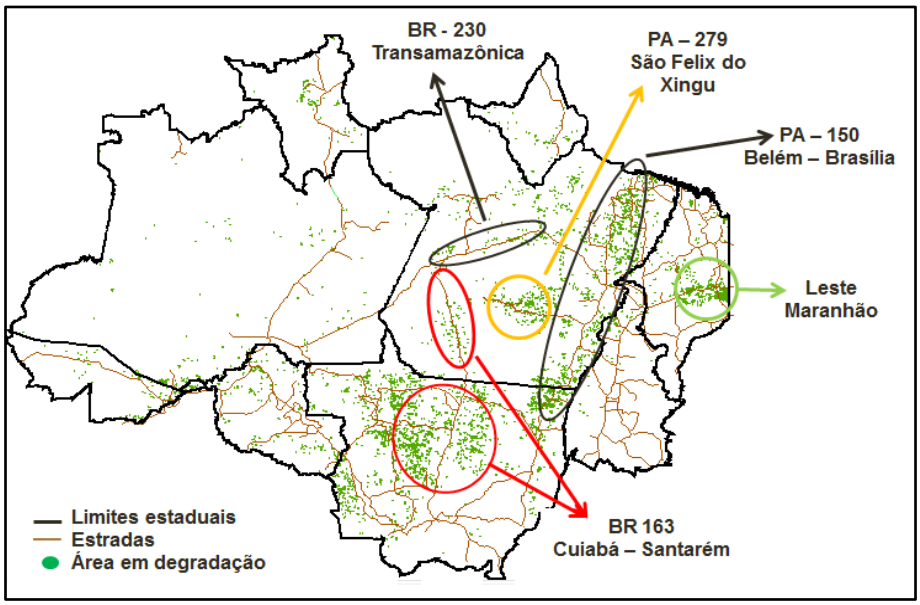


Figura 4.5 - Trajetórias Regeneração resultante do cruzamento dos dados do DEGRAD e do PRODES no período de 2007 a 2012.

A figura 4.6 a seguir apresenta a área total e porcentagem das trajetórias degradação, corte raso e regeneração em relação à área total analisada no estudo, que corresponde à área degradada (15.983 km²) em 2007, ano base das interseções.

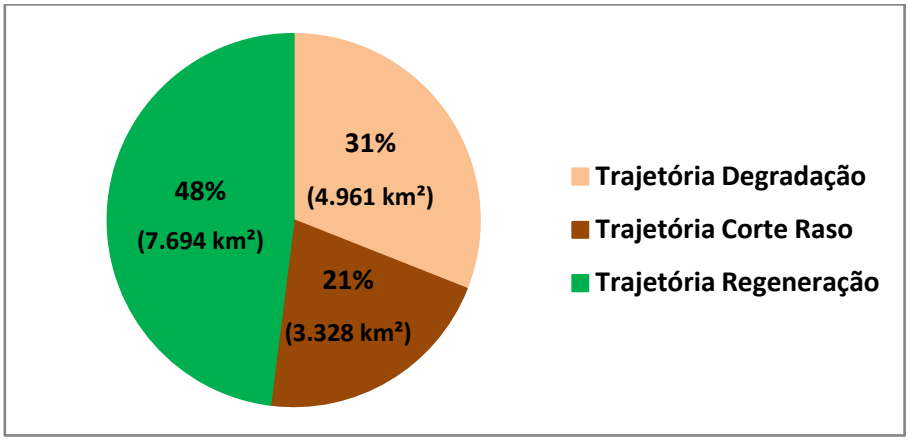


Figura 4.6 – Porcentagem e área total das trajetórias degradação, corte raso e regeneração em relação ao total analisado entre 2007 e 2012.

4.4.2. Trajetórias da degradação florestal por Estado

Foram realizadas também análises para cada um dos nove Estados da Amazônia Legal considerando as 3 trajetórias (Tabela 4.3) . Com isso, foi possível verificar que nesse período de 6 anos de análise, grande parte das trajetórias se concentrou em uma porção limitada e especifica da Amazônia Legal, entre os Estados do Mato Grosso, Pará e Maranhão representando juntos mais de 90% da área em cada trajetória classificada.

Tabela 4.3 - Área (km²) e porcentagem por estado das trajetórias na Amazônia Legal Brasileira no período de 2007 a 2013.

Estados	Trajetória degradação		Trajetória corte raso		Trajetória regeneração	
	km²	%	km²	%	km²	%
Acre	**18**	*0.4*	**35**	*1.0*	**74**	*1.0*
Amazonas	**45**	*0.9*	**46**	*1.4*	**171**	*2.2*
Amapá	**4**	*0.1*	**8**	*0.2*	**38**	*0.5*
Maranhão	**897**	*18.1*	**429**	*12.9*	**669**	*8.7*
Mato Grosso	**2.908**	*58.6*	**1.443**	*43.3*	**4.571**	*59.4*
Para	**962**	*19.4*	**1.127**	*33.9*	**1.806**	*23.5*
Rondônia	**86**	*1.7*	**161**	*4.8*	**168**	*2.2*
Roraima	**3**	*0.1*	**50**	*1.5*	**85**	*1.1*
Tocantins	**39**	*0.8*	**30**	*0.9*	**112**	*1.5*
TOTAL AMZ LEGAL	**4.961**	*100*	**3.328**	*100*	**7.694**	*100*

No entanto, no total regional os resultados demonstraram que o Mato Grosso apresentou as maiores proporções de áreas nas três trajetórias, contribuindo com aproximadamente 59% (2.908 km²) do total (4.961 km²) da trajetória degradação, 43% (1.443 km²) do total (3.328 km²) da trajetória corte raso e 59% (4.571 km²) do total (7.694 km²) da trajetória regeneração. Em contrapartida, o estado de Roraima apresentou a menor área (3 km², 0,1%) do total da trajetória degradação, enquanto Amapá apresentou a menor tanto na trajetória corte raso (8 km², 0,2%) como na trajetória regeneração (38 km², 0,5%) (Tabela 4.3).

4.4.3. Tempo de permanência do processo

O tempo de permanência refere-se ao tempo entre episódios de degradação e de processo de regeneração florestal, bem como o tempo de conversão de áreadegradada ou abandonada em corte raso, e de alternância entre processos. A tabela 4.4 a seguir, apresenta a área (km²) resultante das 5 intersecções, relacionada ao tempo de permanência dessesepisódios e sua determinada porcentagem em relação ao total degradado em 2007 (15.983 km²),ano base das análises.

Tabela 4.4 - Tempo de permanência entre episódios de degradação, regeneração, conversão em corte raso e alternância entre processos.

Período de intersecções	**Degradação**		**Regeneração**		**Corte Raso**		**Alternância entre degrad. eregener.**		**Total 2007**
	km²	**%**	**km²**	**%**	**km²**	**%**	**km²**	**%**	**km²**
2007 a 2008 (2º ano)	3.676	*23*	10.389	*65*	1.918	*12*	-	-	
2007 a 2009 (3º ano)	639	*4*	9.430	*59*	2.397	*15*	3.517	*22*	
2007 a 2010 (4º ano)	64	*0.4*	8.950	*56*	2.877	*18*	4.092	*25.6*	**15.983**
2007 a 2011 (5º ano)	24	*0.2*	8.311	*52*	3.117	*19.5*	4.531	*28.3*	
2007 a 2012 (6º ano)	4	*0.02*	7.694	*48*	3.324	*21*	4.961	*31*	

Em geral, pode-se observar que tanto a área que permaneceu degradada como a que está em regeneração reduziu ao longo do tempo, enquanto aumentou a que foi convertido em corte raso e a que representou frequentes distúrbios na vegetação, com alternância entre processos de degradação e regeneração.

Do total degradado em 2007, 23% (3.676 km²) permaneceram degradados, 65% (10.389 km²) foi abandonado e 12% (1.918 km²) foramconvertidos em corte raso no 2º ano de análise. No 3º ano, além desses três estados, identificaram-se novos distúrbios em áreas que estavam em processo inicial de regeneração e abandono em áreas com

degradação recorrente, gerando um novo estado onde há alternância entre processos e com isso, as mudanças nas trajetórias ao longo do tempo, representando 22% (3.517 km²) da área total analisada.

Analisando o tempo de permanência dos processos, pode-se observar que a área com degradação recorrente reduziu significativamente, restando apenas 0,02% em 2012, do total degradado em 2007, ou seja, com tempo de permanência de 6 anos de degradação. A maior parte (48%) da área degradada em 2007, apresentou um tempo de permanência de 5 anos de regeneração florestal. Dessa área abandonada (10.389 km²) em 2008, 2.695 km² (17%) foi degradado novamenteou convertido em corte raso nos anos seguintes. Além disso, os resultados indicaram aumento da área convertida em corte raso ao longo do tempo, passando de 12% no 2º ano para 21% no 6º ano, bem como, da área com alternância entre processos de 22% no 3º ano para 31% no 6º ano.

Mesmo em tempo curto de análise, os resultados deste estudo permitiram compará-los aos de estudos anteriores (SANTOSet al., 2001; KRUG, 2001) que abordavam estimativas de áreas degradadas por atividades de exploração madeireira na Amazônia Brasileira, conforme apresentado na Tabela 4.5 a seguir.

Tabela 4.5 - Comparativo de áreas convertidas em corte raso, em regeneração e em processo de degradação.

	Santos et al., (2001) e Krug (2001)	**Análise deste estudo**
Período e tempo de análise	1988 – 1998 (11 anos)	2007 – 2012 (6 anos)
Área total degradada analisada	17.146 km²	15.983 km²
Área convertida em corte raso	16%	21%
Área em regeneração	41%	48%
Área em processo de degradação	43%	31%

A avaliação das atividades de exploração madeireira conduzida por Santos et al. (2001) e Krug (2001) no período de 1988 a 1998, para quantificar a extensão, a intensidade e a dinâmica das mudanças de cobertura relativas à atividade madeireira, estimou área total de 17.146

km² com padrão de corte seletivo em diferentes dimensões e graus de degradação. Desse total, 16% das áreas foram transformadas, após um determinado tempo em corte raso, 41% estavam em estágio avançado de regeneração da cobertura florestal e o restante (43%) ainda apresentava em 1998, padrão de exploração considerado de média intensidade. A análise das imagens no período de estudo, permitiu registrar que as áreas afetadas por exploração madeireira têm levado em média 4,5 anos para terem finalidade agrícola ou pecuária (corte raso) e dependendo da intensidade da exploração, 4 anos para não apresentar distúrbio de degradação, sugerindo um processo de recomposição florestal.

A análise deste estudo utilizou como base a área total degradada em 2007 (15.983 km²) na Amazônia. O resultado final das analises de 6 anos deste estudo, apresentou um resultado aproximado ao do estudo de 11 anos de Santos et al. (2001) e Krug (2001) (Tabela 4.5), ou seja, de 21% de área convertida em corte raso, 48% em estágio de regeneração e 31% de área ainda em processo de degradação.No entanto, a diferença desses resultados pode estar relacionada aos dados do Sistema DEGRAD desenvolvido pelo INPE, que representam em sua grande maioria áreas provenientes de incêndios florestais, diferentes dos estudos anteriores que focaram em atividades de exploração madeireira ou corte seletivo de madeira. Além disso, na metodologia e técnicas utilizadas na interpretação das imagens para distinguir perturbações por degradação florestal.

4.5. Conclusão

Foi desenvolvido analise multitemporal, em escala regional e estratificada por estado,em áreas degradadas da Amazônia Legal Brasileira no período de 2007 a 2012, por meio do cruzamento dos dados dos Sistemas DEGRAD e PRODES, buscando verificar a hipótese de que *áreas degradadas por atividades de exploração madeireira ou incêndios florestais, na Amazônia Legal Brasileira terminam sendo convertidas em corte raso.*No entanto, osresultados das análises não confirmaram

essaprimeira hipótese explorada nesta tese, indicando diferentes trajetórias e conversões nas áreas remanescente ao longo do tempo.

Com base no método proposto foi possível distinguir diferentes trajetórias nas áreas degradadas e o tempo de permanência entre os processosna região. Classificaram-se três principais trajetórias (degradação, corte raso e regeneração) e com isso, constatou-se que grande parte da área degradada na região foi abandonada (48%), permanecendo em processo de regeneração florestal até o final das análises, enquanto pequena parte da área degradada foi convertida em corte raso (21%), e o restante permaneceu em constante processo de degradação (31%) durante todo o período analisado.

A análise do tempo de permanência dos processos permitiu constatar que as áreas convertidas em corte raso, mesmo representando a menor proporção em relação às outras trajetórias, aumentaram ao longo do tempo, assim como as áreas em constante processo de degradação, com alternância entre degradação e abandono da área. Porém as áreas abandonadas, em processo de regeneração florestal reduziram durante o período analisado, uma vez que passaram a ser convertidas em corte raso ou degradadas novamente.

Análises da dinâmica espaço-temporal da degradação florestal na Amazônia e estratificada por estado, pode representar uma importante ferramenta no entendimento do processode degradação na região, assim como nas estimativas das emissões de carbono para a atmosfera provenientes do processo que incrementam consideravelmente as emissões por desmatamento (AGUIAR, et al., 2015) e necessitam ser adequadamente incluídas no cálculo do balanço de carbono das atividades relacionadas a mudança de uso da terra na Amazônia (BERENGUER et al., 2014).Alguns estudos consideram apenas áreas desmatadas por corte raso (AGUIAR et al., 2012, HOUGHTON, 2010), ou fazem simplificações sobre os efeitos da exploração madeireira e

incêndios florestais (VAN DER WERF et al., 2009) nas estimativas das emissões de carbono .

Dados como o do sistema DEGRAD poderão, ao longo do tempo, auxiliar na compreensão do processo da degradação florestalna Amazônia Brasileira, no entanto, existe a necessidade de séries históricas mais longas, disponibilidades de dados e análises locais complementares de áreas degradadas para melhor entender o processo.

5 MODELAGEM ESPACIAL DOS FATORES DETERMINANTES DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

5.1. Introdução

A Amazônia Brasileira passou por diversas fases de desenvolvimento, resultando em um processo desuniforme edesigual entre os estados que a compõem. Desde o final do século XIX, é possível identificar grandes processos que deram sentido a ocupação territorial da Amazônia. O primeiro foi marcado pela dimensão espontânea, quando a população local se organizou para aproveitar o potencial econômico da borracha no mercado internacional; o segundo foi caracterizado por intervenções esporádicas do governo federal, quando a região passou por certa indefinição econômica, o terceiro se mostra quando o Estado Nacional escolhe a região para ser o grande palco de suas ações de planejamento territorial, e o quarto é caracterizado pela conjunção de ações estatais e o avanço de agentes impulsionados pelas forças de mercado interna e externa (PRATES, 2008).

O desenvolvimento da região, bem como a expansão de atividades produtivas geraramo desmatamento na região, assim como a degradação florestal, e as razões para a ocorrência desse processo são diversas. No caso da degradação florestal, foco deste estudo, os fatores estão relacionados principalmente às atividades de exploração ilegal de madeira e incêndios florestais.

A atividade madeireira na Amazônia esteve restrita às florestas de várzea ao longo dos principais rios por mais de três séculos, nesse período a extração de madeira era extremamente seletiva, de baixa intensidade e com impactos menos expressivos (BARROS;UHL, 1995; VERÍSSIMOet al., 1992). O desenvolvimento na região e os impactos gerados pela atividade de exploração madeireira estão relacionados ao histórico do processo de ocupação humana na região nas últimas quatro décadas,

principalmente após o regime militar. A partir da década de 70, a exploração madeireira teve impulso nas florestas de terra firme com a construção de estradas oficiais que possibilitou o acesso a florestas ricas em madeira de valor comercial (BARROS; UHL, 1995), combinado ao baixo custo de aquisição da madeira, uma vez que a extração era realizada sem restrição ambiental e fundiária. As empresas madeireiras foram aglomerando-se em centros urbanos criados ao longo das rodovias, formando pólos madeireiros em áreas que concentram serviços, infraestrutura e mão-de-obra disponível (SBF; IMAZON, 2010).

A Amazônia é marcada pelo contraste entre a baixa frequência de incêndios naturais e o crescente predomínio de incêndios antrópicos à medida que cresce a ocupação da região (SCHROEDERet al., 2009). A intensidade e frequência de fogo na região não foram suficientes para mudar o ecossistema no passado, mas atualmente, o homem transformou o fogo em um elemento recorrente da paisagem local. O fogo é o método principal de manejo e de desmatamento da terra utilizado por diversos fazendeiros (NEPSTAD et al., 1999).

A ocorrência de fogo em vegetação varia de acordo com a causa, intensidade, duração e padrão espacial. Na Amazônia o fogo pode ser classificado em quatro grupos principais: a) fogo de desmatamento (fogo intencional usado para facilitar a limpeza da área para conversão da floresta em cultivo e pastagem nos estágios iniciais de ocupação da fronteira e desmatamento, b) fogo de manutenção (fogo intencional usado no manejo de pastagens e na limpeza de sobras residuais da colheita), c) fogo acidental (que foge ao controle a partir de queimadas intencionais associadas à manutenção ou conversão de áreas vizinhas) e d) fogo natural (causado por descargas elétricas, relâmpagos). (NEPSTAD et al., 1999; SCHROEDER et al., 2009).

Diante disso, pode-se entender que diversos fatores estão relacionados ao processo de degradação florestal na Amazônia.Embora alguns estudosrelacionados ao desmatamento na região, apontem para fatores

específicos, como por exemplo,a construção e pavimentação de estradas ou outras melhorias de infraestrutura (LAURANCE et al., 2004; SOARES-FILHO et al., 2005), pode-se constatar que todos os fatores estão plenamente relacionados. Diante disso, vários estudos buscam entender a dinâmica de uso e ocupação da Amazônia, alguns visando identificar as variáveis que mais influenciam o processo de desmatamento da região, e quantificar a importânciarelativa de cada uma delas. No entanto, poucos estudos analisaram diferenças intra-regionais(AGUIARet al., 2007) e estaduais (SILVA et al., 2007; PRATES, 2008) dos fatores determinantes.

Nesse contexto, pretende-se neste capítulo apresentar o desenvolvimento dos modelos de regressão linear e espacial utilizados para identificar fatores determinantes que mais influenciam o processo de degradação florestal na Amazônia Brasileira. Os modelos exploram a importância relativa dos fatores determinantes relacionado aos padrões de degradação e as diferenças intra-regionais entre esses fatores.

5.2. Área de estudo

A área de estudo corresponde à área de floresta da Amazônia Legal Brasileira. Variáveis representando os padrões de uso da terra e os fatores determinantes potenciais da degradação florestal foram decompostos em um espaço celular de resolução espacial de 25 km² x 25 km² no software TerraView 4.2.0 (INPE, 2015 e), desenvolvido pelo INPE. As células com uma proporção majoritária de vegetação não florestal e área fora da Amazônia Legal Brasileira foram eliminadas das análises (Figura 5.1).

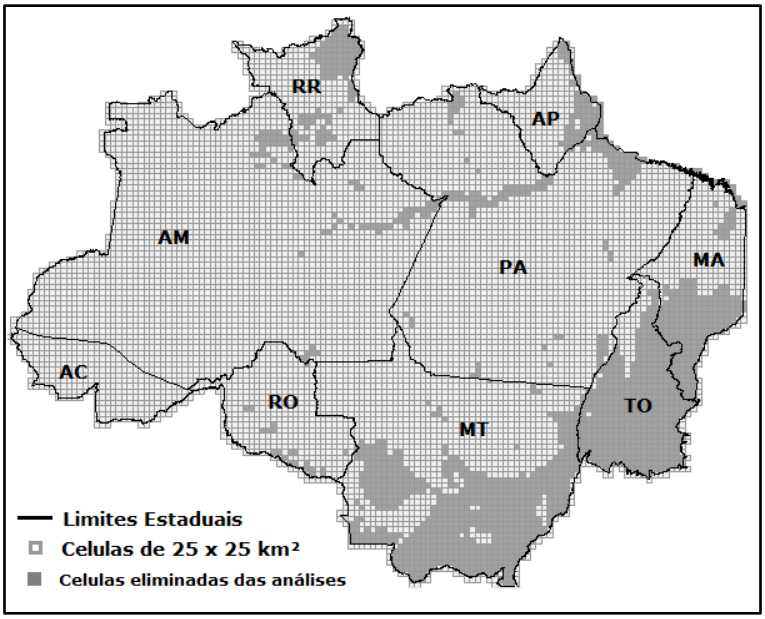


Figura 5.1 – Área de Estudo.

5.3. Banco de dados

Foi construído um banco de dados incluindo variáveis socioeconômicas, ambientais e de condições de infraestrutura da região de estudo no aplicativo TerraView, para dar suporte à análise estatística dos fatores determinantes da degradação florestal na Amazônia.Para representar as variáveis os dados foram inseridos no espaço celular por meio do plugin “Preenchimento de células”, que possibilita calcular valores para atributos de tabelas associadas a planos de informação do tipo celular. Este plugin tem como objetivo homogeneizar informações provenientes de diferentes fontes, em formatos distintos (dados vetoriais,matriciais), agregando-os em uma mesma baseespaço-temporal (INPE, 2016).

Diferentes operadores podem ser utilizados na inserção dos dados no espaço celular, de acordo com a representação geométrica e a semântica dos atributos dos dados de entrada. Neste trabalho, os operadores utilizados no preenchimento de célula foram: (a) “porcentagem total de intersecção”, operador que determina a porcentagem total de área de intersecção entre a célula e um conjunto de polígonos; e (b) “Distância mínima”: operador que determina a menor distância dentre todas as geometrias contidas na célula em relação ao centro da célula.

As variáveis foram agrupadas empadrão de uso da terra epotenciais variáveis explicativas para os padrões de degradação. A Tabela 5.1 a seguir, apresenta as variáveis utilizadas na modelagem estatística com o operador e as respectivas fontes de dados, em seguida têm-se a descrição de cada variável.

Tabela 5.1 - Descrição das variáveis utilizadas na modelagem estatística, operador e fonte de dados.

DESCRIÇÃO	VARIÁVEL NO BANCO DE DADOS	FONTE
Porcentagem de área degradada (log)	Log_Degrad07	INPE
Porcentagem de trajetória degradação (log)	Log_DegReg	Identificadas pelo cruzamento DEGRAD X PRODES
Porcentagem de trajetória corte raso (log)	Log_CRaso	
Porcentagem de trajetória regeneração (log)	Log_Regener	
Distância mínima área desmatada 2007 (log)	Log_Desm07	INPE
Distância mínima ao desmatamento acumulado até 2006 (log)	Log_DesAcu06	INPE
Distância mínima a pólos madeireiros (log)	Log_PolosMad	IMAZON
Distância mínima a eixo de transporte madeireiro(log)	Log_ExTrans	IMAZON
Distância mínima a fronteira madeireira (log)	Log_Front	IMAZON
Distância mínima a rodovias (log)	Log_Rod	IBGE
Distância mínima a rodovias pavimentadas (log)	Log_RodPa	IBGE
Distância mínima a rodovias não pavimentadas (log)	Log_RodNPa	IBGE
Distância mínima a centros urbanos (log)	Log_Urban	IBGE
Distância mínima a principais centros urbanos (log)	Log_UrbPrin	IBGE
Distância mínima a rios (log)	Log_Rios	IBGE
Distância mínima a rios principais (log)	Log_RiosPrin	IBGE
Distância mínima a reservas minerais (log)	Log_ResMin	CPRM
Porcentagem de alta fertilidade do solo	Por_AltFertil	IBGE
Porcentagem de áreas protegidas	Por_FlorPubl	MMA / FUNAI
Porcentagem de assentamentos	Por_Assent	INCRA
Conexão a portos da Amazônia (GPM)	Conex_Portos	IBGE
Conexão a mercados: São Paulo / Nordeste(GPM)	Conex_SPNE	IBGE

5.3.1. Variáveis de padrões de uso da terra

Para representar as variáveis de padrão de uso da terra os dados de cada variável foram inseridos no espaço celular de 25 x 25 km², por meio do operador “porcentagem total de interseção” (área degradada e trajetórias) e “distância mínima” (área desmatada), do plugin de células.

- **Áreas degradadas**

A proporção de área degradada em 2007 na Amazônia Brasileira, para cada célula foi calculada com base nos dados de degradação florestalem 2007 (15.983 km²) registrados pelo DEGRAD (INPE, 2015 a). A Figura 5.2 ilustra o padrão espacial da degradação florestal ocorrida em 2007na Amazônia Brasileira, em células de 25 x 25 km².

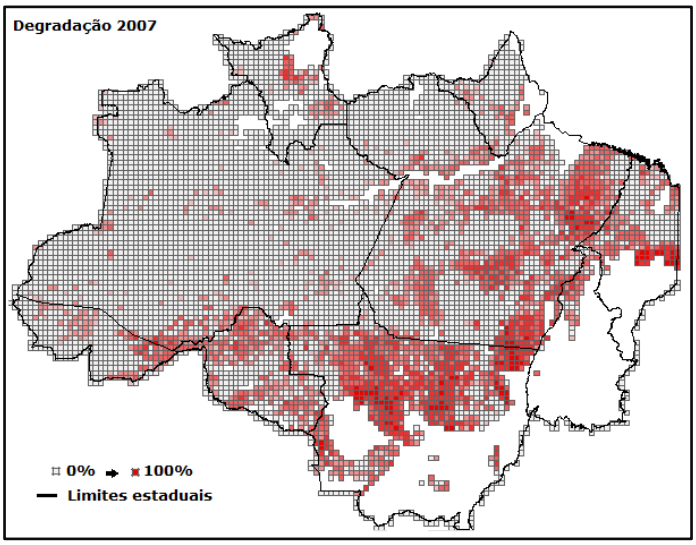


Figura 5.2 – Padrão espacial da degradação florestal em 2007.

- **Trajetórias de degradação, corte raso e regeneração**

A proporção das trajetórias foi calculada com base nos dados de cada trajetória identificada e descrita no capítulo 4. As figuras 5.3, 5.4, e 5.5, ilustram o padrão espacial das trajetórias de degradação (4.961 km²), corte raso (3.328 km²) e regeneração (7.694 km²), respectivamente.

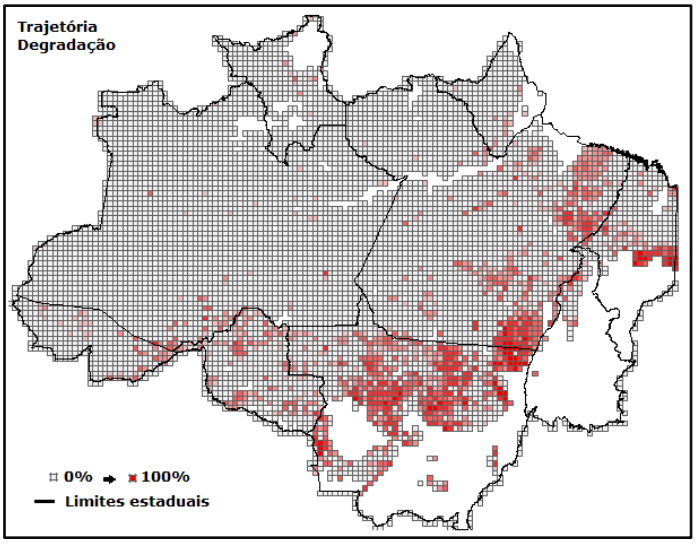


Figura 5.3 – Padrão espacial da trajetória degradação entre 2007 e 2012.

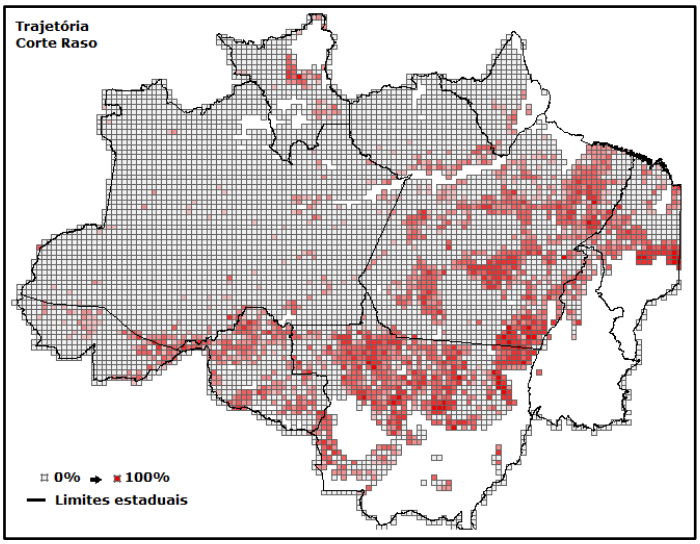


Figura 5.4 – Padrão espacial da trajetória corte raso entre 2007 e 2012.

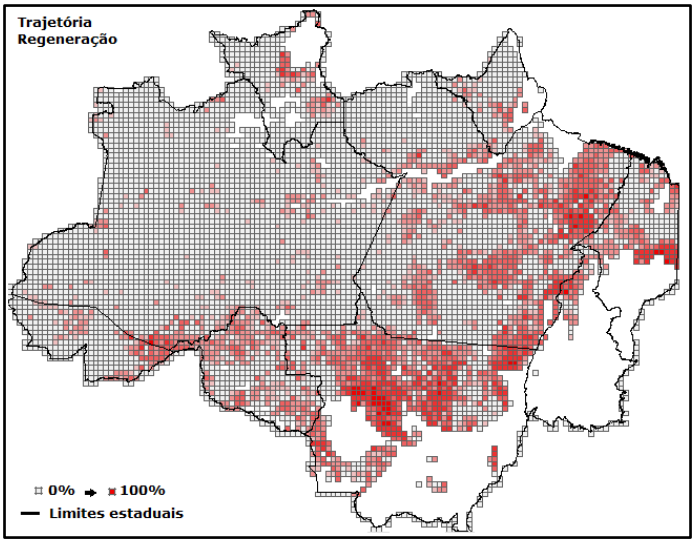


Figura 5.5 – Padrão espacial da trajetória regeneração entre 2007 e 2012.

- **Áreas desmatadas**

À distância a área desmatada foi medida como a distância de cada célula até o desmatamento mais próximo. O desmatamento foi representado pela área total desmatada em 2007 (11.651 km²) e pelo incremento do desmatamento ocorrido entre 1988 até 2006 (346.757 km²) na região. Os dados utilizados no preenchimento de células para representar essas áreas foram os registrados pelo PRODES (INPE, 2015 b).A figura 5.6 ilustra o padrão espacial do desmatamento em 2007 na Amazônia.

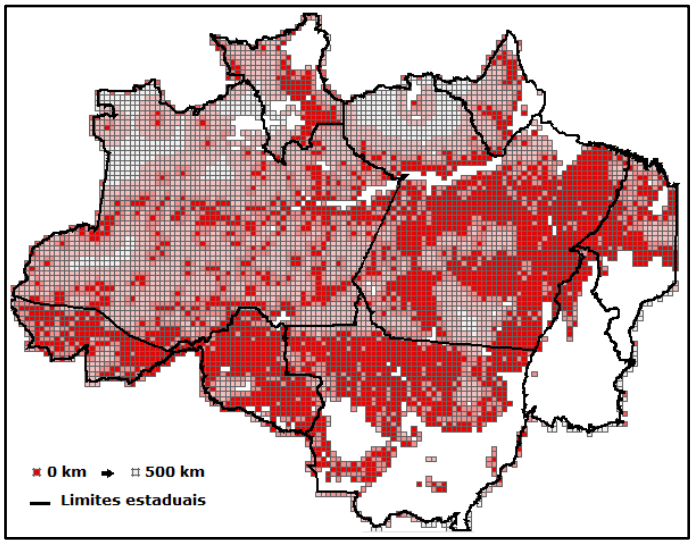


Figura 5.6 – Padrão espacial da distância mínima do desmatamento (2007).

5.3.2. Fatores determinantes potenciais

Foram utilizadas doze variáveis socioeconômicas e ambientais que poderiam, potencialmente, explicar a degradação florestal na Amazônia Brasileira. Como os dados de uso da terra estão relacionados ao ano de 2007, as fontes de dados utilizadas para os fatores determinantes são compatíveis com essa data.

Para a modelagem estatística os dados de pólos, eixo de transporte, fronteiras madeireiras, reservas minerais, rios, rodovias e centros urbanos foram inseridos no espaço celular de 25 x 25 km², por meio do operador

“distância mínima”, áreas de florestas públicas e assentamentos por “porcentagem total de interseção”. Conexão a mercados e portos foi computada utilizando amatriz de proximidade generalizada (GPM).

- **Eixo de transporte, pólos e fronteiras de exploração madeireira**

A industrialização de madeira ocorre ao longo dos principais eixos de transporte (Figura 5.7) da Amazônialocalizados ao longo do rio Amazonas (Manaus-Estuário) e das rodovias BR-163 (Santarém-Cuiabá), BR 364 (Cuiabá-Porto Velho- Rio Branco), PA-150 e BR-010 (no leste do estado do Pará) e rodovia Transamazônica (que se estende de Marabá no Pará, até Humaitá no Amazonas). De 1998 a 2004, houve um deslocamento da produção madeireira do leste para o oeste do Pará e do centro-norte para o noroeste do Mato Grosso (LENTINI et al, 2005 b).

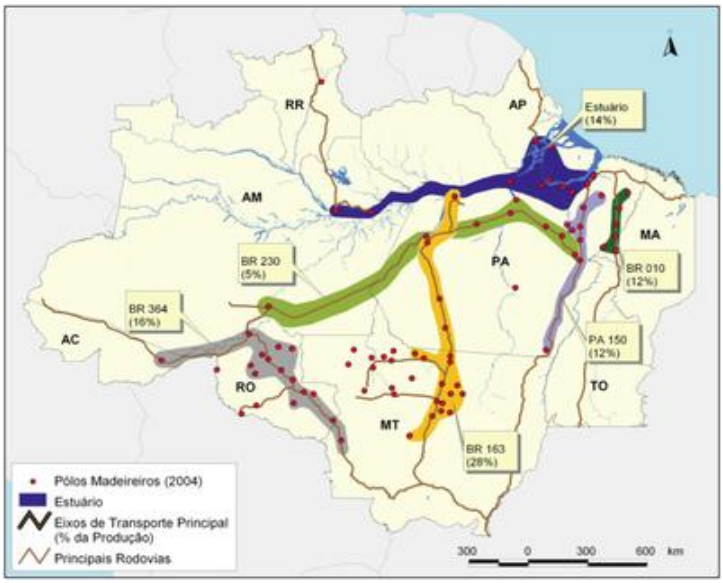


Figura 5.7 – Eixo de transporte madeireiros na Amazônia Legal.
Fonte: PEREIRA et al.(2010)

Diversos estudosrevelam forte concentração das indústrias madeireiras em torno dos núcleos urbanos, próximas a áreas com boa logística de transporte (UHL et al., 1991; VERÍSSIMO et al., 1992; BARROS; VERÍSSIMO, 2002; LENTINI et al., 2005 a; PEREIRA et. al, 2010; SBF; IMAZON, 2010).

Pólos madeireiros são municípios ou microrregiões que consomem anualmente pelo menos 100 mil m³ de madeira em tora em processos industriaise estão concentrados principalmente nos estados de Rondônia, Mato Grosso e nordeste do Pará.

Fronteiras de exploração madeireira são classificadas de acordo com as tipologias florestais (várzea ou terra firme), o estágio da ocupação, a idade da fronteira, as condições de acesso (fluvial ou terrestre) e o tipo de transporte (VERÍSSIMO et al., 2002). Foram caracterizados 4 tipos de fronteiras madeireira na Amazônia Brasileira (Figura 5.8) (LENTINI et al., 2003):

- Antiga (mais de 30 anos): localizadas ao sul e a leste da Amazônia, nas regiões dos municípios de Paragominas, Tailândia, Redenção, Rondon do Pará e Xinguara, no Pará; Sinop e Feliz Natal, em Mato Grosso; e Vilhena, Ji-Paraná e Ariquemes, em Rondônia.
- Intermediária (entre 10 e 30 anos): situadas nas regiões dos municípios de Cláudia e Marcelândia, no Mato Grosso, Porto Velho e Buritis, em Rondônia; e Rio Branco, no Acre.
- Nova (menos de 10 anos): localizada no oeste do Pará, extremo noroeste de Mato Grosso e sudeste do Amazonas.
- Estuarina: regiões onde a exploração madeireira ocorre de forma seletiva e esporádica desde o século XVII. Porém, com a instalação de grandes indústrias a partir da década de 60, a exploração tem ocorrido de forma mais intensa nessa região.

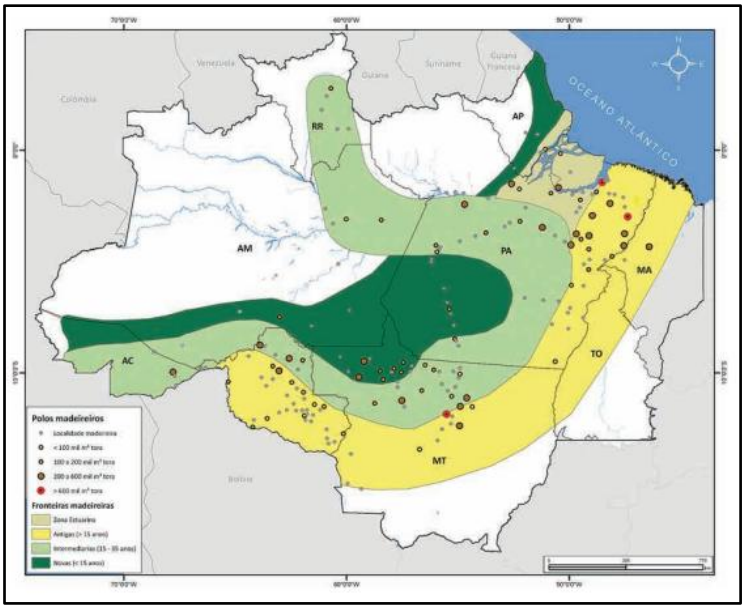


Figura 5.8 – Fronteiras e pólos madeireiros na Amazônia Legal.

Fonte: PEREIRA et al. (2010)

Os dados utilizados de eixo de transporte, pólos e fronteiras madeireiras foram disponibilizados pelo Imazon. O padrão espacial da distancia mínima dos pólos madeireiros com as estradas (pavimentadas e não pavimentadas) na Amazônia está ilustrado na figura 5.9 a seguir.

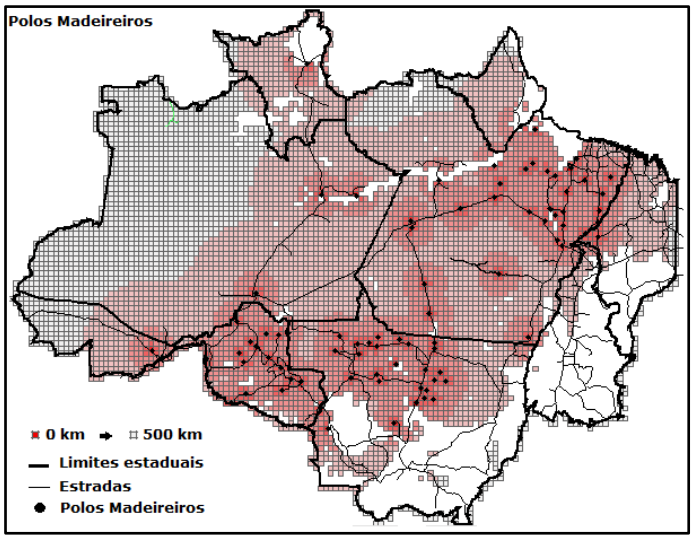


Figura 5.9 – Distância Mínima a Pólos Madeireiros.

- **Reservas Minerais**

Os depósitos minerais apresentam concentração mais intensa no sudeste dos estados do Pará e Rondônia. Os dados sobre os depósitos minerais foram fornecidos pelo Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM).A figura 5.10 apresenta o padrão espacial da distancia mínima das reservas minerais, incluindo as estradas (pavimentadas e não pavimentadas) na Amazônia.

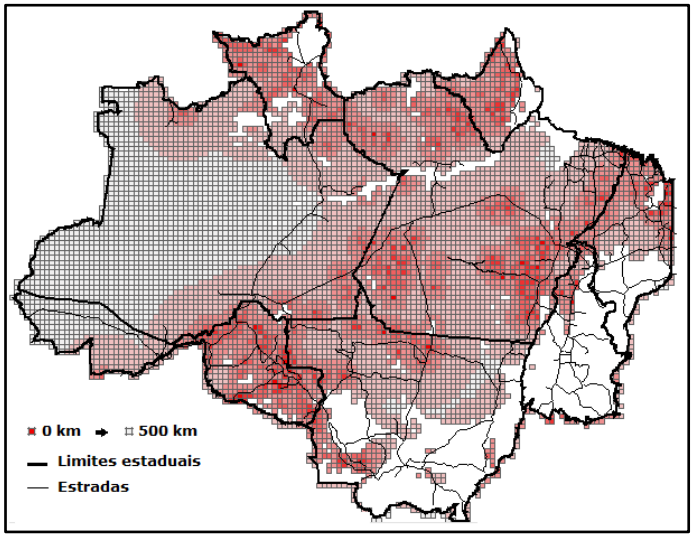


Figura 5.10– Distância Mínima a Depósitos Minerais.

- **Rodovias, rios e centros urbanos**

Os dados de rodovias, rios e centros urbanos foram disponibilizados peloInstituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).Para as análises estatísticas essas variáveis foram definidas considerando a distância euclidiana do centro das células às rodovias, rios e centros urbanos. Foram considerados todas as rodovias, rodovias pavimentadas, rodovias não pavimentadas, todos os rios, principais rios, centros urbanos e principais centros urbanos. O padrão espacial dessas variáveis será apresentado a seguir.

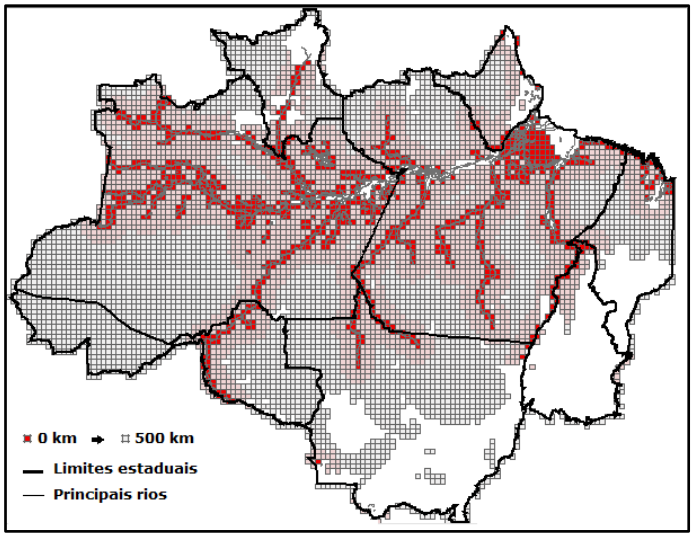


Figura 5.11 – Distância Mínima aos principais rios.

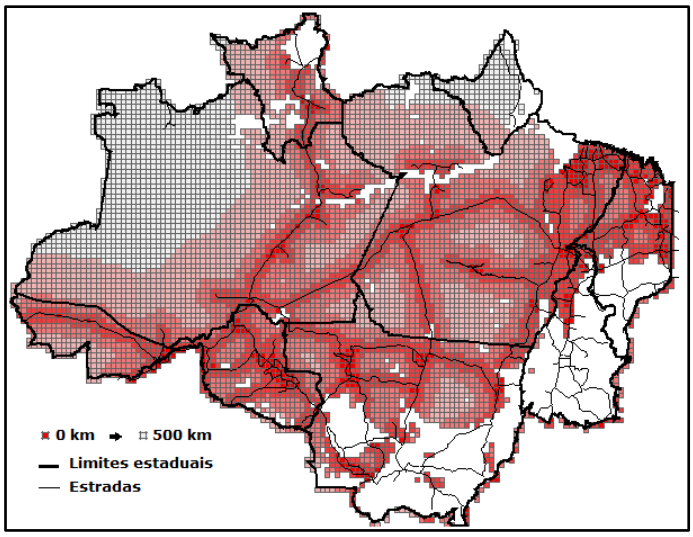


Figura 5.12 – Distância Mínima a todas as rodovias.

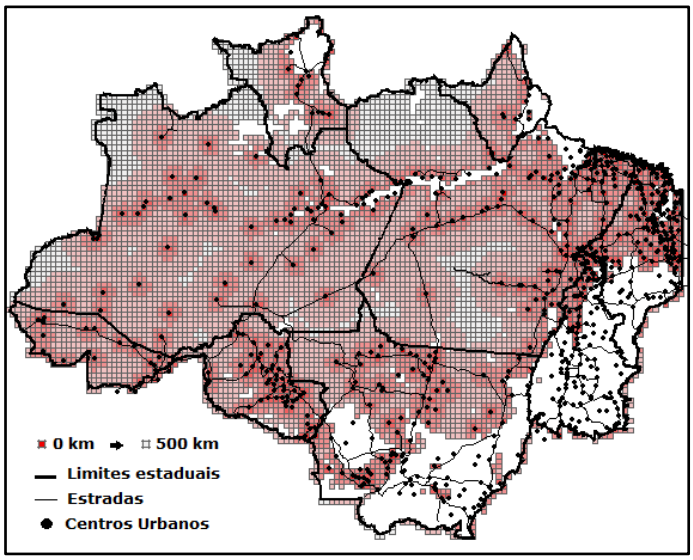


Figura 5.13 – Distância Mínima a centros urbanos.

- **Mercados nacionais e portos**

Dados de mercados nacionais e portos foram disponibilizados pelo IBGE. Essas medidas foram computadas utilizando amatriz de proximidade generalizada (GPM - Proximity Generalized Matrix), uma extensão da matriz de pesos espaciais utilizada em métodos de análise espacial, onde as relações espaciais são computadas levando-seem conta não apenas relações do espaço absoluto (como distância Euclidiana), mastambém relações do espaço relativo (como conexões topológicas na rede) (AGUIAR, et al. 2003).

As Figuras 5.14 e 5.15mostram avariável conexão a mercados nacionais, que combina a conexão a São Paulo e aoNordeste, e a variável conexão aos portos da Amazônia, respectivamente.

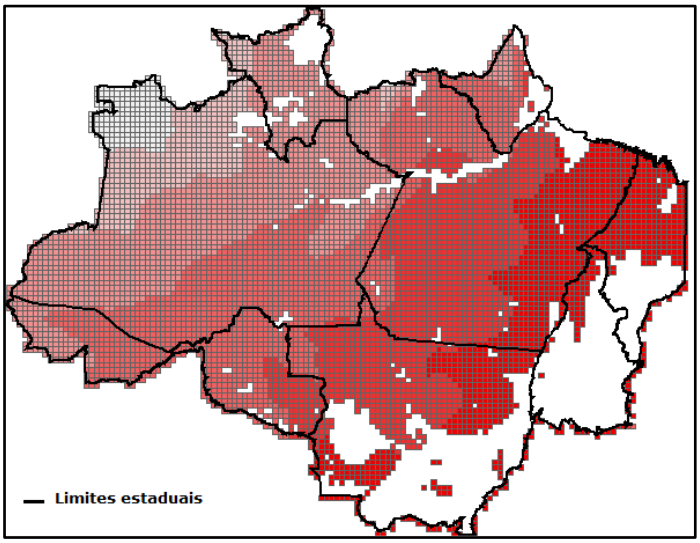


Figura 5.14 – Conexão a mercados nacionais.

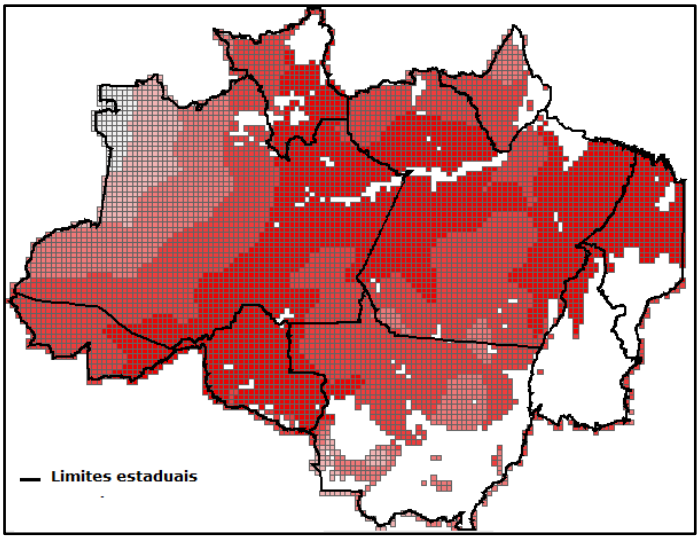


Figura 5.15 – Conexão a portos.

- **Áreas de Florestas Públicas e Assentamentos**

Os dados referentes às áreas de florestas públicas são provenientes do IBAMA (Unidades de Conservação de Uso Sustentável e de Proteção Integral, e Áreas Militares), da FUNAI (Terras Indígenas) e osdados de assentamentos são do INCRA, conforme já abordados no item 3.3desta tese. Essas variáveis foram inseridas no espaço celular, por meio do operador "porcentagem total de intersecção". A figura 5.16 apresenta a variável que inclui as áreas protegidas e 5.17 os assentamentos.

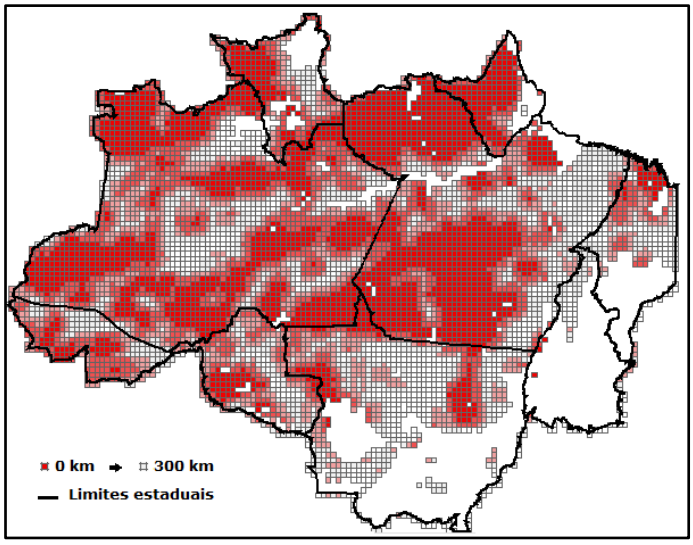


Figura 5.16 – Porcentagem Áreas Protegidas: Unidades de Conservação, Terras Indígenas e Áreas Militares

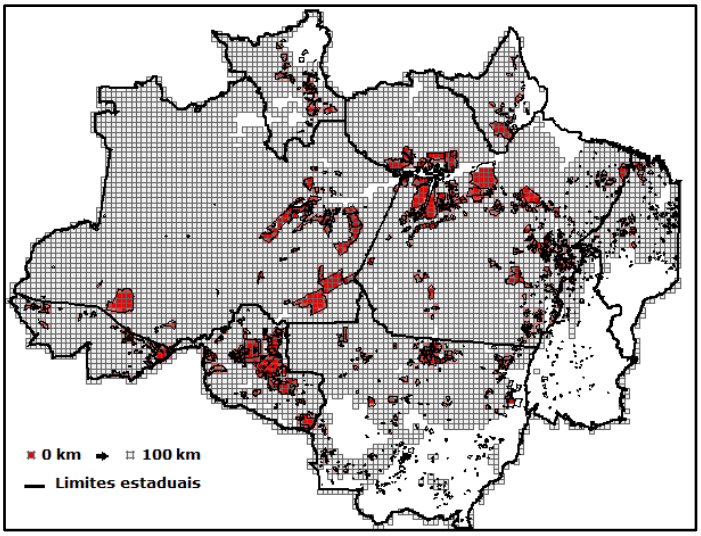


Figura 5.17 – Porcentagem Assentamentos.

- **Solos férteis**

Variável referente às características do solo utilizam uma classificação de fertilidade que considera informações sobre o tipo de solo, morfologia, textura e drenagem. As variáveis de solo considerado na analise estatística representa a proporção da categoria solos férteis nas células. Os solos férteis estão concentrados no Mato Grosso e diversas partes do Amazonas, Rondônia, Pará e Maranhão. A figura 5.18 apresenta o padrão espacial da variável solo fértil na Amazônia Brasileira.

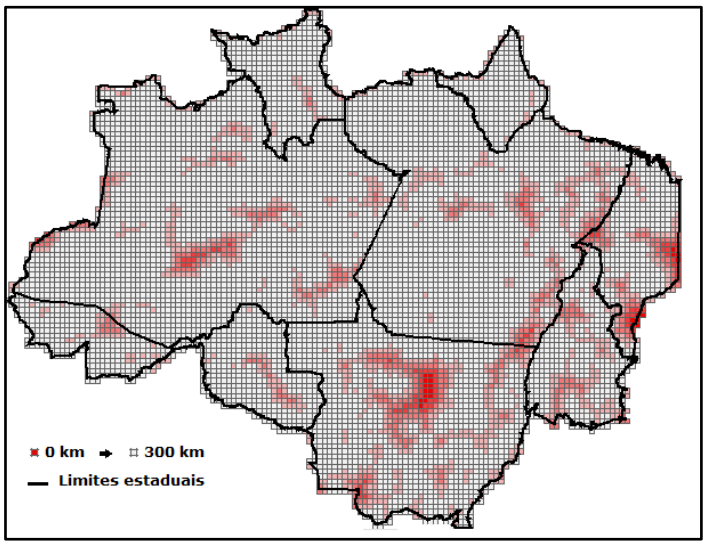


Figura 4.18 – Porcentagem de solos férteis.

5.4. Métodos

Para as análises estatísticas dos modelosforam adotadas três partiçõesnoespaço levando em consideração as três macrorregiões (Arco Desmatamento, Amazônia Central e Amazônia Ocidental) propostas por Becker (2005), o desenvolvimento da região e as fronteiras de exploração madeireira (Figura 5.7, item 5.3.2) classificadas de acordo com as tipologias florestais e histórico de colonização da exploração de madeirana Amazônia (LENTINI et al., 2013).

Foram selecionadas três partições: a) “Arco do Desmatamento”, que corresponde à região de maior concentração da degradação durante o período analisado, conforme citado no item 2.3 (Capítulo 2). Essa região refere-se a uma área de povoamento consolidado e atividades agropecuárias com uso de tecnologia e economicamente mais eficientes e rentáveis,incluindo as fronteiras de exploração Estuarina, Antiga e pequena parte da Intermediária; b) “Arco do Desmatamento mais Amazônia Central”, incluindo a porção mais vulnerável nos últimos anos na Amazôniae grande parte das fronteiras de exploração Intermediária e Nova; e c) “Amazônia Brasileira” com as três macrorregiões (Arco Desmatamento, a Amazônia Central e a Amazônia Ocidental), incluindo a região mais preservada e fora da influência dos eixos das principais rodovias (Figura 5.19).

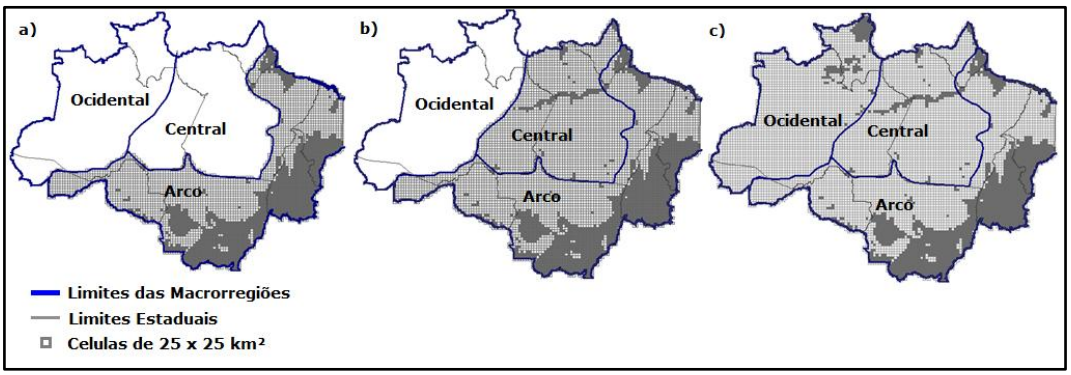


Figura 5.19 – Partições no espaço: a) Arco do desmatamento; b) Amazônia Central e Arco; c) Amazônia Legal Brasileira.

Aanálise dos fatores determinantes socioeconômicos e ambientais da degradação foi realizada por meio da regressão linear e espacial utilizando os aplicativos R e Geoda. Quatro variáveis dependentes e as demais variáveis exploratórias potencias foram utilizadas nos modelos e comparadas nas três partições espaciais. As variáveis dependentes foram àquelas associadas ao uso da terra, “Degrad07” e as três trajetórias identificadas e classificadas no Capítulo 4 desta tese, “Trajetória degradação”, “Trajetória corte raso” e “Trajetória regeneração”.

A variável “Degrad07” representa a degradação florestal ocorrido no ano de 2007, enquanto as “trajetórias” representam eventos de degradação seguidos por corte raso, regeneração ou mesmo degradação, ocorridos no período de 2007 a 2012. “Degrad07” inclui áreas degradadas sem considerar possíveis mudanças na trajetória, enquanto a “Trajetória degradação” inclui áreas com eventos alternativos entre degradação e abandono da área no período de seis anos. A“Trajetória corte raso” inclui áreas que foram convertidas em corte raso após evento de degradação ou abandono da área, e a “Trajetória regeneração”incluiáreas abandonadas no ano seguinte à degradação, permanecendo em processo de regeneração.

Para cada partição espacial, construíram-se quatro modelos referentes às variáveis dependentes, totalizando doze modelos de regressão linear e doze de regressão espacial. Esses modelos permitiram identificar quais parâmetros são importantes para o entendimento do padrão da degradação florestal, assim como estabelecer a significância relativa das variáveis explicativas quando se considera o processo de degradação como um todo em um determinado ano(2007) e quando se considera mudanças ocorridas no processo ao longo do tempo (2007 a 2012).

5.4.1. Modelo de Regressão Linear

Uma análise exploratória inicial mostrou que algumas das relações entre as variáveis potenciais e de uso da terra não eram lineares, com isso,

aplicou-se uma transformação logarítmica nas variáveis, indicada na tabela 4.1, para melhorar o resultado da regressão.

Em seguida, em cada partição no espaço foi observadaà relação entre as variáveis por meio da construção de umamatriz de correlação (Apêndice A), para eliminar as variáveis altamente correlacionadas, consideradas acima de 70% de correlação entre elas. Dentre elas, distância a todas as rodovias foi altamente correlacionada com mercados nacionais, rodovias pavimentadas e não pavimentadas não podendo ser colocadas no mesmo grupo nas três partições espaciais, com isso, optou-se por retirar das análises a distância a todas as rodovias.

Uma regressão linear automática foi utilizada para refinar os modelos e descartar as variáveis não significativas. Foi utilizado critério de seleção de variáveis stepwise, caracterizado pela construção de uma sequência de modelos de regressão onde uma variável preditora é adicionada (forward) ou retirada (backward), dependendo da abordagem selecionada (MORRISON, 2006). Optou-se pela técnica backward stepwise, na qual incorpora inicialmente todas as variáveis e depois, por etapas, cada uma pode ou não ser eliminada. No modelo final manteve-se as variáveis que foram estatisticamente significativas (p-valor <0,05) e com maior coeficiente de correlação (R^2).

No entanto, essa técnica não considera a dependência espacial dos dados, com isso aplicou-se o modelo de regressão espacial que incorpora a auto correlação espacial como um componente explicativa do modelo (CÂMARA et al., 2004).

5.4.2. Modelo de Regressão Espacial

As variáveis selecionadas no modelo final de regressão linear foram inseridas no modelo de regressão espacial para incorporar a componente espacial na variável dependente e estabelecer a importância relativa de fatores determinantes para diferentes trajetórias da degradação florestal.

Dados de uso da terra possuem a tendência de ser espacialmente auto correlacionados e uma das hipóteses básicas em modelos de regressão linear é que as observações não são correlacionadas. Com isso, foi aplicado o modelo de regressão "*Spacial Lag*" onde a dependência espacial é atribuída à variável dependente, mostrando que a variável resposta é afetada pelos valores da variável resposta nas áreas vizinhas, uma vez que mudanças no uso da terra em uma área tendem a se propagar pelas regiões vizinhas (CÂMARA, et. al, 2004, AGUIAR, et al. 2007).

A adequação dos modelos foi analisada pelo valor R^2 (coeficiente de determinação múltipla), critério de Akaike (AIC) e índice Log da Verossimilhança (Log Likelihood).O R^2 da regressão mostra o ajuste do modelo, ou seja, quão bem este pode explicar os dados da análise, porém não é um indicador consistente da qualidade do ajuste quando os dados são auto correlacionados espacialmente. O critério de Akaike e o Log Likelihood são índices de comparação mais adequados para modelos espaciais e utilizados para comparar modelos. O Log Likelihood é uma ferramenta para resumir a evidência dos dados sobre parâmetros desconhecidos, quanto maior o valor, melhor o ajuste do modelo. O critério AIC também diz a respeito do ajuste do modelo e quanto menor o valor, melhor (ANSELIN, 2015).

Para comparar a importância relativa dos fatores determinantes foram apresentados os coeficientes de regressão (beta) e o nível de significância (probabilidade) nos modelos de regressão espacial.

5.5. Resultados e Discussão

Foram desenvolvidos vinte quatro modelos de regressão, sendo doze de regressão linear e doze de regressão espacial, relacionados às quatro variáveis dependentes, nas três partições do espaço. Além destes, foram desenvolvidos mais seis modelos de regressão, sendo três linear e três

espacial, para o estado do Mato Grosso, utilizando as três variáveis dependentes relacionadas a trajetórias.

Os principais resultados desses modelos serão apresentados por meio da análisedos modelos de regressão linear e espacial (5.5.1), dos fatores determinantes em cada processo pela regressão espacial (5.5.2) e a relação entre as variáveis dependentes com as explicativas (5.5.3) comparando as três partições espaciais, e por fim a analise dos modelos de regressão espacial para o estado do Mato Grosso (5.5.4).

5.5.1. Análise dos Modelos de Regressão Linear e Espacial

De forma a comparar os modelos de regressão linear e espacial das quatro variáveis dependentes, nas três partições espaciais, será apresentado na tabela 5.2, os valores de R^2, Critérios Akaike (AIC) e Lod da Verossimilhança de cada modelo, além disso, a proporção do ajuste dos dados ao modelo após a realização da regressão espacial.

Tabela 5.2 – Comparativo dos Modelos de Regressão Linear e Espacial nas três partições espacial.

ARCO		**CENTRAL / ARCO**		**AMAZONIA**	
Linear	***Espacial***	***Linear***	***Espacial***	***Linear***	***Espacial***
		Degrad 07			
R^2: 0.25 AIC: 7832.98 Log Verossi.: -3907.49	R^2: 0.53 AIC:-6919.45 Log Verossi.: -3450.72	R^2: 0.37 AIC: 13343 Log Verossi.: -6664.48	R^2: 0.62 AIC: -11527.8 Log Verossi.: -5755.89	R^2: 0.43 AIC: 18066 Log Verossi.: -9024.98	R^2: 0.65 AIC: -15383.8 Log Verossi.: -7682.88
Ajuste ao modelo (+ 28%)		*Ajuste ao modelo (+25 %)*		*Ajuste ao modelo (+ 22%)*	
		Trajetória Degradação			
R^2: 0.17 AIC: 7231.27 Log Verossi.: -3608.64	R^2: 0.46 AIC: -6381.46 Log Verossi.: -3182.73	R^2: 0.24 AIC: 11470.9 Log Verossi.: -5726.47	R^2: 0.52 AIC: -9751.92 Log Verossi.: -4865.96	R^2: 0.28 AIC: 14793.7 Log Verossi.: -7360.85	R^2: 0.54 AIC: -12189.7 Log Verossi.: -6084.87
Ajuste ao modelo (+ 29%)		*Ajuste ao modelo (+ 28%)*		*Ajuste ao modelo (+26%)*	
		Trajetória Corte Raso			
R^2: 0.22 AIC: 6937.55 Log Verossi.: -3459.78	R^2: 0.42 AIC: - 6372.06 Log Verossi.: -3176.03	R^2: 0.33 AIC: 11562.9 Log Verossi.: -5773.44	R^2: 0.53 AIC: -10296.4 Log Verossi.: -5139.21	R^2: 0.38 AIC: 15172.5 Log Verossi.: -7577.24	R^2: 0.57 AIC: -13161.9 Log Verossi.: -6570.94
Ajuste ao modelo (+ 20%)		*Ajuste ao modelo (+ 20%)*		*Ajuste ao modelo (+ 19%)*	
		Trajetória Regeneração			
R^2: 0.22 AIC: 7394.7 Log Verossi.: -3690.35	R^2: 0.52 AIC: -6460.73 Log Verossi.: -3222.37	R^2: 0.35 AIC: 12323.9 Log Verossi.: -6154.97	R^2: 0.60 AIC: -10580.9 Log Verossi.: -5282.45	R^2: 0.41 AIC: 16550.7 Log Verossi.: -8267.37	R^2: 0.63 AIC: -13997.4 Log Verossi.: -6989.69
Ajuste ao modelo (+ 30%)		*Ajuste ao modelo (+25%)*		*Ajuste ao modelo (+22%)*	

Segundo ANSELIN (2015) quanto maior o valor do Log da Verossimilhança e menor de AIC mais adequado é o modelo. A partir desse critério, pode-se observar na tabela 5.2 acima, que os modelos de regressão espacial apresentaram desempenho melhor que os modelos de regressão linear, com valores maiores no coeficiente de determinação

(R^2)representando um aumento no ajuste dos dados aos modelos, bem como no Log da Verossimilhança e menor no critério AIC.

Analisando os modelos individualmente, para a variável dependente “Degrad 07”, no “Arco do Desmatamento”, por exemplo, o resultado indica que com a regressão linear o modelo apresentado pode explicar 25% dos dados de como os fatores determinantes estão relacionados espacialmente (R^2 = 0,25). Após a realização da regressão espacial “*spatial lag*” o modelo passou a explicar 53% dos dados (R^2 = 0,53), representando um aumento de 28% no ajuste dos dados. Quanto aos valores do AIC e Log da verossimilhança, houve uma redução de 7832.98 para -6919.45 e aumento de -3907.49 para -3450.72, respectivamente, nos modelos de regressão espacial em relação ao linear. Este comportamento de maior valor do R^2 e do Log da Verossimilhança, e menor valor do AIC, representando um melhor poder explicativo da ocorrência do processo, pode ser observado nos demais modelos de regressão espacial em relação ao linear, conforme apresentado na Tabela 5.2 acima.

Comparando as três partições no espaço, os modelos desenvolvidos para “Amazônia” apresentaram os maiores valores de R^2 nas quatro variáveis dependentes,enquanto, no “Arco do Desmatamento” apresentaram os menores valores, indicando que os modelos desenvolvidos para “Amazônia” representaram melhor desempenho em relação às demais partições.

Comparando as quatro variáveis dependentes, os modelos com avariável“Degrad07” que representa a degradação florestal sem considerar as mudanças na trajetória da degradação, apresentaram os maiores valores de R^2 nas três partições espaciais, representando melhor poder explicativo da ocorrência da degradação. Esses valores foram similares aos da variável “Trajetória Regeneração”, que representa áreas em processo de regeneração após apenas um evento de degradação.

Comparando as variáveis relacionadas às trajetórias, os modelos mostraram que a “Trajetória Regeneração” apresentou o melhor ajuste, com maiores valores de R^2, seguido pelos modelos de “Trajetória Corte Raso” que considera área degradada convertida em corte raso, e de “Trajetória Degradação” que consideram apenas as áreas que permanecem em processo de degradação no período de 2007 a 2012, tirando áreas convertidas em corte raso e em processo de regeneração.

5.5.2. Fatores determinantes nas três partições espaciais

O resultado da análise estatística para os doze modelos da regressão espacial nas três partições no espaço estão apresentados na tabela 5.3 a seguir. Para comparar os modelos foram apresentados os valores de R^2 e AIC utilizados como medidas de qualidade de ajuste ao modelo. Para comparar a importância relativa dos fatores determinantes (variáveis explicativas) foram apresentados os coeficientes de regressão (beta) e o nível de significância associado (probabilidade).

Tabela 5.3– Modelos de regressão espacial (spatial lag) dos fatores determinantes da degradação florestal nas três partições espacial.

	ARCO			CENTRAL / ARCO			AMAZONIA		
	R^2: 0.531165			**R^2: 0.619270**			**R^2: 0.653068**		
	Akaike (AIC): -6919.45			**Akaike (AIC): -11527.8**			**Akaike (AIC): -15383.8**		
	Variável	**Beta**	**Prob**	**Variável**	**Beta**	**Prob**	**Variável**	**Beta**	**Prob**
Degrad 07	W_Log_Degr07	0.67	0.00	W_Log_Degr07	0.70	0.00	W_Log_Degr07	0.70	0.00
	Log_ResMin	0.10	0.02	Log_PolosMad	-0.26	0.00	Log_PolosMad	-0.31	0.00
	Log_PolosMad	-0.29	0.00	Log_UrbPrin	0.13	0.00	Porc_FlorPublic	-0.19	0.00
	Porc_FlorPublic	-0.32	0.00	Porc_FlorPublic	-0.27	0.00	Conex_SPNE	-0.15	0.00
	Conex_SPNE	-0.21	0.00	Conex_SPNE	-0.15	0.00	Conex_Ports	0.39	0.00
	Log_Desm07	-0.03	0.00	Log_Desm07	-0.03	0.00	Log_Desm07	-0.02	0.00
	Log_EixTrans	0.01	0.00	Log_EixTrans	0.01	0.00	Log_EixTrans	0.01	0.00
							PorcAssent	0.17	0.00

	ARCO			CENTRAL / ARCO			AMAZONIA		
trajetória Degradação	**R^2: 0.456122**			**R^2: 0.525358**			**R^2: 0.544791**		
	Akaike (AIC): -6381.46			**Akaike (AIC): -9751.92**			**Akaike (AIC): -12189.7**		
	Variável	**Beta**	**Prob**	**Variável**	**Beta**	**Prob**	**Variável**	**Beta**	**Prob**
	W_Log_DegReg	0.64	0.00	W_Log_DegReg	0.67	0.00	W_Log_DegReg	0.67	0.00
	Log_ResMin	0.12	0.00	Log_ResMin	0.05	0.05	Log_PolosMad	-0.19	0.00
	Log_PolosMad	-0.24	0.00	Log_PolosMad	-0.16	0.00	Log_UrbPrin	0.09	0.01
	Conex_SPNE	-0.22	0.00	Log_UrbPrin	0.09	0.03	Porc_FlorPublic	-0.09	0.00
	Conex_Ports	0.38	0.00	Porc_FlorPublic	-0.16	0.00	Conex_SPNE	-0.10	0.00
	Log_Desm07	-0.03	0.00	Conex_SPNE	-0.10	0.00	Conex_Ports	0.30	0.00
	Log_ExTran	0.01	0.02	Conex_Ports	0.26	0.00	Log_RodPav	-0.05	0.01
				Log_Desm07	-0.02	0.00	Log_Desm07	-0.01	0.00
				Log_ExTran	0.01	0.00	Log_ExTran	0.01	0.00
trajetória Corte Raso	**R^2: 0.421424**			**R^2: 0.527719**			**R^2: 0.570874**		
	Akaike (AIC): -6372.06			**Akaike (AIC): -10296.4**			**Akaike (AIC): -13161.9**		
	Variável	**Beta**	**Prob**	**Variável**	**Beta**	**Prob**	**Variável**	**Beta**	**Prob**
	W_Log_CRaso	0.57	0.00	W_Log_CRaso	0.63	0.00	W_Log_CRaso	0.64	0.00
	Log_ResMin	0.09	0.02	Log_PolosMad	-0.23	0.00	Log_PolosMad	-0.27	0.00
	Log_PolosMad	-0.31	0.00	Log_UrbPrin	0.18	0.00	Log_UrbPrin	0.12	0.00
	Log_UrbPrin	0.13	0.02	Porc_FlorPublic	-0.23	0.00	Porc_FlorPublic	-0.16	0.00
	Porc_FlorPublic	-0.29	0.00	Conex_SPNE	-0.12	0.00	Conex_SPNE	-0.10	0.00
	Conex_SPNE	-0.15	0.02	Log_Desm07	-0.03	0.00	Conex_Ports	0.20	0.00
	Log_Desm07	-0.03	0.00	Log_ExTran	0.01	0.00	Log_Desm07	-0.02	0.00
	Log_ixTran	0.01	0.00	PorcAssent	0.13	0.01	Log_ExTran	0.01	0.00
	PorcAssent	0.31	0.00				PorcAssent	0.18	0.00
Trajetória Regeneração	**R^2: 0.518458**			**R^2: 0.598370**			**R^2: 0.627878**		
	Akaike(AIC): - 6460.73			**Akaike(AIC): - 10580.9**			**Akaike (AIC): -13997.4**		
	Variável	**Beta**	**Prob**	**Variável**	**Beta**	**Prob**	**Variável**	**Beta**	**Prob**
	W_Log_Regen	0.66	0.00	W_Log_Regen	0.69	0.00	W_Log_Regen	0.69	0.00
	Log_ResMin	0.11	0.01	Log_PolosMad	-0.24	0.00	Log_PolosMad	-0.29	0.00
	Log_PolosMad	-0.32	0.00	Log_DistUrbPrin	0.10	0.02	Porc_FlorPublic	-0.18	0.00
	Porc_FlorPublic	-0.30	0.00	Porc_FlorPublic	-0.26	0.00	Conex_SPNE	-0.12	0.00
	Conex_SPNE	-0.15	0.00	Conex_SPNE	-0.12	0.00	Conex_Ports	0.34	0.00
	Log_Desm07	-0.03	0.00	Log_Desm07	-0.02	0.00	Log_Desm07	-0.02	0.00
	Log_ExTran	0.01	0.00	Log_ExTran	0.01	0.00	Log_ExTran	0.01	0.00
							PorcAssent	0.14	0.00

Os modelos de regressão espacial incluem uma variável (coeficiente espacial auto regressivo) que e mede a extensão da auto correlação espacial no processo, em cada variável dependente (W_Log_Deg07, W_Log_DegReg, W_Log_CRaso, W_Log_Regen). O coeficiente espacial

foi significativo e maior que 0.63 em todos os modelos, exceto para a “trajetória Corte Raso” do modelo desenvolvido para o “Arco do desmatamento”, no qual o valor foi mais baixo (0.57) indicando um padrão espacial menos marcado.

Dentre os modelos de regressão espacial, os quatro desenvolvidos para a “Amazônia” conforme já abordado anteriormente, apresentaram o melhor poder explicativo da ocorrência do processo, de acordo com os indicadores R^2 e AIC (maior valor de R^2 e menor AIC). As variáveis preditoraspara estes modelos foram capazes de explicar melhor a ocorrência de cada processo (degradação, corte raso e regeneração),quando comparado com as demais partições, além disso, o coeficiente espacial autorregressivo foi significativo e maior (> 0,64)que os demais modelos das outras partições no espaço.

Desses quatro modelos desenvolvidos para a “Amazônia”, o resultado do modelo para a variável dependente “Degrad 07", mostrou que as variáveis explicativas foram polos madeireiros, floresta públicas, conexão a mercados e portos, desmatamento em 2007,eixo de transporte e assentamentos. Juntas essas variáveis foram capazes de explicar 65% da ocorrência da degradação na Amazônia (R^2 = 0.65). O coeficiente espacial auto regressivo (W_Log_Degr07) foi significativo(0.70) e maior em relação às demais variáveis dependentes, indicando um agrupamento mais forte nesse caso.

Entre as trajetórias na “Amazônia”, a variável dependente “Trajetória Regeneração” apresentou o melhor poder explicativo da ocorrência do processo, com o maior valor de R^2: 0.63 e menor AIC (-13997.4), enquanto a “Trajetória Degradação” apresentou o menor valor de R^2: 0.54 e maior de AIC (-12189.7), seguido pela “Trajetória Corte Raso” (R^2: 0.57, AIC: -13161.9). Quanto ao coeficiente espacial auto regressivo, o da “Trajetória Regeneração” também obteve o maior valor (W_Log_Regen: 0.69), indicando um padrão espacial mais marcado em relação as demais trajetórias.

Em geral, quatro variáveis explicativas do processo de degradação, foram apresentadas nos 12 modelos. Essas variáveis, como também as demais identificadas como determinantes no processo serão apresentadas para cada variável dependente nas três partições espaciais, na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Fatores determinantes de cada variável dependente nas três partições espacial

Variáveis Dependentes	***Partição Espacial***	**Log_PolosMad**	**Log_Desm07**	**Log_ExTran**	**Conex_SPNE**	**Porc_ArProt**	**Conex_Ports**	**Log_DistUrbPrin**	**Log_ResMin**	**PorcAssent**	**Log_RodPav**
Degrad07	**Arco**	x	x	x	x	x			x		
	Central/Arco	x	x	x	x	x		x			
	Amazônia	x	x	x	x	x	x			x	
Trajetória Degradação	**Arco**	x	x	x	x		x		x		
	Central/Arco	x	x	x	x	x	x	x	x		
	Amazônia	x	x	x	x	x	x	x			x
Trajetória Corte Raso	**Arco**	x	x	x	x	x		x	x	x	
	Central/Arco	x	x	x	x	x		x			
	Amazônia	x	x	x	x	x	x	x		x	
Trajetória Regeneração	**Arco**	x	x	x	x	x			x		
	Central/Arco	x	x	x	x	x		x			
	Amazônia	x	x	x	x	x	x			x	

O resultados dos modelos mostraram que os fatores determinantes em comum nos 12 modelos foram distância mínima a pólos madeireiros (Log_PolosMad), ao desmatamento em 2007 (Log_Desm07), e aos eixos de transporte (Log_ExTran), e a conexão a mercados nacionais (Conex_SPNE). Além destas, a variável porcentagem de áreas protegidas (Por_ArProt) que não foi identificada apenas pela “Trajetória Degradação” no “Arco do desmatamento”.

Em geral, esses fatores determinantes apontam que o desenvolvimento de pólos madeireiros e a conexão a mercados nacionais servem de incentivo à degradação florestal, assim como a distância a

desmatamentoe ao eixo de transporte, porém com grau de significância menor. A criação de áreas protegidas serve de instrumentos importantes para restringir o processo de degradação, no entanto, sua eficácia depende de uma clara demarcação dos limites no qual as áreas protegidas são criadas, e de medidas de monitoramento e controle mais adequadas, uma vez que áreas degradadas foram identificadas dentro dessas áreas, conforme apresentado e discutido no item 3.3 (Capítulo 3).

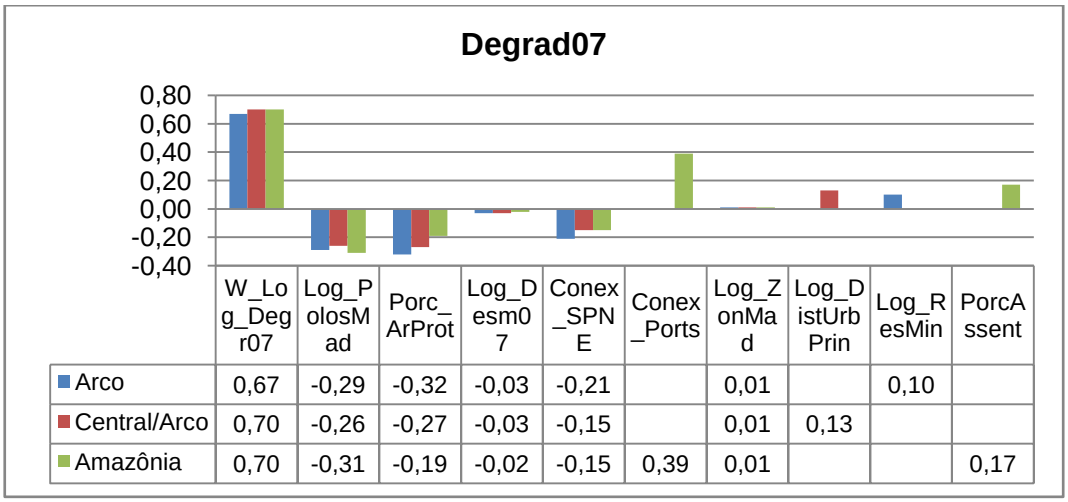
A relação das variáveis explicativas com essas variáveis dependentes eas demais distintas em cada modelo, como a conexão a portos (Conex_Ports), a distância mínima a principais centros urbanos (Log_DistUrbPrin), a reservas minerais (Log_ResMin), a rodovias pavimentadas (Log_RodPav) e proximidade a assentamentos (PorAssent)serão apresentadas na próxima seção.

5.5.3. Relação entre a variável dependente e as variáveis explicativas

A relação entre a variável dependente e as variáveis explicativas é estabelecida pelo valor obtido para os coeficientes dos modelos de regressão (beta), apresentados nas figuras abaixo, que ilustram graficamente os principais fatores determinantes de cada variável dependente, nas três partições espaciais.

A figura 5.20 apresenta as variáveis explicativas para a degradação florestal ocorrida em 2007, enquanto as figuras 5.21, 5.22 e 5.23 apresentam as variáveis quando se considera mudanças ocorridas no processo de degradação (trajetórias) durante o período de 2007 a 2012. Os valores apresentados são os coeficientes (beta) significativos da variável e onde está em branco indica que a variável não foi significativa naquela partição espacial, porém significativa em outra. As barras acima da linha de base indicam relação positiva com a degradação, enquanto que o oposto indica relacionamento negativo. A dimensão das barras, por sua vez representa a significância das variáveis explicativas com a variável dependente.

Para a variável dependente "Degrad07"que consiste na degradação florestal sem considerar mudanças no processo (trajetórias)o coeficiente espacial auto regressivo foi significativo e maior que 0.67 em todos os modelos, indicando um padrão espacial mais marcado em relação às trajetórias. Esta é uma evidência quantitativa que indica que a degradação tende a ocorrer perto de outras áreas em degradação, assim como apresentado por AGUIAR (2007), porém para o processo do desmatamento na Amazônia Brasileira.



	W_Log_Degr07	Log_PolosMad	Porc_ArProt	Log_Desm07	Conex_SPNE	Conex_Ports	Log_ZonMad	Log_DistUrbPrin	Log_ResMin	PorcAssent
Arco	0,67	-0,29	-0,32	-0,03	-0,21		0,01		0,10	
Central/Arco	0,70	-0,26	-0,27	-0,03	-0,15		0,01	0,13		
Amazônia	0,70	-0,31	-0,19	-0,02	-0,15	0,39	0,01			0,17

Figura 5.20 – Comparação gráfica dos fatores determinantes da degradação em 2007 nas três partições espaciais.

Os resultados das análises estatísticas indicaram que as variáveis relacionadas a pólos madeireiros, áreas protegidas e conexão a mercados apresentaram maior influência nos modelos. A relação dessas variáveis com a degradação nas três partições espaciais mostra que elas têm forte controle no padrão da degradação. No entanto, a variável conexão a portos é a que possui maior importância relativa (0.39) na "Amazônia",destacando o padrão diferenciado quando se considera a região noroeste da Amazônia Legal, que ainda se mostra dependente do transporte hidroviário.

As áreas protegidas representam o principal fator estatisticamente significativo no impedimento da degradação. Os resultados indicam

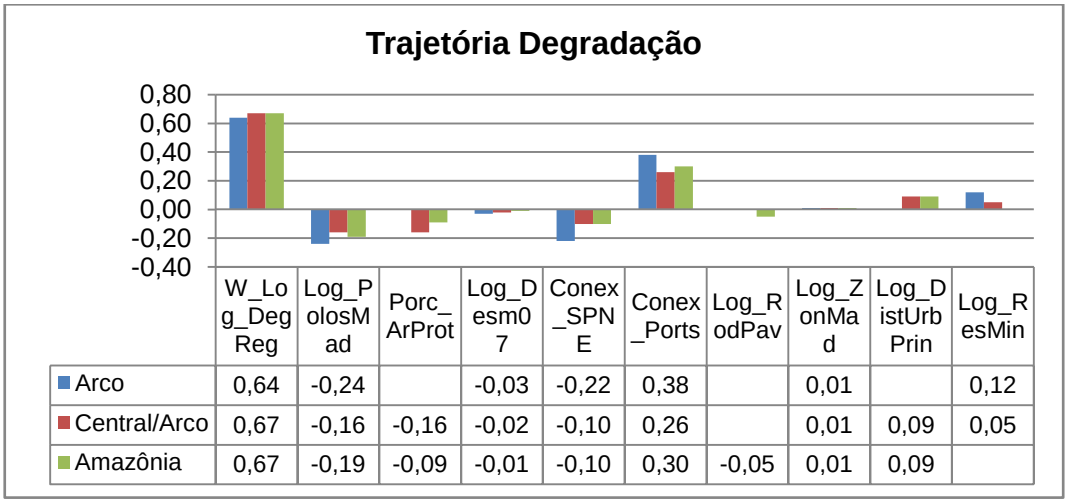
quantitativamente que mesmo apresentando áreas degradadas, conforme apresentado no item 2.3 do Capítulo 2, as áreas protegidas podem ser instrumentos importantes para evitar a degradação, principalmente em áreas de alta pressão, como no “Arco do desmatamento” que apresentou o maior coeficiente (-0.32).

As variáveis relacionadas à proximidade ao desmatamento e a eixos de transporte também foram identificadas nas três partições espaciais, porém demonstraram baixa influência no processo de degradação, com coeficientes de - 0.03 e 0.01, respectivamente.

Dentre as variáveis distintas nas partições espaciais, com média influência no padrão de degradação, tem-se distância a principais centros urbanos na “Central/Arco” e a reserva mineral no “Arco do Desmatamento”ressaltando a importância do extrativismo mineral na região, em especial nos estados de Rondônia e Pará (Figura 5.9). Enquanto a variável relacionada a assentamentos aparece com boa influência (0.17) na partição “Amazônia”, indicando que projetos de assentamentos são significativos para explicar os padrões de degradação.

A degradação florestal quando analisada por um determinado período de tempo, pode apresentar diferentes resultados, uma vez que essas áreas apresentam mudanças nas trajetórias, conforme discutido no Capítulo 4,onde foram identificadas três principais trajetórias no período de 2007 a 2012, representando áreas em processo de degradação, convertidas em corte raso (desmatamento) e em regeneração.

A variável dependente “Trajetória da Degradação” representa 31% (4.961 km²) da área degradada no ano base (15.983 km²) das análises (ver tabela 4.3). Esta variável considera áreas em processos de degradação no período de seis anos, eliminando as áreas convertidas em corte raso e em processo de regeneração.



	W_Log_DegReg	Log_PolosMad	Porc_ArProt	Log_Desm07	Conex_SPNE	Conex_Ports	Log_RodPav	Log_ZonMad	Log_DistUrbPrin	Log_ResMin
Arco	0,64	-0,24		-0,03	-0,22	0,38		0,01		0,12
Central/Arco	0,67	-0,16	-0,16	-0,02	-0,10	0,26		0,01	0,09	0,05
Amazônia	0,67	-0,19	-0,09	-0,01	-0,10	0,30	-0,05	0,01	0,09	

Figura 5.21 – Comparação gráfica dos fatores determinantes da trajetória degradação nas três partições espaciais.

Os resultados das análises indicaram que o coeficiente espacial autoregressivo foi significativo e similar para “Amazônia” e “Central/Arco” (0.67) e menor para “Arco” (0.64) indicando um padrão espacial menos marcado em relação às demais partições.

Os padrões espaciais fortemente concentrados em áreas que apresentam degradação ao longo do tempo, igualmente identificados nas três partições espaciais, estão relacionados à distância a pólos madeireiros, a desmatamento em 2007,a eixo de transporte e conexão a mercados e portos. Além dessas,proximidade a florestas públicas e aos principais centros urbanos nas partições “Central/Arco” e “Amazônia”, distância a reservas minerais no “Arco do Desmatamento” e “Central/Arco”, e distância a rodovias pavimentadas na “Amazônia”.

As variáveis relacionadas à conexão a portos e pólos madeireiros têm maior influência nos modelos, indicando que a relação dessas variáveis com a degradação tem forte controle no padrão da degradação, sendo maior no “Arco”, seguido pela “Amazônia” e “Central/Arco”. A variável conexão a portos possui maior importância relativa, sendo o segundo fator mais importante nas três partições, após o coeficiente de dependência espacial. Esse resultadoindicaque em algumas regiões o

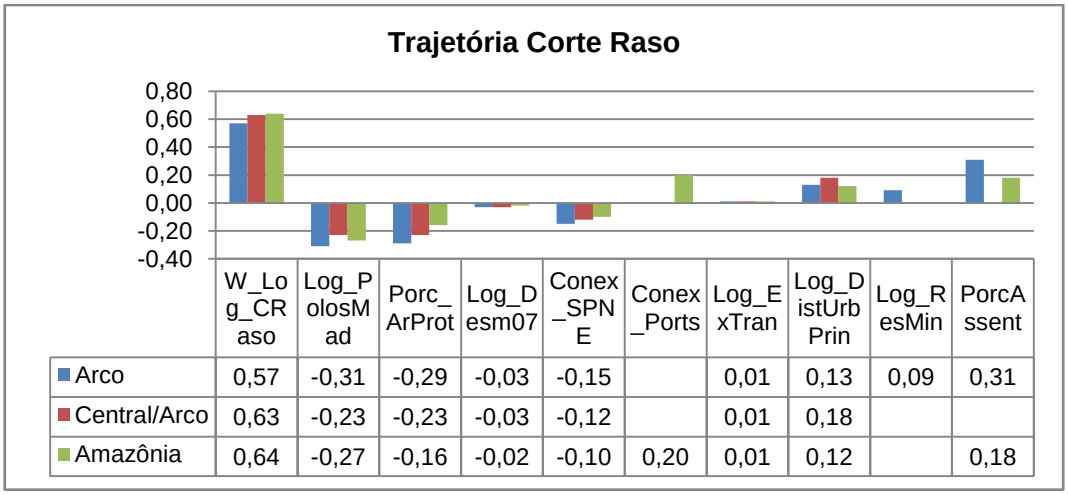
transporte de toras pelos rios ainda é uma prática comum e principalconexão na região.

Outra variável importante nas três partições foi“conexão a mercados” que afeta de forma diferente nas três partições eaponta para um processo de ocupação que utiliza rodovias como conexão. No “Arco do desmatamento”com maior significância, esta variável apresentao quarto fator mais importante, precedendo distância a reservas minerais, desmatamento e eixo de transporte.

As áreas protegidas tornou-se o terceiro fator mais importante (- 0.16), igualmente aos pólos madeireiros na região “Central/Arco”, precedendo a variável conexão a mercado e distancia a principais centros urbanos. Na “Amazônia” o relacionamento estatístico entre o padrão da degradação e as áreas protegida, não foi tão significativa (-0.09), por ainda existirem muitas áreas de floresta na região Ocidental da Amazônia.

A variável distancia a principais centros urbanos, utilizada como um indicador de população foi tão importante quanto à conexão a mercados para a região “Central/Arco” e “Amazônia”. Esses resultados reforçam a necessidade de compreender a relação entre o processo de degradação e o crescimento populacional na região. No entanto, essa variável não foi fator determinante no “Arco do Desmatamento”, o que seria esperado em função do processo de ocupação mais acentuado da região.

A variável dependente “Trajetória Corte Raso” representa 21% (3.328 km²) da área degradada no ano base das análises (ver tabela 4.3). Esta variável considera áreas degradadas que foram convertidas em corte raso em algum período da análise, eliminando áreas em constate degradação e em processo de regeneração.



	W_Log_CRaso	Log_PolosMad	Porc_ArProt	Log_Desm07	Conex_SPNE	Conex_Ports	Log_ExTran	Log_DistUrbPrin	Log_ResMin	PorcAssent
Arco	0,57	-0,31	-0,29	-0,03	-0,15		0,01	0,13	0,09	0,31
Central/Arco	0,63	-0,23	-0,23	-0,03	-0,12		0,01	0,18		
Amazônia	0,64	-0,27	-0,16	-0,02	-0,10	0,20	0,01	0,12		0,18

Figura 5.22 – Comparação gráfica dos fatores determinantes da trajetória corte raso nas três partições espaciais.

Os valores dos coeficientes espaciais autoregressivo foram significativo, porém menores em relação às demaisvariáveis dependentes. A baixa dependência espacial é um indicador de que as áreas degradadas convertidas em corte raso não se espalham para as células vizinhas no mesmo ritmo do que as áreas degradadas que permanecem em processo de degradação ou em regeneração.

Os padrões espaciais concentrados em áreas degradadas convertidas em corte raso, igualmente identificados nas três partições espaciais, estão relacionados à distância a pólos madeireiros, a desmatamento em 2007, a eixo de transporte e a principais centros urbanos, proximidade a áreas protegidas e conexão a mercados nacionais. Além dessas, tem-se porcentagem de assentamentos no “Arco do desmatamento” e na “Amazônia”, e de diferencial, conexão a portos na “Amazônia” e distancia a reservas minerais no “Arco do desmatamento”.

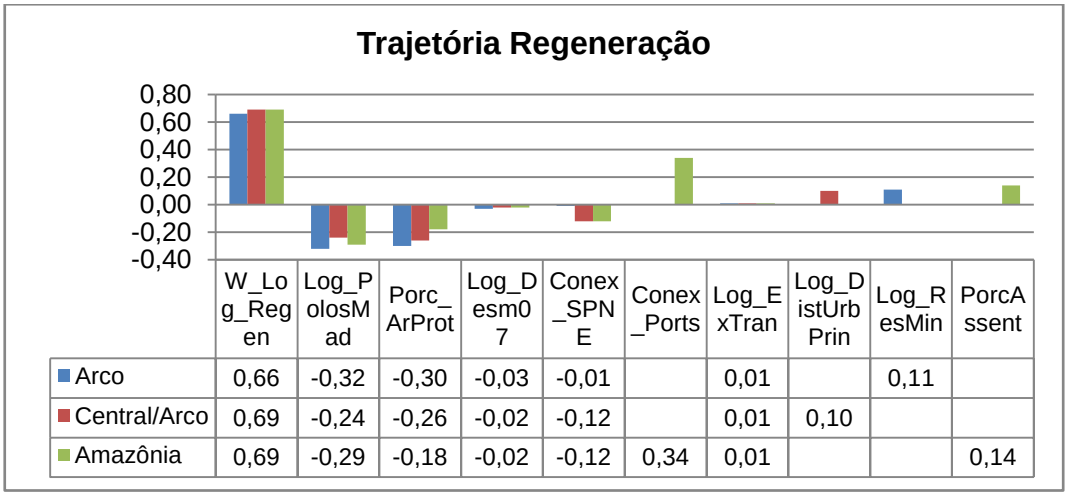
No “Arco do desmatamento” o segundo fator mais importante, após o coeficiente espacial foram à porcentagem de assentamentos e a pólos madeireiros. Áreas protegidas foi o terceiro fator mais importante (-0.29), precedendo conexão a mercados, principais centros urbanos, reservas minerais, desmatamento e zonas madeireiras.

Na partição “Central/Arco” o segundo fator mais importante, foram proximidade a pólos madeireiros e áreas protegidas, com mesmo valor de significância (-0.23). Neste caso principais centros urbanos apresentou um valor de significância (0.18) maior que conexão a mercados (0.12), precedendo desmatamento e zonas madeireiras com valores mais baixos.

Na “Amazônia” proximidade a pólos madeireiros (-0.27) foi o segundo fator mais importante, enquanto conexão a portos identificados somente nessa partição espacial foi o terceiro (0.20) destacando o padrão de ocupação diferenciado, quando se considera a região da Amazônia Ocidental, que ainda se mostra dependente do transporte hidroviário.Assentamentos foram o quarto fator mais importante (0.18), precedendo áreas protegidas, principais centros urbanos, conexão a mercados, desmatamentoe zonas madeireiras.

Entre as variáveis preditoras mais significativas, a variável área protegida e conexão a mercados, por exemplo, apresentaram valor de significância maior no “Arco do desmatamento”, seguido pela partição “Central/Arco” e “Amazônia”. Estes resultados indicam quantitativamente que áreas protegidas podem ser instrumentos importantes para evitar a degradação, principalmente em áreas de alta pressão, como no “Arco do desmatamento”, que apresentou o maior valor de significância (0.29) entre as partições. Além disso, que a concentração dos padrões emáreas convertidas em corte raso está relacionada à alta conectividade as regiões mais desenvolvidas do Brasil (conexão a mercados) principalmente quando se considera somente a região do “Arco do desmatamento” que apresentou valor de significância maior.

A variável dependente “Trajetória Regeneração” representa a maior proporção (48% - 7.694 km²) da área degradada no ano base das análises (ver tabela 3.3). Esta variável considera área com apenas um evento de degradação sendo abandonada e emprocesso de regeneração até o final das análises, eliminando áreas em constate pressão de degradação e convertidas em corte raso.



	W_Log_Regen	Log_PolosMad	Porc_ArProt	Log_Desm07	Conex_SPNE	Conex_Ports	Log_ExTran	Log_DistUrbPrin	Log_ResMin	PorcAssent
Arco	0,66	-0,32	-0,30	-0,03	-0,01		0,01		0,11	
Central/Arco	0,69	-0,24	-0,26	-0,02	-0,12		0,01	0,10		
Amazônia	0,69	-0,29	-0,18	-0,02	-0,12	0,34	0,01			0,14

Figura 5.23 – Comparação gráfica dos fatores da trajetória regeneração nas três partições espaciais.

Os resultados das análises indicaram que os valores do coeficiente espacial autoregressivo foram significativos nas três partições espaciais, com padrão espacial mais marcado na “Amazônia” e “Central/Arco” (0.69) e menos no “Arco do Desmatamento” (0.66).

Os padrões espaciais fortemente concentrados em áreas em processo de regeneração florestal,identificados nas três partições espaciais, estão relacionados à distância a pólos madeireiros, desmatamento em 2007, eixo de transporte,proporção de áreas protegidas e conexão a mercados nacionais.

No “Arco do desmatamento” o diferencial foi a variável reserva mineral representando o quinto fator mais importante. Após o coeficiente espacial, o segundo fator mais importante foi pólo madeireiro (-0.32), seguido por floresta pública (-0.30), conexão a mercados (-0.15), reservas minerais (0.11), desmatamento (-0.03) e zonas madeireiras (0.01).

Na partição“Central/Arco” o diferencial foi a variável proximidade a principais centros urbanos. Para esta região,o segundo fator mais importante foi floresta pública (-0.26), precedendo pólos madeireiros (-

0.24), conexão a mercados (0.12), principais centros urbanos (0.10), desmatamento (-0.02) e zonas madeireiras (0.01).

Na “Amazônia” a variável conexão a portos e assentamentos também foram consideradas como fatores determinantes do processo. A variável conexão a portos (0.34) apresentou o segundo maior fator importante, após o coeficiente espacial, seguido por pólos madeireiros (-0.29), floresta publica e principais centros urbanos (-0.18), assentamentos (0.14), conexão a mercados (-0.12), desmatamento (-0.02) e zonas madeireiras (0.01).

Com base nos resultados dos doze modelos, pode-se observar que os fatores determinantes da degradação têm intensidades desiguais entre as partições e as variáveis dependentes (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 – Coeficientes de regressão (beta) dos fatores determinantes da degradação florestal, nas diferentes partições no espaço para as quatro variáveis dependentes.

PARTIÇÃO ESPACIAL	VARIÁVEIS DEPENDENTES	Log_PolosMad	Porc_FlorPublic	Log_Desm07	Conex_SPNE	Conex_Ports	Log_ZonMad	Log_DstUrbPrin	Log_ResMin	PorcAssent
ARCO	**Degrad07**	-0.29	-0.32	-0.03	-0.21		0.01		0.10	
	T.Degrad	-0.24		-0.03	-0.22	0.38		0.01		0.12
	T. Craso	-0.31	-0.29	-0.03	-0.15		0.01	0.13	0.09	0.31
	T.Regene	-0.32	-0.30	-0.03	-0.01		0.01		0.11	
CENTRAL / ARCO	**Degrad07**	-0.26	-0.27	-0.03	-0.15		0.01	0.13		
	T.Degrad	-0.16	-0.16	-0.02	-0.10	0.26		0.01	0.09	0.05
	T. Craso	-0.23	-0.23	-0.03	-0.12		0.01	0.18		
	T.Regene	-0.24	-0.26	-0.02	-0.12		0.01	0.10		
AMAZÔNIA	**Degrad07**	-0.31	-0.19	-0.02	-0.15	0.39	0.01			0.17
	T.Degrad	-0.19	-0.09	-0.01	-0.10	0.30	-0.05	0.01	0.09	
	T. Craso	-0.27	-0.16	-0.02	-0.10	0.20	0.01	0.12		0.18
	T.Regene	-0.29	-0.18	-0.02	-0.12	0.34	0.01			0.14

5.5.4. Análise dos Modelos de Regressão Espacial para o estado do Mato Grosso

A constatação de que a degradação florestal na Amazônia Legal é desigual entre os estados, conforme apresentado no Capítulo 2, e com base nos resultados dos modelos anteriores, que indicaram que a importância relativa e significância dos fatores determinantes da degradação variam quando se considera diferentes partições espaciais na Amazôniagera alguns pontos que necessitam serem melhores explorados, como por exemplo, determinar quais são os fatores determinantes mais atuantes a explicar a degradação em cada estado.

Buscando explorar isso, uma analise estatística estadual foi realizada para o estado do Mato Grosso, que apresentou a maior concentração de área degradada, na Amazônia Brasileira(8.922 km²)no ano base (2007) das análises, segundo os dados do DEGRAD (Tabela 3.1), considerando somente as variáveis dependentes das trajetórias.

As análises estatísticas para os modelos de regressão do Mato Grosso, considerou o mesmo banco de dados e a mesma metodologia aplicada para as partições espaciais, porém para eliminar as variáveis altamente correlacionadas, considerou correlação acima de 60% entre as variáveis, uma vez que 70% não apresentou correlação entre nenhuma variável exploratória (Apêndice A).

A figura 5.24, ilustra o padrão espacial para as três variáveis dependentes no Mato Grosso (Trajetória Degradação, Trajetória Corte Raso e Trajetória Regeneração), com suas respectivas áreas (km²) e porcentagem calculada (tabela 4.3) em relação à área de cada trajetória na Amazônia Legal.

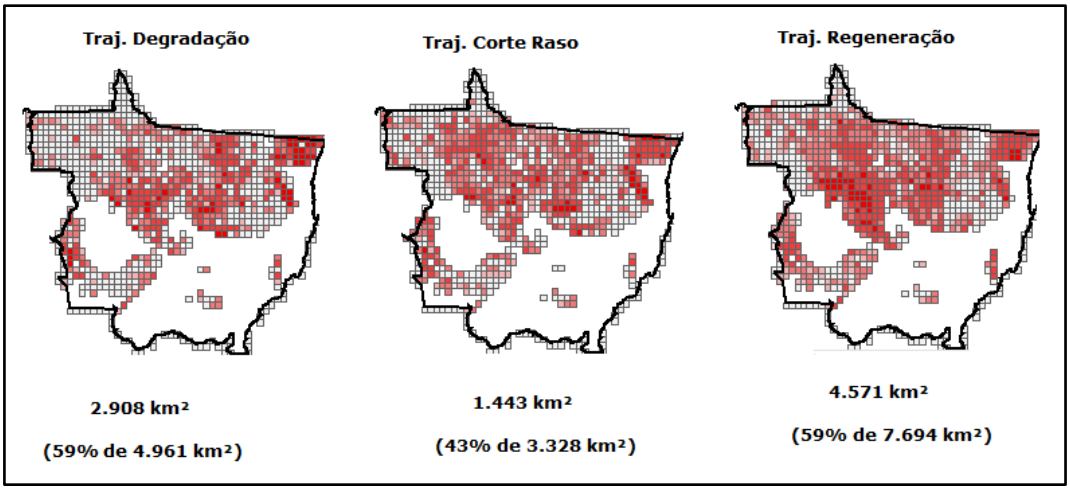


Figura 5.24 – Padrão espacial das variáveis dependentes no Mato Grosso

A tabela 5.6 apresenta o resultado da análise estatística dos três modelos desenvolvidos para o "Mato Grosso" paraas três variáveis dependentes relacionadas às trajetórias do processo de degradação. Da mesma forma, os valores de R^2 e critério Akaike foram utilizados como medidas de qualidade para comparar os modelos e os coeficientes de regressão (beta) e o nível de significância associado (probabilidade) para verificar a importância relativa dos fatores determinantes.

Tabela 5.6– Modelos de regressão espacial (spatiallag) dos fatores determinantes relacionados ao processo de degradação florestal no Mato Grosso.

Trajetória Degradação			**Trajetória Corte Raso**			**Trajetória Regeneração**		
R^2: 0.39			**R^2: 0.40**			**R^2: 0.55**		
Akaike: - 2797.08			**Akaike: - 2602.3**			**Akaike: - 2508.72**		
Variável	**Beta**	**Prob**	**Variável**	**Beta**	**Prob**	**Variável**	**Beta**	**Prob**
W_Log_DegReg	0.30	0.00	W_Log_CRaso	0.40	0.00	W_Log_Regen	0.54	0.00
Log_PolosMad	-0.36	0.00	Log_ResMin	0.25	0.00	Log_ResMin	0.26	0.00
Por_AltFert	0.40	0.00	Log_PolosMad	-0.54	0.00	Log_PolosMad	-0.74	0.00
Conex_SPNE	-0.53	0.00	Porc_ArProt	-0.31	0.00	Por_AltFert	0.40	0.00
Log_Desm07	-0.04	0.00	Log_Desm07	-0.04	0.00	Porc_ArProt	-0.44	0.00
			PorcAssent	0.60	0.00	Log_Desm07	-0.03	0.00
						Log_ZonMad	0.03	0.00

Entre esses modelos, o desenvolvido para a “Trajetória Regeneração” apresentou o melhor ajuste, com maior valor de R^2 (0.55) e menor AIC (2508.72), além disso, apresentou o maior coeficiente espacial auto regressivo (W_Log_Regen: 0,54)indicando um padrão espacial mais marcado entre os modelos.As variáveis dependentes “Trajetórias Degradação” e “Corte Raso” apresentaram valores de R^2 similares, porém não apresentaram alto poder explicativo (R^2: 0.39 e R^2: 0.40).

Quanto à dependência espacial esses três modelos apresentaram valores médios de coeficiente espacial evidenciando quantitativamente que a degradação nem sempre tende a ocorrer perto de outras áreas degradadas. O modelo desenvolvido para a “Trajetória degradação”, apresentou o menor valor (W_Log_DegReg: 0.30), representando um indicador de que as áreas degradadas não se espalham para as células vizinhas no mesmo ritmo do que as áreas convertidas em corte raso e em regeneração.

Os fatores determinantes da degradação no estado do Mato Grosso, para as três variáveis dependentes estão apresentados na tabela 5.7, e ilustrados graficamente na figura 5.25 a seguir.

Tabela 5.7– Fatores determinantes para cada variável dependente no Mato Grosso.

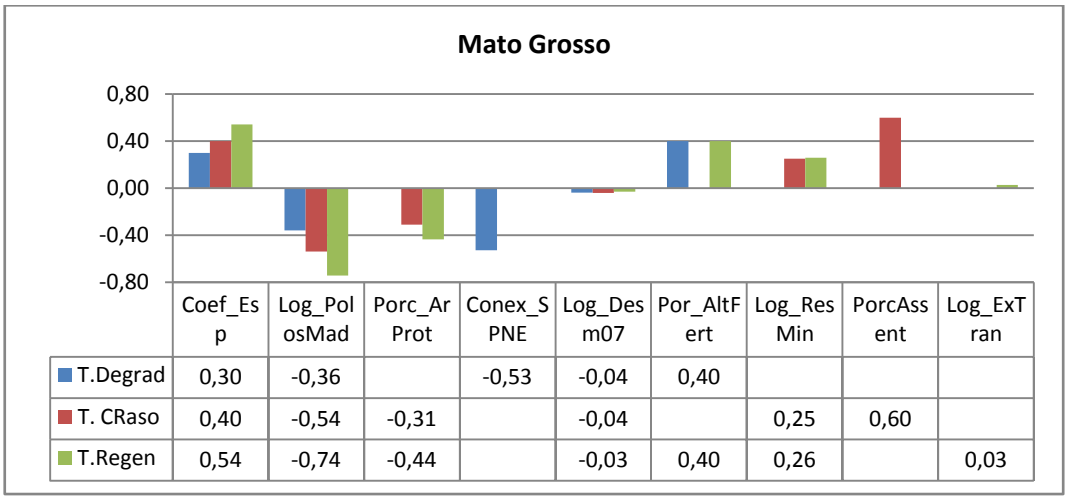
Variável dependente	Log_PolosMad	Log_Desm07	Conex_SPNE	Log_ExTran	Porc_ArProt	Log_ResMin	PorcAssent	Por_AltFert
Trajetória Degradação	x	x	x					x
Trajetória Corte Raso	x	x			x	x	x	
Trajetória Regeneração	x	x		x	x	x		x

Para o Mato Grosso, as variáveis pólos madeireiros e desmatamento em 2007 foram identificada como variável explicativa em comum nos quatro

modelos, indicando que o desenvolvimento de pólos madeireiros e o desmatamento têmimportantesinfluencia sobre a degradação florestal no estado, porém com grau de significância diferente entre elas.

O diferencial desses modelos foi à presença da variável explicativa relacionada a “solos com alta fertilidade”(Por_AltFert) (figura 5.16), que não foi selecionada como variável significativa em nenhum dos doze modelos nas três partições espaciais, bem como a ausência das variáveis “conexão a portos” e “principais centros urbanos”significativas para alguns modelos das partições.

Entre as variáveis dependentes observa-se uma diferença entre os fatores determinantes da degradação no estado do Mato Grosso, assim como na importância relativa de cada uma delas (Figura 5.25).



	Coef_Esp	Log_PolosMad	Porc_ArProt	Conex_SPNE	Log_Desm07	Por_AltFert	Log_ResMin	PorcAssent	Log_ExTran
T.Degrad	0,30	-0,36		-0,53	-0,04	0,40			
T. CRaso	0,40	-0,54	-0,31		-0,04		0,25	0,60	
T.Regen	0,54	-0,74	-0,44		-0,03	0,40	0,26		0,03

Figura 5.25 – Comparação gráfica dos principais fatores determinantes da degradação no Mato Grosso.

Os padrões espaciais fortemente concentrados em áreas onde o processo de degradação foi constante ao longo dos seis anos analisados (“Trajetória Degradação”) estão relacionados de forma mais significativa à conexão a mercados (-0.53), solos de alta fertilidade (0.40), distância a polos madeireiros (-0.36) e desmatamento (-0.04).

Em áreas degradadas convertidas em corte raso (“Trajetória Corte Raso”) os padrões espaciais fortemente concentrados estão relacionados à porcentagem de assentamentos (0.60),proximidade a pólos madeireiros(-0.54), áreas protegidas (-0.31), reservas minerais (0.25) e desmatamento (-0.04). Uma importante observação neste caso, é que a presença de solos férteis identificados nas demais trajetórias não tem influência nessas áreas convertidas em corte raso, enquanto a porcentagem de assentamentos tem grande influencia somente nessa trajetória.

Em áreas degradadas e abandonadas em processo de regeneração (“Trajetória Regeneração”) os padrões espaciais fortemente concentrados estão relacionados a pólos madeireiros (-0.74), porcentagem de áreas protegidas (-0.44), solos de alta fertilidade (0.40), distância a reservas minerais (0.26), desmatamento (-0.03) e zonas madeireiras (0.03).

De maneira geral, os resultados dos três modelos entre as diferentes trajetórias permitem identificar os fatores determinantes atuantes que tornam a degradação florestal desigual no estado do Mato Grosso.Porém outros fatores devem ser analisados, visto que oestado é um dos mais importantes produtores agropecuário no contexto nacional, e com isso, variáveis relacionadas a atividades agrícolas e pecuárias relevantes para explicar o desmatamento neste estado (PRATES, 2008), podem também representar fator atuante para explicar a degradação florestal.

5.6. Conclusão

Foi desenvolvida análise estatística, considerando três partições no espaço, buscando identificar os fatores determinantes que mais influenciam o processo de degradação florestal na Amazônia em 2007 e no período de 2007 a 2012, além disso,verificar a segunda hipótese dessa tese, *de que os potenciais fatores determinantes do processo são desiguais entre diferentes partições no espaço*.

Em geral, considerando todas as partições no espaço, constatou-seque o processo de degradação está relacionado à distância a polos madeireiros, principais eixos de transporte madeireiro e desmatamento, reforçados pela alta conectividade a mercados nacionais. Outra variável importante foi áreas protegidas que representaram o principal fator estatisticamente significativo no impedimento do processo da degradação florestal.

Entre as partições, o diferencial entre os fatores determinantes da degradação identificados, foi à proximidade a “reservas minerais” principalmente no “Arco do desmatamento” ressaltando a importância do extrativismo mineral nessa região;a “distância a principais centros urbanos” na “Amazônia Central/Arco” ressaltando a influência da população na região, e a “conexão a portos” e “assentamentos” na “Amazônia”, indicando a dependência do transporte hidroviário na Amazônia Ocidental e a importância dos projetos de assentamentos nessa região.

Desse modo, pode-se contatar que o processo de degradação apresentou fatores determinantes em comum em diferentes partições espaciais, porém quando cada partição é analisada separadamente, outros fatores determinantes que influenciam no processo de degradação são identificados, devido ao fato de que os fatores atuam de forma diferente em cada região. Essas diferenças se devem a fatores de ordem política, econômica, social e histórica de cada região.

Na analise estadual, constatou-se que os fatores determinantes da degradação florestal no estado do Mato Grosso, são bem desiguais entre as trajetórias, assim como nas diferentes partições no espaço das análises anteriores, indicando que a degradação na Amazônia ocorre de forma diferente em diferentes localidades, em função das causas do processo também distribuídas no espaço de forma desigual.

6 CONCLUSÃO GERAL

A presente tese analisou a degradação florestal na Amazônia Brasileira, buscando compreender o processo na região no período de 2007 a 2012, bem como identificar os potenciais fatores determinantes que mais influenciam o processo. O capítulo três apresentou análise dos dados do Sistema de Monitoramento da Degradação Florestal na Amazônia (DEGRAD). O capítulo quatro identificou as possíveis trajetórias da degradação florestal na região e o capítulo cinco avaliou, por meio do modelo de regressão linear e espacial, os fatores determinantes que mais influenciam o processo de degradação florestal na Amazônia.

Na analise da degradação florestal na Amazônia Brasileira realizada no capítulo três, foi possível concluir que o processo vem ocorrendo de forma acentuada apesar da redução significativa nas taxas de desmatamento na ultima década. Porém, ao contrário do desmatamento, os efeitos da degradação são mais difícil de ser detectados, podem ocorrer em longo prazo e de forma mais lenta. Com isso, o monitoramento e a conservação da floresta na Amazônia requer ações efetivas que combatam tanto o desmatamento quanto a degradação florestal.

Os dados levantados mostraram que o processo é bastante desigual entre os estados e está concentrada em uma porção limitada e especifica da Amazônia, entre os estados do Mato Grosso, Pará e Maranhão. Além disso foi possível verificar a ocorrência de áreas degradadas em Áreas Protegidas (unidades de conservação, terras indígenas, áreas militares) e Assentamentos e com isso, constatar a necessidade de ações estratégicas e ágeis de monitoramento e fiscalização nessas regiões.

Diante destas constatações, foi possível identificar a necessidade no aperfeiçoamento do sistema de monitoramento DEGRAD, procurando fazer uma distinção entre degradação natural e antrópica, e florestas queimadas, submetidas à extração ilegal de madeira ou sob manejo

florestal sustentável, para melhor interpretar os dados e entender o processo de degradação florestal na Amazônia.

No capítulo quatro, foi desenvolvido, por meio do cruzamento dos dados dos Sistemas DEGRAD e PRODES, analise multitemporal de áreas degradadas da Amazônia entre 2007 e 2012. Com base no método proposto foi possível distinguir sessenta e três trajetórias nas áreas degradadas da região, e com isso classificar três principais trajetórias: a) “degradação” em áreas que continuam sofrendo distúrbios perturbações na área, b) “corte raso” em áreas degradadas, porém convertidas em corte raso em algum período da analise, e c) “regeneração” em áreas que sofreram apenas um evento de degradação e foi abandonada, permanecendo assim até o final da análise, iniciando um processo de regeneração florestal.

Constatou-se que grande parte da área degradada na Amazônia foi abandonada (48%) no ano seguinte à degradação, permanecendo em processo de regeneração florestal até o final das análises, enquanto pequena parte da área degradada foi convertida em corte raso (21%), e o restante permaneceu em constante processo de degradação (31%) durante todo o período analisado.

Além disso, foi possível identificar o tempo de permanência entre episódios de degradação, de processo de regeneração e conversão da área em corte raso. Com isso, foi possível verificar que as áreas convertidas em corte raso, mesmo representando a menor proporção em relação às outras trajetórias, aumentaram ao longo do tempo, assim como as áreas em constante processo de degradação. Porém as áreas abandonadas, permanecendo em processo de regeneração florestal reduziram durante o período analisado, uma vez que passaram a ser convertidas em corte raso ou degradadas novamente.

No capítulo cinco, foi desenvolvida análise estatística em diferentes partições no espaço, para identificar os fatores determinantes que mais

influenciam o processo de degradação florestal na Amazônia em 2007 e no período de 2007 a 2012 representado pelas trajetórias da degradação identificados no capítulo anterior. Contatou-se que a importância relativa e os fatores determinantes que influenciam a degradação florestal na Amazônia variam entre as diferentes partições espaciais e entre as trajetórias. Em geral, considerando todas as partições, constatou-se que o processo de degradação está relacionado à distância a polos madeireiros, eixos de transporte e desmatamento, reforçados pela alta conectividade a mercados nacionais. As áreas protegidas representaram o principal fator estatisticamente significativo no impedimento do processo da degradação florestal.

Nesta análise, pode-se contatar que o processo de degradação apresentou fatores determinantes em comum e diferentes nas três partições espaciais, que influenciam no processo de degradação, devido ao fato de que os fatores atuam de forma diferente em cada região. Tais diferenças se devem a fatores de ordem política, econômica, social e histórica de cada região.

Na analise estadual, constatou-se que os fatores determinantes da degradação no estado do Mato Grosso, são bem desiguais entre as trajetórias, indicando que a degradação no estado ocorre de forma diferente em diferentes localidades.

As informações geradas nestas analises estatísticas ressaltam que a degradação florestal na Amazônia não pode ser considerada como um fenômeno homogêneo. Diante destas constatações, é de extrema importância que a formulação de políticas que visam conter o avança da degradação florestal devem levar em considerações a dinâmica do processo e as diferenças específicas dos fatores determinantes de cada região. Desta forma, as políticas públicas serão mais eficientes para a prevenção, monitoramento e combate da degradação florestal na Amazônia, na medida em que representam atenção especifica nas causas do processo.

Contudo a degradação florestal é um processo ainda em andamento, que necessita da melhor compreensão do processo e das suas causas e consequências à dinâmica da natureza, uma vez que termina por ameaçar a biodiversidade e comprometer os serviços ecológicos importantes na floresta. Além disso, necessita de uma melhor definição que engloba dimensão espacial e temporal, bem como de classificação adequada dos níveis de intensidade da degradação, para permitir ações de governança e o controle eficaz da degradação.

Essas informações reforçam a necessidade de avançar no desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas de monitoramento da degradação florestal, bem como da realização de novas pesquisas sobre o tema, que levará a melhor compreensão da dinâmica do processo da degradação florestal na Amazônia Brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR. A. P. D, VIEIRA, I. C. G.; ASSIS, T. O, DALLA-NORA, E. L.; TOLEDO, P. M.; ARAÚJO, R.; BATISTELLA, M.; COELHO, A.; SAVAGET, E. K.;ARAGÃO, L. E. O. C.; NOBRE, CARLOS A.; OMETTO, J. P. H. Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon? **Global Change Biology**.2015. DOI: 10.1111/gcb.13134.

AGUIAR, A. P. D; OMETTO, J. P. H.; NOBRE, C. A.; LAPOLA D. M.; ALMEIDA, C.; VIEIRA, I. C.; SOARES, J. V.; ALVALA, R.; SAATCHI S.; VALERIANO V.; CASTILLA-RUBIO, J. C. Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: the INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. **Global Change Biology,** v. 18, p. 3346–3366, 2012.

AGUIAR, A. P. D.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the brazilian amazonian: Exploring intra-regional heterogeneity. **Ecological modelling**, v. 209, p. 169-188, 2007.

ALENCAR, A. A.; ASNER G. P.; KNAPP D.; ZARIN D. Temporal variability of forest fires in eastern Amazonia. **Ecological Applications**, v. 21, p. 2397–2412, 2011. DOI: 10.1890/10-1168.1.

ALENCAR, A. A.; BRANDO, P. M.; ASNER, G. P.; PUTZ F. E. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime.**Ecological Applications**, v. 25, n. 6, p. 1493 – 1505, 2015.

ANDERSON L. O.;ARAGÃO L., E. O. C.; LIMA A.; SHIMABUKURO E. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**,v.35,n. 4, p. 445-456, 2005.

AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; VIDAL, E.**Floresta para sempre:** um manual para produção de madeira na amazônia. Belém: Imazon, 1998. 130 p.

ANSELIN, L. **Exploringspatial data withGeoDaTM :**a workbook.2005. 97p. Disponível em: 139 <https://geodacenter.asu.edu/.../geodaworkbook.pdf>. Acessoem: 08 dez. 2015.

ARAGÃO, L.E.O.C.; SHIMABUKURO, Y.E.The incidence of fire in Amazonian Forests with Implications for REDD. **Science**, v. 328, n.5983, p.1275–1278,2010.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R. M.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of

recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7,2007. DOI:10.1029/2006gl028946.

ASNER, G.P.;EBEN, N.; BROADBENT, E.N.; OLIVEIRA P. J. C.; KELLER, M.; KNAPP, D. E.; SILVA, J. N. M. Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon.**Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.103, n.34, p.12947–12950,2006.

ASNER, G.P.;KNAPP, D. E.; BROADBENT E. N.; OLIVEIRA, P. J. C.; KELLER, M.; SILVA, J. N. Selective Logging in the Brazilian Amazon. **Science**, v.310, n.480,2005.

BATISTA A. C. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Revista Floresta**. 34(2): 237-241p,2004.

BARROS, A. C.; VERÍSSIMO, A.**A expansão madeireira na Amazônia:** impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará.Belém: Imazon,2002.168 p.

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.

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. Dossiê Amazônia Brasileira I.**Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71-86, 2005.

BECKER, B. K. **Amazônia:** geopolítica na virada do III milênio. Rio de Janeiro: Garamond, 2009. 172 p.

BERENGUER, E.; FERREIRA, J.; GARDNER, T. A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; CAMARGO, P. B. DE; CERRI, C. E.; DURIGAN, M.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. DE; VIEIRA, I. C. G.; BARLOW, J.A large-scalefieldassessmentofcarbon stocks in human-modified tropical forests.**Global ChangeBiology**, v. 20, n. 12, p. 3713–3726, 2014.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change:** theoretical and modeling approaches.Livro on-line Disponívelem: (http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm) Regional Research Institute, West Virginia University, 2000.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; CORREA, V.Análiseespacial de áreas.In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. (Orgs.). **Análise espacial de dados geográficos**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>. Acessoem: 20nov. 2015.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (CBD). Review of the status and trends of, and major threats to, the forest biological diversity. **Forest Biological Diversity**.Montreal, 2001.

CHAZDON, R. L.,. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**. 6 (1-2), p 51-71. 2003

CHAZDON, R. L**. Regeneração de florestastropicais**.Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **CiênciasNaturais**, v. 7, n.3, p.195-218, 2012.

COCHRANE, M.A.;ALENCAR, A.; SCHULZE, M. D.; SOUZA JR, C. M.; NEPSTAD, D. C.; LEFEBVRE, P.;DAVIDSON, E. A.Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests**.Science,**v. 284, n.5421, p.1832–1835, 1999. Available at:http://www.sciencemag.org/content/284/5421/1832.abstract.

COCHRANE, M. A.; SCHULZE, M. D. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. **Biotropica**, v, 31, n. 1, p. 2-16, 1999.

COCHRANE, M. A. Fire science for rainforests.**Nature**, v. 421, n. 6926, p. 913-9, 27 fev. 2003.

DUDLEY, N. (Editor). **Guidelines for Applying Protected Area Management Categories**.Gland, Switzerland: IUCN, 2008. 86p. ISBN: 978-2-8317-1086-0.

FAGUNDES, A. S.; PEREIRA B. L. R.; COSTA, M. C. D. C. Desmatamento em unidades de conservação através do “Prodes” no estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5., 2014, Belo Horizonte/MG.**Anais...**Bauru, SP: IBEAS, 2014.

FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO (FUNAI). **Terras Indígenas:** o que é? Disponível em: <http://www.funai.gov.br/>. Acessoem: 02 nov. 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO).**Global ecological zoning for the global forest resources assessment 2000**.Forestry Working PaperWP56.Rome, 2001.

_____. **Assessing forest degradation.Towards the development of globally applicable guidelines**.Forest Resources Assessment Working. Rome. 2011.99p.

FOLEY J.A.; ASNER, G.P.; COSTA, M. H.; COE, M. T., DEFRIES, R.; GIBBS, H. K. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin.**Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, p. 25-32, 2007.

GERWING J. J. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon.**Forest Ecology and Management**, v. 157, p. 131 - 141. 2002.

GRAÇA, P. M. L. A; Maldonado, F. D.; Santos, J. R.; Soares, J. V .Detecting selective logging using radiometric rotation techniques in the amazon forest.**Ambiência**.Guarapuava, PR. v.4 - Edição Especial 2008.p.97-106, ISSN 1808 – 0251.

HOLDSWORTH, A. R., AND C. UHL.Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction.**Ecological Applications**, v. 7, n.2, p. 713-725, 1997

HOUGHTON BY R. A.How well do we know the flux of CO2 from land-use change?**Tellus B**, International Meteorological Institute in Stockholm, v. 62B, n. 5, p. 337–351, 2010.

INSTITUTO CHICO MENDES (ICMBIO).**Análise do desmatamento nas unidades de conservação federais localizadas na Amazônia**. Brasília: MMA, 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/182/_arquivos/icmbio_ucs_182.pdf>. Acesso em 24 abr. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira - DEGRAD**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/degrad/>. Acesso em: 15 nov. 2015 a.

_____. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite - Projeto PRODES**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes>. Acesso em: 15 nov. 2015 b.

_____. **Programa Amazônia**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/amazonia/programa/>. Acesso em: 17 nov. 2015 c.

_____. **Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/>. Acesso em: 20 nov. 2015 d.

_____. **TERRAVIEW**. São José dos Campos, 2010. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/terraview/index.php. Acesso em: 15 nov. 2015 e.

_____.**Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites -** sistema PRODES, DETER, DEGRAD e QUEIMADAS / 2007 - 2008. Coordenação Geral de Observação da Terra. São José dos Campos, 10 dezembro de 2008. 2008 a.47 p.

_____.**Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites -** avaliação DETER. Coordenação Geral de Observação da Terra. São José dos Campos, 11 de julho de 2008. 8 p. 2008 b.

_____. **AULA 15 –** plugin preenchimento de células. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/terraview/docs/tutorial/Aula15.pdf.>. Acesso em: 15 nov. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Assentamentos**. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/assentamento>. Acessoem: 09 nov. 2015.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION(ITTO).**Guidelines for the restoration, management andrehabilitation of degraded and secondary tropical forests.**ITTO Policy Development Series 13.ITTO, Yokohama, Japan. [online] URL: http://www.itto.int/direct/topics/topics_pdf_download/topics_id=1540000&no=1&disp=inline. 2002

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC).PENMAN J.; GYTARSKY M.; HIRAISHI T.; KRUG T.; KRUGER D.; PIPATTI R.; BUENDIA L.; MIWA K.; NGARA T.; TANABE K.; WAGNER F. **Definitions and methodological options to inventory emissions from direct human-induced degradation of forests and devegetation of other vegetation types.**Hayama, Japan:IPCC/IGES, 2003.

SOUZA JÚNIOR, C. M. S. Avanços do sensoriamento remoto para o monitoramento da exploraçãomadeireira 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 978-85-17-000317.
Disponívelem: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.17.38>. Acesso em: 27 abr. 2016.

KRUG, T. O quadro do desflorestamento da Amazônia. In: Fleischresser, V. (ed.) **Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2001. p. 91-98.

LAMBIN, E. F. Monitoringforestdegradation in tropical regionsbyremotesensing: some methodologicalissues. **Global EcologyandBiogeography**, v. 8, p. 191-198, 1999.

LAMB, D.;GILMOUR, D. **Rehabilitation and restoration of degraded forests.**IUCN, Gland, Switzeland and Cambridge, UK and WWF, Gland.110 p., 2003.

LAURENCE, W.F; ALBERNAZ, A.K.M.; FEARNSIDE, P.M; VASCONCELOS, H.L; FERREIRA, L.V. Deforestation Amazonia.**Science**, Washington, n. 304, p. 1109-1111, 2004.

LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D.; HEIJDEN, G. M. F. V. D. The 2010 AmazonDrought.**Science**, v. 331, n.6017, p. 554, 2011. doi:10.1126/science.1200807.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L. **Fatos florestais da Amazônia 2003.** Belém: Imazon. 2003. 124 p.

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R. **Fatos florestais da Amazônia 2005**. Belém: Imazon. 2005 a.141 p.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.;PEREIRA, D. A expansão madeireira na Amazônia. **O Estado da Amazônia**. Belém: Imazon. nº 2. 4 p. 2005 b.

MATRICARDI, E. A. T; SKOLE, D. L.; PEDLOWSKI, M. A.; CHOMENTOWSKI, W.; FERNANDES, L. C.; Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery.**Remote Sensing of Environment.**v.114 p. 1117-1129, 2010.

MATRICARDI, E. A. T.; SKOLE, D. L.; CHOMENTOWSKI, M. A.; COCHRANE, M. A. **Multi-temporal detection ofselective logging in the Amazon using remote sensing**. East Lansing, Special Report BSRSI ResearchAdvances – Tropical Forest Information Center, Michigan State University No.RA03-01\w, 2001.27p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm):** 3ª fase (2012-2015) pelo uso sustentável e conservação da Floresta. Brasília: MMA, 2013. 174p.

_____. **Áreas protegidas.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidash>. Acesso em: 10 dez. 2015.

_____.**Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal.** Brasília: MMA, 2013.171 p.

MONTEIRO, A. L. S.; SOUZA JR, C. M; BARRETO, P. G.; PANTOJA, F. L. S.; GERWING J. J. Impacts of logging on fire on Transitional Tropical Forest in the southeastern Brazilian Amazon.**ScientiaForestalis**, n. 65, p. 11-21.2004.

MORRISON, J. S. Seleção de variáveis no desenvolvimento de modelos. **Serasa Experien**, v. 57, p. 24–40, 2006. Disponível em: <http://www.serasaexperian.com.br/serasaexperian/publicacoes/revistas/2006/57/revista_0310.htm>.

NEPSTAD, D. C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire.**Nature**, v. 398, p.505-508, 1999 a.

NEPSTAD, D.; MOREIRA, A.; ALENCAR, A. **A floresta em chamas:** origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia. Brasília: Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais no Brasil, 202 p. 1999 b.

NEPSTAD,D.; CAPOBIANCO, J. P.; BARROS, A. C.; CARVALHO, G.; MOUTINHO, P.; LOPES, U.; LEFEBVRE, P. **Avança Brasil:** os custos ambientais para a Amazônia.Relatório do Projeto "Cenários Futuros para Amazônia". Belém: Gráfica e Editora Alves, 2000.

PANTOJA, N. V. **Técnicas de processamento de imagens digitais para detecção de feições associadas ao corte seletivo de madeira na Amazônia**. 2010. 87 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2010/08.31.20.11-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/386NR75>. Acesso em: 27 abr. 2016.

PARROTTA, J. A.; WILDBURGER, C.; MANSOURIAN, S. (Eds.). **Understandingrelationships between biodiversity, carbon, forests and people**: the key to achievingREDD + objectives. Vienna, Austria: International Union of Forest ResearchOrganizations, 2012. 161 p. (IUFRO World Series, v. 31).

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; GUIMARÃES, M. V. J.; VERÍSSIMO, A**. Fatos florestais da Amazônia 2010.** Belém: Imazon. 2010. 126 p.

PIROMAL, R. A. S.; RIVERA LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica**. v 38, n. 1, p. 77-84, 2008.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, A.; VERÍSSIMO, A. **Fatos florestais da Amazônia 2010.** Belém: Imazon& SFB. 2010.124 p.

PRATES, R. C. **O desmatamento desigual na Amazônia brasileira: sua evolução, suas causas e conseqüências sobre o bem-estar**. 2008. 159p. Tese (doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,Piracicaba, 2008.

SANTOS, J.R.; KRUG, T.; ARAÚJO, L.S.; MEIRA FILHO, G.; ALMEIDA, C.A. Dados multitemporais TM/Landsat aplicados ao estudo da dinâmica de exploração madeireira na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10.,2001, Foz do Iguaçu. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1751-1755. CD-ROM, On-line.ISBN 85-17-00016-1.(INPE-8219-PRE/4008).Disponívelem:<http://urlib.net/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.10.35>. Acessoem: 27 abr. 2016.

SASAKI, N.; E PUTZ, F. E. Critical need for new definitions of “forest” and “forest degradation” in global climate change agreements.**ConservationLetters,** v. 2, p. 226-232, 2009.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON). **Atividade Madeireira na Amazônia Brasileira: produção receitas e mercados**. Belém, 2010. 26p.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Florestas do Brasil em resumo - 2010:** dados de 2005-2010. Brasília, 2010. 152p.

SIMULA, M. **Towards defining forest degradation:** comparative analysis of existing definitions.forest resources assessment.Rome:FoodandAgricultureOrganization,2009.

SILVA, A. Q. S.; NAVARES, I. S. N.; GUERRA, J. B.; AGUIAR, A. P. D.; FREITAS, C. F. Comparação dos fatores determinantes do desflorestamento nos estados do Pará,Rondônia e Amazonas(SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3133-3140. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-16537-PRE/11113). Disponível em:<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.21.17>. Acesso em: 27 abr. 2016.

SCHROEDER,W.; ALENCAR, A.A.; ARIMA, E.; SETZER, A. A distribuição espacial e variabilidade interanual do fogo na Amazônia. Amazoniaand Global Change. **GeophysicalMonograph Series**, v. 186, 2009.21 p.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D.C.; CURRAN, L. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 137-152, 2005.

THOMPSON, I.D.; MANUEL R. GUARIGUATA, M. R; OKABE, K.;BAHAMONDEZ, C.; NASI, R.; HEYMELL, V.; SABOGAL, C.An operational framework for defining and monitoring forest degradation. **Ecology and Society**,v. 18, n.2, 2013. Available at: http://www.ecologyandsociety.org/vol18/iss2/art20/.

UHL, C.; VERÍSSIMO, A.; MATTOS, M. M.; BRANDINO, Z.; VIEIRA J. C. G.Social, economic, and ecological consequences of selective loggin in Amazonian frontier: the case of Thailand. **Forest Ecology and Management**, v. 46, p. 243-273, 1991.

UHL, C.; J. B. KAUFFMAN.Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the Eastern Amazon.**Ecology**.v.71, n.2, p. 437-449, 1990.

VanDerWERF, G. R.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; OLIVIER, J. G. J.; KASIBHATLA, P. S.; JACKSON R. B.; COLLATZ G. J.; RANDERSON, J. T. CO^2 Emissions From Forest Loss**. Nature Geoscience**, v. 2.p. 737-738, 2009.

VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., MATTOS, M., TARIFA, R., UHL, C.Loggin impacts and prospects for sustainable forest management in na old Amazonian frontier: the case of Paragominas. **Forest Ecologyand Management**, v .55, p. 169-199, 1992.

VERÍSSIMO, A; UHL, C; BARRETO, P.; MATTOS, M.; BRANDINO, Z. VIEIRA, I. **Impactos sociais, econômicos e ecológicos da exploração seletiva de madeira numa região de fronteira da Amazônia Oriental:** o caso de Tailândia.In: BARROS, A.; VERÍSSIMO, A. (eds.).**A expansão madeireira na Amazônia**: impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará. Belém: Imazon. 2002a.Cap. 1, p.1 - 38.

VERÍSSIMO, A; BARRETO, P.; MATTOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C. **Impactos da atividade madeireira e perspectiva para o manejo sustentável da floresta numa velha fronteira da amazônia:** o caso de Paragominas.In: BARROS, A. C.; VERÍSSIMO, A. (eds.). **A expansão madeireira na Amazônia**: impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará. Belém: Imazon. 2002 b.Cap. 2,p. 42 - 74 .

APÊNDICE A

MATRIZES DE CORRELAÇÃO

Tabela A.1 - Matriz de correlação entre variáveis exploratórias potenciais na Amazônia Brasileira.

	Log_ Rios	**Log_ RiosPrin**	**Log_ ResMin**	**Log_ Polos Mad**	**Log_ Urban**	**DistUrbPrin**	**Porc_ AltFertil**	**Porc_ FlorPublic**	**Log_ DistRod**	**DistRodPav**	**DistRodNpav**	**Log_ Desm07**	**Log_ Front**	**Log_ ZonMad**	**Desm Acum 06**	**Porc Assent**	**Conex_SPNE**	**Conex_Ports**
Log_Rios	1.00	0.28	-0.13	-0.02	0.05	0.05	0.04	-0.02	-0.10	-0.07	-0.09	-0.03	-0.03	0.01	0.02	0.01	-0.12	0.00
Log_RiosPrin	0.28	1.00	-0.05	0.13	0.16	0.19	0.05	-0.05	-0.07	-0.09	-0.04	0.06	0.07	0.17	0.06	-0.02	-0.09	0.14
Log_ResMin	-0.13	-0.05	1.00	0.36	0.18	0.19	-0.17	0.03	0.38	0.33	0.24	0.18	0.29	0.21	0.03	-0.11	0.34	0.34
Log_PolosMad	-0.02	0.13	0.36	1.00	0.35	0.42	-0.26	0.16	0.53	0.39	0.53	0.49	0.69	0.57	0.34	-0.26	0.41	0.57
Log_Urban	0.05	0.16	0.18	0.35	1.00	0.32	-0.25	0.51	0.58	0.60	0.42	0.32	0.25	0.22	0.16	-0.18	0.47	0.27
Log_DistUrbPrin	0.05	0.19	0.19	0.42	0.32	1.00	-0.11	0.14	0.38	0.44	0.15	0.20	0.27	0.23	0.17	-0.19	0.20	0.54
Porc_AltFertil	0.04	0.05	-0.17	-0.26	-0.25	-0.11	1.00	-0.18	-0.28	-0.26	-0.26	-0.23	-0.24	-0.14	-0.19	0.13	-0.26	-0.11
Porc_FlorPublic	-0.02	-0.05	0.03	0.16	0.51	0.14	-0.18	1.00	0.44	0.48	0.31	0.26	0.04	0.15	0.06	-0.08	0.40	0.03
Log_DistRod	-0.10	-0.07	0.38	0.53	0.58	0.38	-0.28	0.44	1.00	**0.86**	**0.78**	0.37	0.47	0.32	0.18	-0.21	**0.70**	0.54
Log_DistRodPav	-0.07	-0.09	0.33	0.39	0.60	0.44	-0.26	0.48	**0.86**	1.00	0.45	0.30	0.34	0.18	0.14	-0.16	0.63	0.44
Log_DistRodNpav	-0.09	-0.04	0.24	0.53	0.42	0.15	-0.26	0.31	**0.78**	0.45	1.00	0.34	0.48	0.35	0.18	-0.21	0.69	0.42
Log_Desm07	-0.03	0.06	0.18	0.49	0.32	0.20	-0.23	0.26	0.37	0.30	0.34	1.00	0.43	0.35	0.37	-0.26	0.25	0.30
Log_Front	-0.03	0.07	0.29	0.69	0.25	0.27	-0.24	0.04	0.47	0.34	0.48	0.43	1.00	0.41	0.33	-0.19	0.41	0.45
Log_ZonMad	0.01	0.17	0.21	0.57	0.22	0.23	-0.14	0.15	0.32	0.18	0.35	0.35	0.41	1.00	0.22	-0.27	0.20	0.35
Log_DesmAcum06	0.02	0.06	0.03	0.34	0.16	0.17	-0.19	0.06	0.18	0.14	0.18	0.37	0.33	0.22	1.00	-0.16	0.09	0.20
PorcAssent	0.01	-0.02	-0.11	-0.26	-0.18	-0.19	0.13	-0.08	-0.21	-0.16	-0.21	-0.26	-0.19	-0.27	-0.16	1.00	-0.07	-0.25
Conex_SPNE	-0.12	-0.09	0.34	0.41	0.47	0.20	-0.26	0.40	**0.70**	0.63	0.69	0.25	0.41	0.20	0.09	-0.07	1.00	0.29
Conex_Ports	0.00	0.14	0.34	0.57	0.27	0.54	-0.11	0.03	0.54	0.44	0.42	0.30	0.45	0.35	0.20	-0.25	0.29	1.00

Tabela A.2–Matriz de correlação entre variáveis exploratórias potenciais na Amazônia Central e Arco do Desmatamento.

	Log_Rios	**Log_RiosPrin**	**Log_ResMin**	**Log_PolosMad**	**Log_Urban**	**Log_DistUrbPrin**	**Porc_AltFertil**	**Porc_FlorPublic**	**Log_DistRod**	**Log_DistRodPav**	**Log_DistRodNpav**	**Log_Desm07**	**Log_Front**	**Log_ZonMad**	**Log_DesmAcum06**	**PorcAssent**	**Conex_SPNE**	**Conex_Ports**
Log_Rios	1.00	0.28	-0.07	0.08	0.07	0.12	0.01	-0.02	-0.04	-0.03	-0.03	0.00	0.05	0.07	0.04	0.00	-0.08	0.06
Log_RiosPrin	0.28	10.00	-0.06	0.21	0.13	0.28	0.06	-0.11	-0.07	-0.09	-0.02	0.07	0.15	0.23	0.09	-0.03	-0.13	0.28
Log_ResMin	-0.07	-0.06	1.00	0.04	0.08	-0.10	-0.08	-0.04	0.05	0.07	-0.03	0.07	0.02	0.09	0.01	-0.06	-0.01	0.11
Log_PolosMad	0.08	0.21	0.04	1.00	0.25	0.20	-0.19	0.10	0.22	0.11	0.28	0.49	0.61	0.54	0.42	-0.21	-0.08	0.37
Log_Urban	0.07	0.13	0.08	0.25	1.00	0.27	-0.23	0.56	0.60	0.62	0.36	0.26	0.13	0.17	0.12	-0.15	0.46	0.15
Log_DistUrbPrin	0.12	0.28	-0.10	0.20	0.27	1.00	-0.07	0.12	0.14	0.28	-0.10	0.14	0.07	0.19	0.17	-0.15	-0.10	0.35
Porc_AltFertil	0.01	0.06	-0.08	-0.19	-0.23	-0.07	1.00	-0.17	-0.23	-0.22	-0.17	-0.20	-0.19	-0.07	-0.21	0.10	-0.16	-0.04
Porc_FlorPublic	-0.02	-0.11	-0.04	0.10	0.56	0.12	-0.17	1.00	0.54	0.58	0.32	0.25	-0.05	0.12	0.06	-0.07	0.49	-0.10
Log_DistRod	-0.04	-0.07	0.05	0.22	0.60	0.14	-0.23	0.54	1.00	**0.78**	**0.72**	0.28	0.14	0.21	0.15	-0.15	0.49	0.23
Log_DistRodPav	-0.03	-0.09	0.07	0.11	0.62	0.28	-0.22	0.58	**0.78**	1.00	0.25	0.19	0.02	0.07	0.10	-0.09	0.53	0.15
Log_DistRodNpav	-0.03	-0.02	-0.03	0.28	0.36	-0.10	-0.17	0.32	**0.72**	0.25	1.00	0.23	0.20	0.22	0.14	-0.16	0.30	0.14
Log_Desm07	0.00	0.07	0.07	0.49	0.26	0.14	-0.20	0.25	0.28	0.19	0.23	1.00	0.38	0.32	0.43	-0.25	0.06	0.25
Log_Front	0.05	0.15	0.02	0.61	0.13	0.07	-0.19	-0.05	0.14	0.02	0.20	0.38	1.00	0.35	0.39	-0.14	-0.02	0.23
Log_ZonMad	0.07	0.23	0.09	0.54	0.17	0.19	-0.07	0.12	0.21	0.07	0.22	0.32	0.35	1.00	0.25	-0.26	-0.09	0.34
Log_DesmAcum06	0.04	0.09	0.01	0.42	0.12	0.17	-0.21	0.06	0.15	0.10	0.14	0.43	0.39	0.25	1.00	-0.17	-0.03	0.19
PorcAssent	0.00	-0.03	-0.06	-0.21	-0.15	-0.15	0.10	-0.07	-0.15	-0.09	-0.16	-0.25	-0.14	-0.26	-0.17	1.00	0.09	-0.24
Conex_SPNE	-0.08	-0.13	-0.01	-0.08	0.46	-0.10	-0.16	0.49	0.49	0.53	0.30	0.06	-0.02	-0.09	-0.03	0.09	1.00	-0.31
Conex_Ports	0.06	0.28	0.11	0.37	0.15	0.35	-0.04	-0.10	0.23	0.15	0.14	0.25	0.23	0.34	0.19	-0.24	-0.31	1.00

Tabela A.3–Matriz de correlação entre variáveis exploratórias potenciais no Arco do Desmatamento.

	Log_Rios	Log_RiosPrin	Log_ResMin	Log_PolosMad	Log_Urban	Log_DistUrbPrin	Porc_AltFertil	Porc_FlorPublic	Log_DistRod	Log_DistRodPav	Log_DistRodNpav	Log_Desm07	Log_Front	Log_ZonMad	Log_DesmAcum06	PorcAssent	Conex_SPNE	Conex_Ports
Log_Rios	1.00	0.25	-0.06	0.09	0.04	0.12	0.00	-0.11	-0.11	-0.08	-0.09	-0.01	0.08	0.08	0.03	0.01	-0.08	0.05
Log_RiosPrin	0.25	1.00	-0.01	0.23	0.11	0.29	0.07	-0.22	-0.18	-0.14	-0.17	0.03	0.19	0.21	0.06	0.03	-0.06	0.24
Log_ResMin	-0.06	-0.01	1.00	0.10	0.20	-0.04	-0.09	0.02	0.22	0.24	0.08	0.10	0.03	0.13	0.02	-0.20	-0.06	0.23
Log_PolosMad	0.09	0.23	0.10	1.00	0.08	0.17	-0.18	-0.10	0.00	-0.09	0.11	0.47	0.65	0.61	0.45	-0.25	-0.48	0.40
Log_Urban	0.04	0.11	0.20	0.08	1.00	0.17	-0.19	0.29	0.46	0.46	0.24	0.10	-0.04	0.11	-0.02	-0.14	0.30	0.23
Log_DistUrbPrin	0.12	0.29	-0.04	0.17	0.17	1.00	-0.10	-0.04	0.04	0.19	-0.24	0.12	0.13	0.21	0.17	-0.06	-0.14	0.30
Porc_AltFertil	0.00	0.07	-0.09	-0.18	-0.19	-0.10	1.00	-0.09	-0.18	-0.17	-0.14	-0.20	-0.18	-0.08	-0.25	0.17	0.00	-0.11
Porc_FlorPublic	-0.11	-0.22	0.02	-0.10	0.29	-0.04	-0.09	1.00	0.39	0.36	0.24	0.12	-0.32	0.07	-0.06	-0.09	0.39	-0.16
Log_DistRod	-0.11	-0.18	0.22	0.00	0.46	0.04	-0.18	0.39	1.00	**0.82**	0.59	0.15	-0.08	0.08	0.02	-0.14	0.32	0.24
Log_DistRodPav	-0.08	-0.14	0.24	-0.09	0.46	0.19	-0.17	0.36	**0.82**	1.00	0.15	0.10	-0.16	0.11	0.02	-0.13	0.36	0.27
Log_DistRodNpav	-0.09	-0.17	0.08	0.11	0.24	-0.24	-0.14	0.24	0.59	0.15	1.00	0.10	0.05	0.01	-0.01	-0.08	0.18	-0.01
Log_Desm07	-0.01	0.03	0.10	0.47	0.10	0.12	-0.20	0.12	0.15	0.10	0.10	1.00	0.40	0.30	0.47	-0.27	-0.21	0.29
Log_Front	0.08	0.19	0.03	0.65	-0.04	0.13	-0.18	-0.32	-0.08	-0.16	0.05	0.40	1.00	0.33	0.49	-0.18	-0.50	0.37
Log_ZonMad	0.08	0.21	0.13	0.61	0.11	0.21	-0.08	0.07	0.08	0.11	0.01	0.30	0.33	1.00	0.26	-0.27	-0.25	0.32
Log_DesmAcum06	0.03	0.06	0.02	0.45	-0.02	0.17	-0.25	-0.06	0.02	0.02	-0.01	0.47	0.49	0.26	1.00	-0.18	-0.26	0.19
PorcAssent	0.01	0.03	-0.20	-0.25	-0.14	-0.06	0.17	-0.09	-0.14	-0.13	-0.08	-0.27	-0.18	-0.27	-0.18	1.00	0.17	-0.19
Conex_SPNE	-0.08	-0.06	-0.06	-0.48	0.30	-0.14	0.00	0.39	0.32	0.36	0.18	-0.21	-0.50	-0.25	-0.26	0.17	1.00	-0.31
Conex_Ports	0.05	0.24	0.23	0.40	0.23	0.30	-0.11	-0.16	0.24	0.27	-0.01	0.29	0.37	0.32	0.19	-0.19	-0.31	1.00

Tabela A.4–Matriz de correlação entre variáveis exploratórias potenciais no Mato Grosso.

	Log_RiosPr	**Log_ResMin**	**Log_PolosMad**	**Log_Urban**	**Log_UrbanPr**	**Porc_AltFertil**	**Porc_FlorPublic**	**Conex_SPNE**	**Conex_Ports**	**Log_Rod**	**Log_RodPav**	**Log_RodNpav**	**Log_Desm07**	**Log_Front**	**Log_ZonMad**	**Log_DesmAc06**	**PorcAssent**
Log_RiosPr	1.00	0.12	0.13	-0.07	-0.24	0.11	-0.20	-0.22	0.09	-0.14	-0.20	0.00	0.06	0.12	0.02	0.05	-0.02
Log_ResMin	0.12	1.00	0.14	0.16	-0.04	0.03	-0.08	-0.15	0.11	0.18	0.18	0.11	0.05	0.00	0.13	0.00	-0.11
Log_PolosMad	0.13	0.14	1.00	0.18	-0.36	-0.18	-0.08	-0.68	0.51	0.08	-0.17	0.34	0.45	**0.67**	0.55	0.36	-0.12
Log_Urban	-0.07	0.16	0.18	1.00	0.14	-0.13	0.35	0.24	0.02	0.50	0.49	0.29	0.16	0.02	0.24	0.01	-0.17
Log_UrbanPr	-0.24	-0.04	-0.36	0.14	1.00	-0.04	0.27	0.33	-0.49	0.18	0.36	-0.13	-0.27	-0.44	-0.12	-0.18	0.11
Porc_AltFertil	0.11	0.03	-0.18	-0.13	-0.04	1.00	-0.11	0.10	0.02	-0.01	0.02	-0.11	-0.18	-0.23	-0.09	-0.22	-0.01
Porc_FlorPublic	-0.20	-0.08	-0.08	0.35	0.27	-0.11	1.00	0.41	-0.27	0.35	0.37	0.18	0.18	-0.34	0.16	0.06	-0.15
Conex_SPNE	-0.22	-0.15	**-0.68**	0.24	0.33	0.10	0.41	1.00	-0.67	0.21	0.43	-0.09	-0.25	-0.62	-0.19	-0.29	-0.02
Conex_Ports	0.09	0.11	0.51	0.02	-0.49	0.02	-0.27	-0.67	1.00	0.15	-0.11	0.22	0.30	0.51	0.14	0.24	-0.11
Log_Rod	-0.14	0.18	0.08	0.50	0.18	-0.01	0.35	0.21	0.15	1.00	**0.68**	**0.65**	0.11	-0.02	0.12	0.04	-0.17
Log_RodPav	-0.20	0.18	-0.17	0.49	0.36	0.02	0.37	0.43	-0.11	**0.68**	1.00	0.03	-0.06	-0.31	0.19	-0.05	-0.12
Log_RodNpav	0.00	0.11	0.34	0.29	-0.13	-0.11	0.18	-0.09	0.22	**0.65**	0.03	1.00	0.28	0.37	0.11	0.15	-0.18
Log_Desm07	0.06	0.05	0.45	0.16	-0.27	-0.18	0.18	-0.25	0.30	0.11	-0.06	0.28	1.00	0.36	0.20	0.38	-0.22
Log_Front	0.12	0.00	**0.67**	0.02	-0.44	-0.23	-0.34	-0.62	0.51	-0.02	-0.31	0.37	0.36	1.00	0.27	0.36	-0.13
Log_ZonMad	0.02	0.13	0.55	0.24	-0.12	-0.09	0.16	-0.19	0.14	0.12	0.19	0.11	0.20	0.27	1.00	0.17	-0.17
Log_DesmAc06	0.05	0.00	0.36	0.01	-0.18	-0.22	0.06	-0.29	0.24	0.04	-0.05	0.15	0.38	0.36	0.17	1.00	-0.11
PorcAssent	-0.02	-0.11	-0.12	-0.17	0.11	-0.01	-0.15	-0.02	-0.11	-0.17	-0.12	-0.18	-0.22	-0.13	-0.17	-0.11	1.00