



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/02.13.18.21-TDI

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIALMENTE
DISPONÍVEIS PARA EXPANSÃO AGRÍCOLA NO
BIOMA AMAZÔNIA A PARTIR DE PRODUTOS DE
SENSORIAMENTO REMOTO E TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO**

Denise Zanatta Martini

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Maurício Alves Moreira, aprovada em 13 de março de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3HU9BNL>>

INPE
São José dos Campos
2015

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@sid.inpe.br

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

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

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

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

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 E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/02.13.18.21-TDI

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIALMENTE
DISPONÍVEIS PARA EXPANSÃO AGRÍCOLA NO
BIOMA AMAZÔNIA A PARTIR DE PRODUTOS DE
SENSORIAMENTO REMOTO E TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO**

Denise Zanatta Martini

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Maurício Alves Moreira, aprovada em 13 de março de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3HU9BNL>>

INPE
São José dos Campos
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Martini, Denise Zanatta.

M363i Identificação de áreas potencialmente disponíveis para expansão agrícola no bioma Amazônia a partir de produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento / Denise Zanatta Martini. – São José dos Campos : INPE, 2015.
xxiv + 90 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/02.13.18.21-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.
Orientadores : Dr. Maurício Alves Moreira.

1. Expansão agrícola. 2. Bioma Amazônia. 3. Geotecnologias.
4. Sensoriamento remoto. I.Título.

CDU 631..1.017(811.3):528



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

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

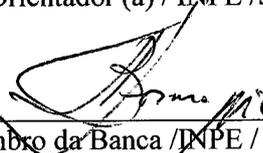
Aprovado pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de **Mestre em**
Sensoriamento Remoto

Dr. Maurício Alves Moreira



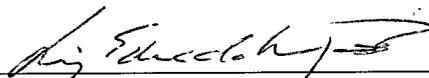
Presidente / Orientador (a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Antônio Roberto Formaggio



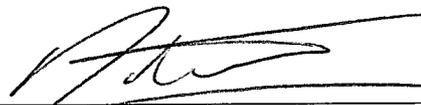
Membro da Banca / INPE / São José dos Campos -SP

Dr. Luiz Eduardo Oliveira e
Cruz de Aragão



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

Dr. Mateus Batistella



Convidado(a) / EMBRAPA / Campinas - SP

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples.

(X) unanimidade.

Título: "IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIALMENTE DISPONÍVEIS PARA
EXPANSÃO AGRÍCOLA NO BIOMA AMAZÔNIA A PARTIR DE
PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO."

Aluno (a): Denise Zanatta Martini

São José dos Campos, 13 de Março de 2015.

“Tudo posso naquele que me fortalece.”

Filipenses 4: 13

*Ao meu esposo Elói L. Dalla Nora, pelo amor,
apoio e compreensão em todos os momentos.*

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pela oportunidade e suporte para a realização deste mestrado e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador, Dr. Maurício Alves Moreira, pela confiança, liberdade, amizade e sábia orientação.

Aos professores, pelos ensinamentos, orientações e incentivo, em especial ao Dr. Luiz Aragão, Dr. Antônio Roberto Formaggio, Dr. Alfredo José Barreto Luiz e Dr. Hélio do Prado pelo auxílio e discussões ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos da turma PG-SER 2012, pela amizade e pela paciência com meus horários pouco flexíveis para estudo em grupo.

Aos colegas da turma PG-SER 2013, pela amizade, companheirismo, momentos alegres e tristes compartilhados que nos tornaram mais próximos... Verdadeiros amigos!

Aos demais amigos e familiares pelo incentivo.

Em especial a minha família... meu pai Francisco (*in memoriam*) e minha mãe Neiva pelo exemplo de vida, pelo amor, educação e esforço dedicado a minha criação! A minha irmã Franciela pela força e apoio! Ao meu esposo Elói Lennon, pelo amor incondicional, pelo incentivo para a realização dos meus ideais, encorajando-me nos momentos de dificuldades e por dar cor a minha vida.

A Deus, pelo dom da vida e pelas pessoas especiais que colocou em meu caminho.

Enfim, a todos que de algum modo fizeram parte desta trajetória.

RESUMO

A demanda global por alimentos, fibras e biocombustíveis vem pressionando a agricultura e os recursos naturais à medida que áreas para expansão agrícola têm se tornado um recurso cada vez mais escasso em várias regiões do globo. Com áreas ainda pouco exploradas ou subutilizadas, o Brasil é apontado como um dos principais sorvedouros da demanda crescente por *commodities* agrícolas projetada para as próximas décadas. Contudo, do ponto de vista legal, agrônômico e ambiental, pouco se sabe sobre a real disponibilidade e viabilidade de terras para expansão agrícola no país. Neste sentido, este trabalho teve por objetivo localizar e quantificar áreas potencialmente disponíveis para a expansão agrícola no bioma Amazônia, tomando como base áreas florestais nativas legalmente disponíveis e áreas de vegetação secundária e pastagem degradada com potencial produtivo favorável e livre de qualquer conflito de uso. Este levantamento foi realizado com base na integração e análise de diferentes fatores determinantes, compilados em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e manipulados a partir de técnicas de Inferência Booleana. Os resultados revelam que 11,7% (493.103,1 km²) do bioma Amazônia estaria potencialmente disponível para expansão agrícola no ano de 2010. Este estoque é formado principalmente por áreas florestais (59,4%), seguido por áreas previamente convertidas (40,6%) que juntas correspondem a 75,9% de toda a área cultivada no Brasil no período avaliado. Contudo, o uso efetivo dessas áreas teria implicações políticas e ambientais diretas. Em primeiro lugar, a conversão de áreas florestais anularia as conquistas do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDam), responsável pela redução de 79% no desmatamento na região em relação às médias históricas. Além disso, a conversão dessas áreas poderia resultar na emissão de 13 ± 1 Pg CO₂ para a atmosfera, que equivale ao total de emissões oriundas da mudança da cobertura da terra registrada no Brasil no período 2000-2010. Portanto, para minimizar impactos ambientais, a expansão agrícola na Amazônia deveria ser restrita a áreas já convertidas. Estas áreas totalizam cerca de 200.000 km² e poderiam suportar a expansão agrícola sem pressionar o avanço do desmatamento. A área destinada ao cultivo da soja, em particular, poderia aumentar em 48%, o que garantiria o equilíbrio entre suprimento e demanda projetado para a próxima década. Contudo, o desenvolvimento pleno deste potencial ainda depende de questões institucionais, como o desenvolvimento de políticas de uso da terra consistentes que estimulem a recuperação e reintrodução de terras abandonadas ou subutilizadas no setor agrícola. Caso contrário, o desafio de harmonizar conservação ambiental e desenvolvimento sustentável pode se revelar utópico.

IDENTIFICATION OF POTENTIALLY AVAILABLE AREAS FOR AGRICULTURAL EXPANSION IN THE AMAZON BIOME BASED ON REMOTE SENSING PRODUCTS AND GEOPROCESSING TECHNIQUES

ABSTRACT

The global demand for food, fiber and biofuels press agriculture and natural resources as land for agricultural expansion become a scarce resource in many regions around the world. With areas still unexplored or underutilized, Brazil is appoint-out as one of the major sinks for the growing demand of agricultural commodities projected for coming decades. However, from a legal, agronomic and environmental point of view, little is known on the real availability and practicability of agricultural expansion in the country. Thus, this study aimed to locate and quantify potentially available lands for agricultural expansion in the Brazilian Amazon taking into account legally available forests and previously converted lands with suitable production capacity and free of any land use conflict. This survey was undertaken based on the integration and analysis of different driving factors, compiled in GIS (Geographic Information System) and manipulated by Boolean Inference techniques. The results show that 11.7% (493,103.1 km²) of the Brazilian Amazon would be potentially available for agricultural expansion in 2010. This stock is mainly formed by forest (59.4%), followed by previously converted lands (40.6%) which together corresponds to 75.9% of the total cultivated area in Brazil during the evaluated period. However, the effective usage of these areas would have direct political and environmental implications. First, it is expected that effective usage of available forests would detract recent achievements of the Action Plan for Prevention and Control of Deforestation in the Amazon (PPCDAm) that has reduced deforestation in 79% from historical rates. Moreover, the conversion of these areas could result in a committed emission of 13±1 Pg CO₂ to the atmosphere which is equivalent to the total emissions from land cover change registered in Brazil during the 2000-2010 period. Therefore, to minimize environmental impacts, agricultural expansion in the Brazilian Amazon should be restricted to areas already converted. These lands amount up to 200,000 km² and could support agricultural expansion without pressing the advance of deforestation. The area designated for the soy cultivation, particularly, could increase 48% which would ensure equilibrium between supply and demand projected for the next decade. However, to develop the full potential of these areas still depends on institutional issues such as consistent land use policies that encourage recovery and reintroduction of abandoned or underused lands in the productive sector. Otherwise, the challenge of harmonizing environmental conservation and sustainable development may reveal itself utopian.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fontes de terras para expansão agrícolas no período 1980-2000 nas principais regiões tropicais do globo.....	6
Figura 2.2 - Classes temáticas de uso da terra mapeadas pelo TerraClass nas áreas desmatadas dos nove estados da região Amazônica. As classes e frequência de ocorrência apresentadas na figura são referentes à qualificação das áreas desflorestadas até o ano de 2008.....	10
Figura 2.3 - Fluxograma sintetizando a ordem e os procedimentos realizados para identificação das classes mapeadas pelo TerraClass. Os números ordinais presentes nos conectores representa a ordem em que os procedimentos foram realizados. As classes floresta, não floresta, hidrografia, áreas não observadas e desflorestamento do ano base do TerraClass são provenientes do projeto Prodes.....	11
Figura 2.4 - Estruturação de Sistemas de Informação Geográfica.	14
Figura 2.5 - Representações matricial e vetorial em SIGs.	15
Figura 2.6 - Diagrama de Venn mostra os resultados da aplicação de operadores de lógica Booleana para dois ou mais conjuntos.	17
Figura 3.1 - Cobertura territorial (a), sub-climas (b), tipos de solo dominantes (c) e principais fitofisionomias vegetais (d) do bioma Amazônia.....	20
Figura 3.2 - Fluxograma dos dados utilizados para elaboração de banco de dados e identificação de APDs no bioma Amazônia para o ano de 2010.	22
Figura 3.3 - Distribuição espacial das quatro classes de uso/cobertura da terra de interesse da pesquisa, organizadas a partir do mapeamento produzido pelo projeto TerraClass para o ano de 2010.....	23
Figura 3.4 - Fluxograma do protocolo utilizado para a identificar APDs na Amazônia brasileira para 2010.	24

Figura 3.5 - Distribuição espacial das áreas protegidas/terras públicas do bioma Amazônia para o ano de 2010. Estas áreas estão organizadas em três categorias principais: UCs (de Proteção Integral e Uso Sustentável), Terras Indígenas e Áreas Militares.....	26
Figura 3.6 - Mapa de fertilidade natural dos solos do bioma Amazônia elaborado a partir do mapa pedológico desenvolvido pelo Projeto RADAMBRASIL (1973-1985) e atualizado e disponibilizado pelo IBGE.....	29
Figura 3.7 - Mapa de declividade do bioma Amazônia organizado de acordo com a classificação de Ramalho Filho e Beek (1995).	30
Figura 3.8 - Mapa de biomassa acima do solo do bioma Amazônia. Cada uma das onze classes representam toneladas de biomassa por hectare ($Mg\ ha^{-1}$) de acordo com o tipo de vegetação.	33
Figura 3.9 - Municípios dos estados Pará, Mato Grosso e Rondônia monitorados pela Moratória da soja e polígonos de desmatamento identificados no período 2006-2010.....	36
Figura 3.10 - Mapa de temperatura média no bioma Amazônia para o período avaliado de desenvolvimento da cultura de soja na região (novembro a março). ...	37
Figura 3.11 - Fluxograma do protocolo utilizado para a identificação de áreas de temperatura média e precipitação acumulada favoráveis para a soja a partir das APDs oriundas de áreas convertidas identificadas na Amazônia brasileira para o ano de 2010.....	38
Figura 3.12 – Mapa de precipitação acumulada no bioma Amazônia para o período avaliado de desenvolvimento da cultura de soja na região (novembro a março).....	39
Figura 3.13 – Distância economicamente viável das APDs para a soja demonstrado através de buffer de 2.500 km em relação aos Portos de Paranaguá – PR e de Santos - SP.....	41

Figura 3.14 - Fluxograma do protocolo utilizado para a identificação de áreas para expansão agrícola da soja a partir das APDs oriundas de áreas convertidas identificadas na Amazônia brasileira para o ano de 2010.....	42
Figura 4.1 - Distribuição espacial dos municípios condizentes (verde) e não condizentes (vermelho) com as exigências de reservas florestais definidas no CFB e magnitude dos excedentes/déficits em relação à área total utilizável de cada município	47
Figura 4.2 - Balanço florestal do bioma Amazônia e dos diferentes estados constituintes para o ano de 2010.	50
Figura 4.3 - Distribuição espacial das APDs derivadas de pastagens degradadas, vegetação secundária e áreas legalmente disponíveis com restrição de uso no bioma Amazônia para o ano de 2010. Nos quadrantes A, B, C e D é possível observar os diferentes padrões espaciais encontrados.	52
Figura 4.4 – Distribuição espacial das APDs para expansão agrícola no bioma Amazônia.	62
Figura 4.5 - APDs efetivamente apropriadas para cultivo da soja.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Síntese das diretrizes de conservação e restauração ambiental previstas no CFB (BRASIL, 2012) para municípios situados no bioma Amazônia.	27
Tabela 3.2 - Classes de declividade segundo a classificação, graus de limitação e considerações inerentes a cada classe.	31
Tabela 3.3 - Variáveis utilizadas para determinar a viabilidade econômica dos diferentes polígonos de APDs para o cultivo da soja.....	40
Tabela 4.1 - Áreas potencialmente disponíveis para expansão agrícola no bioma Amazônia quantificadas a partir de remanescentes florestais e áreas convertidas até o ano de 2010.	46
Tabela 4.2 - Proporção de municípios em cada estado amazônico com ativo (excedente florestal) e passivo (déficit florestal) para o ano de 2010.	48
Tabela 4.3 - Emissões de CO ₂ que seriam ocasionadas em cada estado pela conversão das APDs provenientes de floresta. Valores apresentados em unidades de Petagramas (Pg).....	49
Tabela 4.4 - Emissões de CO ₂ que seriam ocasionadas em cada estado pela conversão das APDs provenientes de floresta após a compensação entre municípios do mesmo estado. Valores apresentados em unidades de Petagramas (Pg).	50
Tabela 4.5 - APDs identificadas a partir de diferentes classes de uso e cobertura da terra, livres de qualquer impedimento legal e com potencial produtivo favorável.	51
Tabela 4.6 - Áreas impróprias para agricultura em cada estado, devido à baixa fertilidade e/ou declividade do terreno.....	53
Tabela 4.7 – Áreas próprias e impróprias para cultivo da soja em cada estado monitorado pela Moratória da soja.....	55

Tabela 4.8 - Áreas próprias e impróprias para cultivo da soja em função dos regimes de temperatura e precipitação.	57
Tabela 4.9 - Áreas próprias e impróprias economicamente para cultivo da soja no bioma Amazônia.	59
Tabela 4.10 – APDs totais próprias e impróprias para cultivo da soja no bioma Amazônia.	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIOVE	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
ANEC	Associação Nacional dos Exportadores de Cereais
APD	Área Potencialmente Disponível
APP	Área de Preservação Permanente
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CFB	Código Florestal Brasileiro
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CRA	Cota de Reserva Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
Modis	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MT	Ministério dos Transportes
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PIs	Planos de Informação
PPCDAm	Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PNMC	Plano Nacional de Mudanças Climáticas
Prodes	Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite
RL	Reserva Legal
SIFRECA	Sistema de Informações de Fretes
SIGs	Sistemas de Informação Geográfica
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UCs	Unidades de Conservação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	HIPÓTESE DE TRABALHO	3
1.2	OBJETIVOS	3
1.2.1	Objetivo geral	3
1.2.2	Objetivos específicos	3
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1	Os desafios para a expansão agrícola no mundo	5
2.2	Os desafios para a expansão agrícola no Brasil.....	6
2.3	Sensoriamento Remoto e Geotecnologias para monitoramento da mudança da cobertura da terra	8
2.3.1	Mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira - TerraClass	9
2.3.2	Sistemas de Informação Geográfica e análise espacial de dados	13
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Área de estudo	19
3.2	Aquisição e processamento de dados	21
3.2.1	Áreas Potenciais para expansão agrícola de soja.....	33
3.2.1.1	Parâmetros para delimitar APDs para o cultivo da soja	34
3.2.1.1.1	Restrições legais (Moratória da soja).....	35
3.2.1.1.2	Temperatura e precipitação.....	36
3.2.1.1.3	Restrições econômicas (distância aos portos).....	39
3.2.1.1.4	APD total para expansão agrícola da soja no bioma Amazônia ...	42
4	RESULTADOS.....	45

4.1	APDs para expansão agrícola.....	45
4.2	APDs para expansão agrícola da soja.....	53
4.2.1	APDs para a expansão do cultivo da soja em acordo com Moratória da soja.....	54
4.2.2	APDs para a expansão do cultivo da soja de precipitação e temperatura adequadas.....	56
4.2.3	APDs economicamente viáveis para a expansão do cultivo da soja	58
4.2.4	APD para expansão agrícola de soja total	60
4.3	Discussão	64
4.3.1	Implicações à tomada de decisões	67
5	CONCLUSÃO.....	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
	APÊNDICE A - MAPA DE FERTILIDADE DOS SOLOS DO BIOMA AMAZÔNIA	83
	APÊNDICE B – MUNICÍPIOS DO BIOMA AMAZÔNIA MONITORADOS PELA MORATÓRIA DA SOJA NO PERÍODO 2006-2010.....	87
	APÊNDICE C – DADOS UTILIZADOS NO ESTUDO, DESCRIÇÃO E FONTE PARA AQUISIÇÃO.....	89

1 INTRODUÇÃO

As terras disponíveis para expansão agrícola vêm se tornando um recurso cada vez mais escasso em várias regiões do globo (LAMBIN; MEYFROIDT, 2011; LAMBIN et al., 2013). Na prática, a expansão da fronteira agrícola já se concentra prioritariamente nas regiões tropicais (GIBBS et al., 2010; HANSEN et al., 2009). A Amazônia brasileira, em particular, é apontada como um dos principais estoques de terras agricultáveis no mundo atualmente (RAMANKUTTY et al., 2008; CAI et al., 2011; LAMBIN et al., 2013). Todavia, do ponto de vista legal, agrônômico e ambiental, muito pouco ainda se sabe sobre a real disponibilidade e viabilidade de terras para expansão agrícola nesta região.

Desde meados dos anos 2000, o governo Brasileiro vem adotando diversas medidas para reduzir o desmatamento na Amazônia, que caiu 79% no período 2004-2013 (de 27.772 km² para 5.891 km²) (INPE, 2014). O fortalecimento das estratégias de comando e controle, assim como a adoção de políticas de crédito condicionado, tornaram-se mecanismos importantes para o combate do desmatamento ilegal (ASSUNÇÃO et al., 2012; MACEDO et al., 2012). Além disso, a forte expansão da rede de áreas protegidas reduziu a disponibilidade de terras públicas sem destinação, uma fonte histórica de desmatamento e apropriação de terras nesta região (BOUCHER et al., 2013; DALLANORA et al., 2014). Todas estas medidas, em conjunto com políticas de uso da terra anteriores (Código Florestal Brasileiro), passaram a impor maiores restrições ao modelo tradicional de expansão agrícola na Amazônia.

Por outro lado, além das questões mais recentes de cunho político e legal, o potencial agrícola desta região é também afetado por aspectos ambientais, biofísicos, logísticos e tecnológicos, como os regimes de temperatura e precipitação tolerados por culturas específicas, a disponibilidade de infraestrutura e a própria aptidão agrícola dos solos (VERA-DIAZ et al., 2008; HISSA et al., 2014). Estes fatores estão diretamente relacionados à viabilidade econômica da expansão agrícola na Amazônia, assim como, ao desenvolvimento sustentável deste setor (NEPSTAD et al., 2006; LAMBIN et al.,

2013). Em outras palavras, o potencial de expansão agrícola da Amazônia envolve uma série de fatores determinantes diretos e indiretos que ainda permanecem pouco entendidos ou subestimados.

Alguns trabalhos anteriores buscaram estimar a disponibilidade de terras para expansão agrícola (IIASA/FAO, 2012; ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012). De maneira geral, estes levantamentos ou se basearam apenas em parâmetros biofísicos, como padrões de temperatura, precipitação e tipos de solos (IIASA/FAO, 2012), ou na identificação de classes específicas de uso da terra que poderiam ser utilizadas na agricultura como pastagens degradadas ou áreas abandonadas (CAMPBELL et al., 2008; CAI et al., 2011). Todavia, em ambos os casos as estimativas produzidas apoiaram-se em parâmetros restritos, utilizando bases de dados globais e de baixo nível de detalhamento. Além disso, tais estudos desconsideraram fatores intra-regionais importantes como políticas de conservação e de uso da terra específicas, portanto, inconsistentes com o nível de detalhamento necessário a tomadas de decisão.

Neste sentido, pergunta-se: qual é a extensão e localização das áreas disponíveis para expansão agrícola na Amazônia brasileira? Para responder a esta questão, nesta pesquisa foi realizado um levantamento detalhado da disponibilidade e localização de terras em potencial para expansão agrícola no bioma Amazônia, tomando como base: (i) áreas florestais nativas legalmente disponíveis e (ii) áreas já convertidas com potencial produtivo favorável e livres de quaisquer tipos de conflitos de uso. Adicionalmente, esta pesquisa também discutiu as implicações políticas, ambientais e econômicas inerentes à exploração agrícola das áreas identificadas sob a luz do Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm, 2004), do Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) (BRASIL, 2009) e do Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012). Em última instância, o produto desta pesquisa visa subsidiar o debate de novas políticas públicas de ordenamento territorial e desenvolvimento sustentável do setor agrícola na Amazônia.

1.1 HIPÓTESE DE TRABALHO

Este trabalho teve como base a seguinte hipótese de trabalho:

- Não existem áreas potencialmente disponíveis para expansão agrícola no bioma Amazônia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

- Localizar e quantificar Áreas Potencialmente Disponíveis (APDs) para a expansão agrícola no bioma Amazônia com base em dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, tomando por base o ano de 2010.

1.2.2 Objetivos específicos

- Criar um banco de dados geográficos para integrar os seguintes Planos de Informação (PIs): mapa de uso e cobertura da terra, mapa de fertilidade natural dos solos, mapa de declividade, mapa de biomassa e mapa de unidades territoriais.
- Realizar a intersecção dos PIs acima descritos para investigar a ocorrência de áreas potencialmente disponíveis ou áreas restritas para expansão agrícola no bioma Amazônia, tendo como base o ano de 2010.
- Estimar o impacto da conversão de áreas florestais disponíveis, determinadas com base nas diretrizes do Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), em termos de volume de emissões de carbono.

- A partir das áreas identificadas como APDs, discriminar aquelas em potencial para expansão da cultura da soja com base em parâmetros climáticos, econômicos e legais específicos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Os desafios para a expansão agrícola no mundo

A conversão de áreas naturais para agricultura e pecuária tem sido considerada o principal fator determinante das mudanças ambientais globais (TURNER et al., 2007). Contudo, o crescimento populacional e o aumento da renda per capita devem pressionar ainda mais a demanda global por alimentos, fibras e biocombustíveis a curto e médio prazo (FOLEY et al., 2005; GIBBS et al., 2010). Por outro lado, os setores produtivos terão que enfrentar vários desafios para atender a esta demanda crescente, embora nas últimas décadas a produção agrícola mundial tenha se elevado substancialmente (MEYFROIDT; LAMBIN, 2011).

De acordo com o relatório *World Population Prospects - The 2012 Revision*, elaborado pelas Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2013), a população mundial poderá chegar a 9.6 bilhões de pessoas em 2050. A percepção de que a taxa de crescimento da produção de alimentos está sendo superada pelo crescimento populacional tem causado preocupação com relação à segurança alimentar (ALEXANDRATOS; BRUISMA, 2012). Segundo Gibbs et al. (2010), para atender à demanda mundial de alimentos projetada para as próximas décadas, será necessário um aumento de aproximadamente 50% na produção agrícola comparado aos níveis atuais. Entretanto, a disponibilidade de terras para expansão agrícola já atinge níveis críticos em várias regiões do globo (LAMBIN et al., 2013).

Estima-se que, para atender à demanda global por *commodities* agrícolas até 2030, serão necessários mais 792 milhões de hectares de terra para a agricultura (LAMBIN; MEYFOIDT, 2011). Todavia, apenas 598 milhões de hectares estariam disponíveis atualmente, de acordo com estimativas mais recentes (LAMBIN et al., 2013). Segundo Foley et al. (2011), a maior parte estaria concentrada nas regiões tropicais, onde a expansão agrícola tem se consolidado através da conversão de florestas primárias. Gibbs et al. (2010) analisaram as principais fontes de terras ocupadas pela agricultura no

período de 1980 a 2000 e observaram que mais de 80% da expansão agrícola sobre os trópicos ocorreu em áreas de floresta intacta e floresta degradada (Figura 2.1). Todavia, este processo levanta grandes preocupações em relação à sustentabilidade destes ecossistemas, bem como dos bens e serviços por eles ofertados como a manutenção do ciclo hidrológico, a estocagem de carbono e a conservação da biodiversidade (O'CONNOR, 2008).

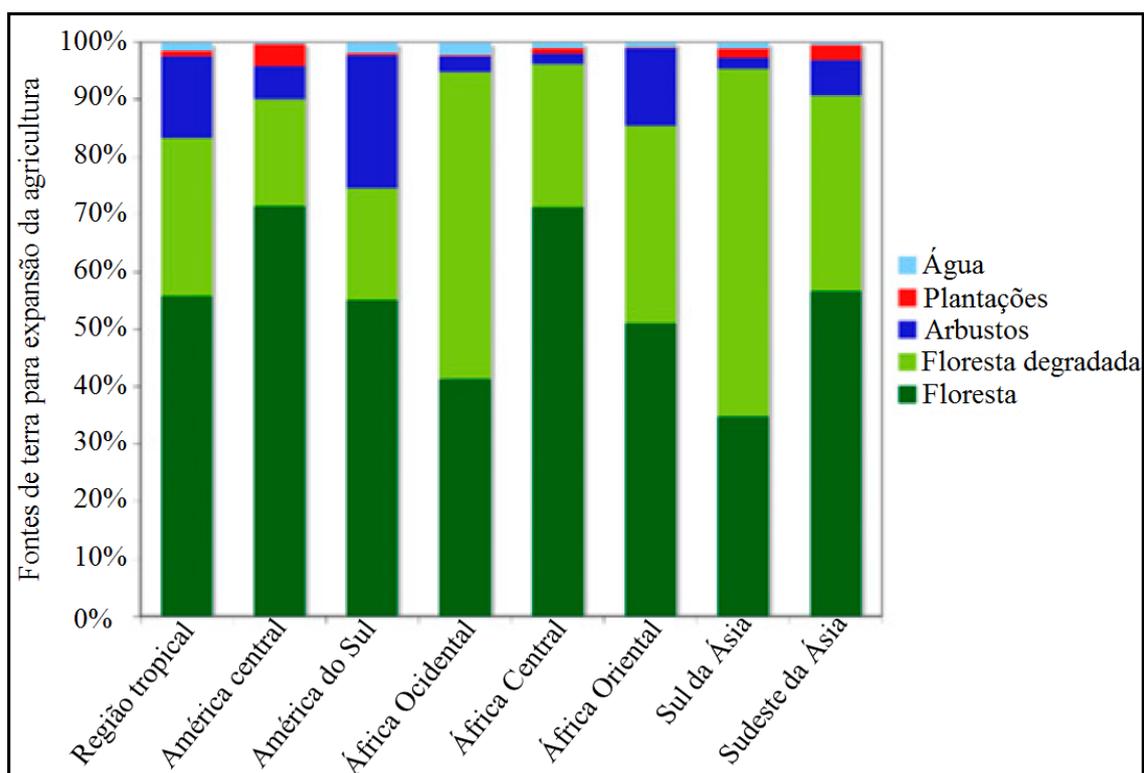


Figura 2.1 – Fontes de terras para expansão agrícolas no período 1980-2000 nas principais regiões tropicais do globo.

Fonte: adaptada de Gibbs et al. (2010).

2.2 Os desafios para a expansão agrícola no Brasil

No Brasil, 18,4% da Amazônia havia sido desmatada até o ano de 2010 (INPE, 2013). A expansão do agronegócio nesta região tem sido apontada como uma das principais

causas do desmatamento (LAURANCE et al., 2001; NEPSTAD et al., 2009). Além de ser a maior fonte de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, o desmatamento também resulta na perda da qualidade dos solos, diminuição da quantidade e qualidade da água, alterações climáticas e redução da qualidade do ar (FOLEY et al., 2005, 2007).

Aproximadamente 54% dos remanescentes florestais no bioma Amazônia já se encontram na condição de áreas protegidas sob diferentes regimes de conservação (SOARES-FILHO et al., 2010). Além disso, 80% das áreas privadas também devem ser destinadas a proteção da biodiversidade na condição de Reservas Legais conforme regulamentado pelo novo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012). A disponibilidade de novas áreas para expansão agrícola nesta região pode ser bastante limitada, impondo maiores desafios para atender ao crescimento esperado da produção de alimentos no país (SIMON; GARAGORRY, 2005).

Neste sentido, compatibilizar crescimento da produção agropecuária e a conservação da biodiversidade e de serviços ecossistêmicos representa um dos maiores desafios a serem enfrentados no Brasil durante as próximas décadas (FOLEY et al., 2011). A intensificação do uso da terra tem sido apontada como solução crucial para aumentar a produção agrícola de modo a satisfazer a demanda futura (TILMAN et al., 2011). Todavia, o real efeito de eventuais ganhos de produtividade na redução do desmatamento ainda é incerto e tem sido pouco explorado (PHELPS et al., 2013). Estudos recentes têm demonstrado que o aumento da produtividade agrícola no Brasil tem levado na prática à maior expansão agrícola em regiões de fronteira como a Amazônia (BARRETTO et al., 2013; GARRETT et al., 2013). Os ganhos de produtividade podem tornar a agricultura mais rentável e ocasionar aumento da área agrícola ao invés de causar a sua redução.

A melhoria na eficiência do uso da terra pode ser uma política mais consistente para o desenvolvimento sustentável deste setor ao invés do enfoque exclusivo em intensificação (LAMBIN; MEYFROIDT, 2011). Recuperar áreas degradadas, abandonadas ou subaproveitadas representa um fator chave para harmonizar produção

agrícola e conservação ambiental (LAMBIN et al., 2013). Obviamente que esta estratégia inclui, indiretamente, ganho de produtividade, porém, o maior problema constitui no conhecimento limitado ou nulo sobre a real disponibilidade, localização e potencial destas áreas de interesse.

2.3 Sensoriamento Remoto e Geotecnologias para monitoramento da mudança da cobertura da terra

Por definição, o sensoriamento remoto é a técnica de aquisição de informações de objetos que estão na superfície terrestre por instrumentos sensores remotamente posicionados (JENSEN, 2009). Estes sistemas sensores, que geralmente estão a bordo de satélites, operam em faixas específicas do espectro eletromagnético. Dados coletados (radiação refletida ou emitida) em cada sensor são expressos na forma de imagem. Desta forma, informações sobre os objetos existentes na superfície terrestre podem ser analisadas em diferentes faixas espectrais. Estes dados, quando tratados e manipulados por meio de técnicas de geoprocessamento são considerados uma ferramenta eficaz para análise da mudança do uso da terra, tanto por fenômenos naturais como antrópicos. Além da possibilidade de se avaliar uma grande área remotamente, o baixo custo e a rápida execução tornam o sensoriamento remoto indispensável principalmente em estudos de planejamento ambiental e de monitoramento agrícola. Existe uma variada gama de instrumentos e sensores que fornecem dados sobre a superfície terrestre em diferentes resoluções espaciais, espectrais e temporais (MOREIRA, 2005).

Dentre as principais aplicações do sensoriamento remoto está o monitoramento de alterações na cobertura vegetal nativa pela interferência antrópica (ZHAN et al., 2002). No Brasil, desde 1988 a floresta Amazônica vem sendo monitorada sistematicamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (Prodes), que utiliza imagens de média resolução espacial, principalmente imagens do sensor TM/ Landsat. O Prodes fornece estimativas anuais de desmatamento, as quais fundamentam muitas

decisões do governo brasileiro, dentre elas a meta de redução voluntária de 80% do desmatamento até 2020 (BRASIL, 2009).

Os resultados apresentados pelo Prodes são baseados na classificação de imagens do satélite Landsat cobrindo toda a extensão da Amazônia brasileira, as quais são selecionadas dentro da estação seca para o ano de interesse, visando assim obter a cobertura mínima de nuvens, boa visibilidade e adequada qualidade radiométrica. Essas imagens são georreferenciadas com imagens ortorretificadas produzidas pelo projeto Geocover da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Para que antigos desmatamentos não sejam novamente mapeados, uma máscara contendo todas as áreas de corte raso já detectadas no passado é gerada, e assim a identificação de novos desmatamentos é realizada por fotointerpretação com base na tonalidade, textura e contexto (INPE, 2013).

2.3.1 Mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira - TerraClass

Além de identificar e monitorar desmatamentos de extensas áreas como a Amazônia Legal, o sensoriamento remoto permite compreender e analisar detalhadamente a dinâmica, ocupação e tendências do uso e cobertura da terra, caracterizando os principais fatores e processos responsáveis por sua ocorrência (MORTON et al., 2006). Neste sentido, o INPE e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) realizaram a qualificação das áreas mapeadas pelo Prodes como desmatamento através de um projeto denominado TerraClass. Até o ano de 2010, 739.672,5 km² de desmatamento haviam sido mapeados e foram qualificados em 11 classes distintas, gerando informações inéditas e espaciais para os estados amazônicos, como apresentado na Figura 2.2. As classes são: agricultura anual, mosaico de ocupações, área urbana, mineração, pasto limpo, pasto sujo, regeneração com pasto, pasto com solo exposto, vegetação secundária, outros e reflorestamento (classe incluída no ano de 2010) (INPE, 2013).

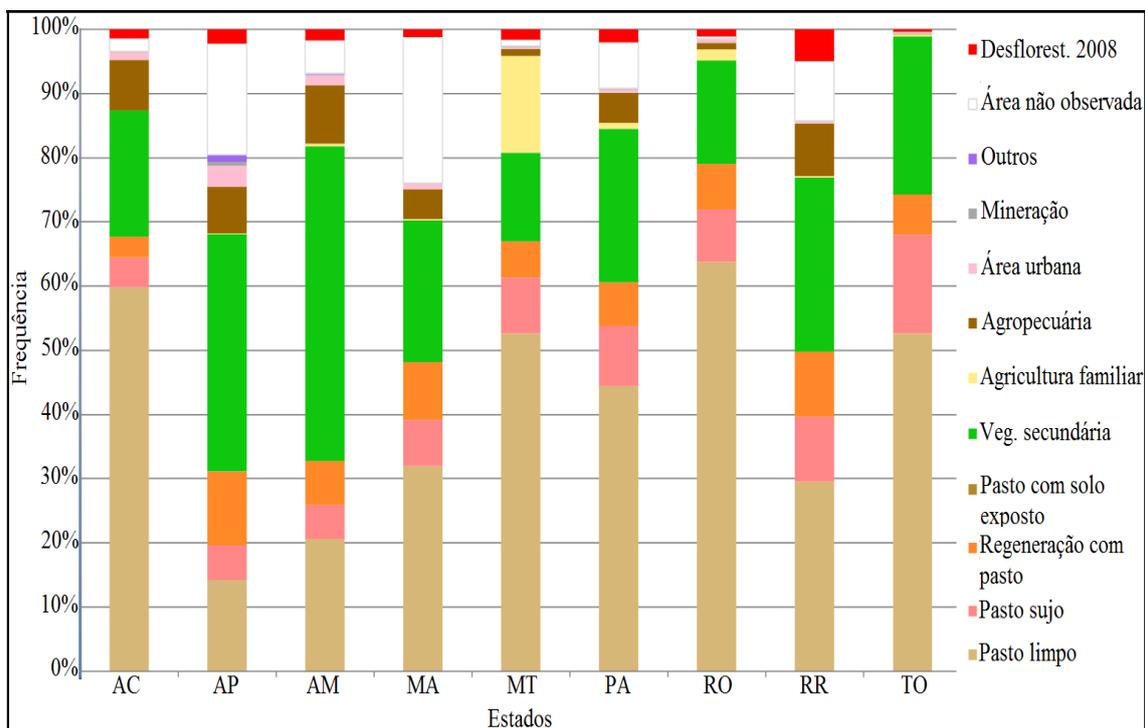


Figura 2.2 - Classes temáticas de uso da terra mapeadas pelo TerraClass nas áreas desmatadas dos nove estados da região Amazônica. As classes e frequência de ocorrência apresentadas na figura são referentes à qualificação das áreas desflorestadas até o ano de 2008.

Fonte: adaptada do TerraClass (2010).

Além das classes temáticas citadas, o projeto TerraClass considera as classes floresta, não floresta, hidrografia, área não observada e o desflorestamento ocorrido no ano base do mapeamento TerraClass, uma vez que o uso e ocupação ainda não são identificados por não haver uma categoria de uso definida para caracterização dos mesmos. Estas classes temáticas são provenientes do projeto Prodes (INPE, 2013). Para a identificação e mapeamento das classes de uso e ocupação nas áreas desflorestadas, diferentes técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são empregadas, uma vez que a existência de metodologias adequadas para cada alvo facilita o trabalho (INPE, 2010). A Figura 2.3 apresenta, de forma sintetizada, a ordem e procedimentos realizados para mapeamento das classes e a formação do banco de dados do projeto TerraClass.

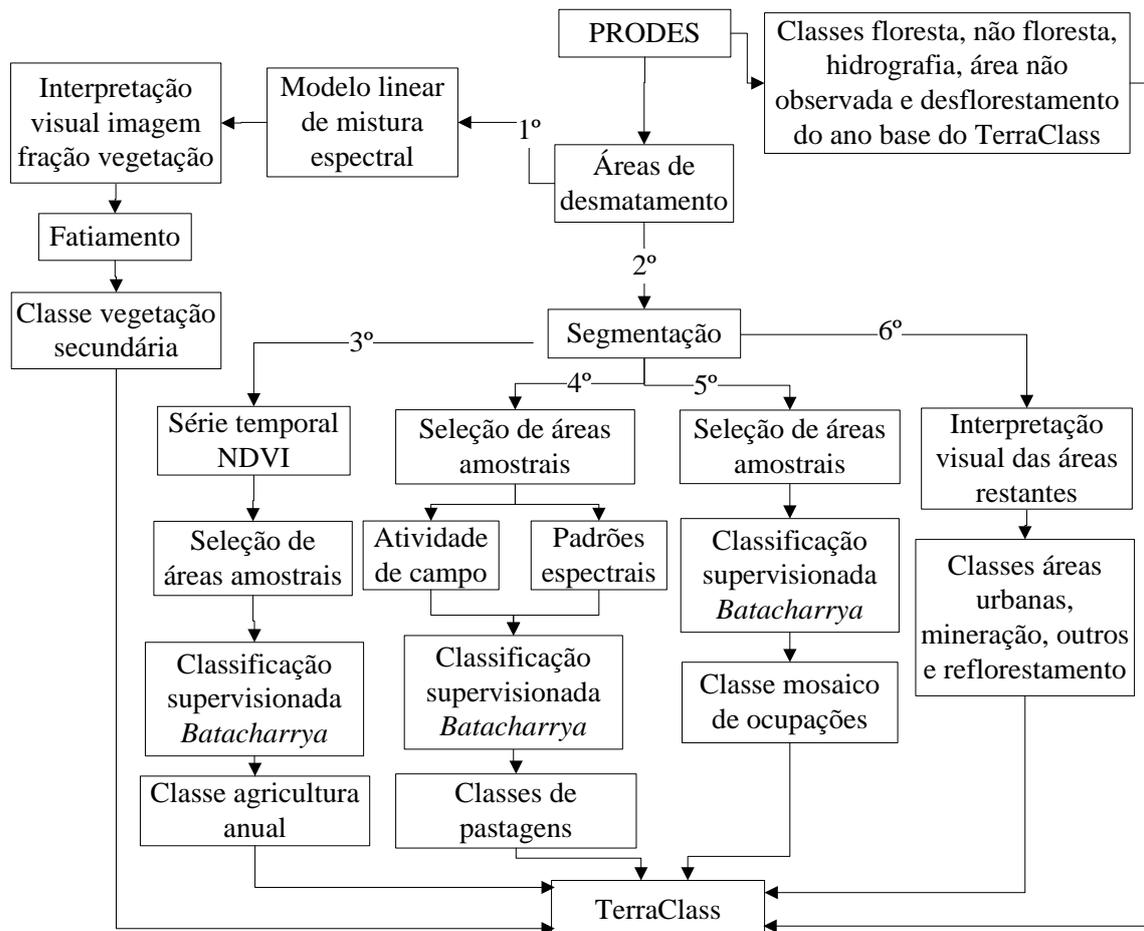


Figura 2.3 - Fluxograma sintetizando a ordem e os procedimentos realizados para identificação das classes mapeadas pelo TerraClass. Os números ordinais presentes nos conectores representa a ordem em que os procedimentos foram realizados. As classes floresta, não floresta, hidrografia, áreas não observadas e desflorestamento do ano base do TerraClass são provenientes do projeto Prodes.

Primeiramente, nas áreas desflorestadas identificadas pelo Prodes, é realizado procedimento de classificação de imagens baseado no Modelo Linear de Mistura Espectral para identificação das áreas de vegetação secundária. Esta técnica se baseia na identificação de três componentes principais nas imagens orbitais que são o solo, a vegetação e sombra/água (SHIMABUKURO; SMITH, 1991). Posteriormente, é realizada a interpretação visual com base na imagem fração vegetação e bandas

originais para identificar o número digital da vegetação secundária. A partir do intervalo de ocorrência conhecido, aplica-se fatiamento da imagem para criar uma imagem temática classificada com apenas vegetação secundária (ALMEIDA et al., 2010).

Após delimitar as áreas de vegetação secundária, é executado um processo de segmentação das imagens Landsat-5/TM. A segmentação é executada de forma a orientar a classificação supervisionada para identificação das classes de agricultura anual, classes de pastagem e mosaico de ocupações nas demais áreas desflorestadas (INPE, 2013). Este procedimento tem como objetivo fragmentar uma imagem em unidades homogêneas levando em consideração características intrínsecas, como por exemplo, o nível de cinza dos pixels (WOODCOCK et al., 1994).

Para a identificação das áreas agrícolas, séries temporais de Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada (NDVI) obtidos de imagens do sensor Modis (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) são utilizadas. Nesta técnica, os elementos da imagem são classificados com base no seu comportamento espectro-temporal, uma vez que a variação sazonal de fitomassa das áreas de cultura agrícola apresentam um comportamento temporal característico (JIANG et al., 2008). Este dado é utilizado para a escolha de regiões amostrais do processo de classificação supervisionada na imagem segmentada (Landsat-5/ TM) e é adotado o classificador *Bhattacharya*. O resultado obtido corresponde ao mapeamento da agricultura anual (INPE, 2013).

Posteriormente, nas áreas não classificadas das imagens segmentadas, é realizada classificação supervisionada para identificar as subclasses de pastagem utilizando também o algoritmo *Battacharya*. Seleção de amostras de treinamento proveniente de dados coletados em campo de forma aleatória e feições espectrais nas imagens são relacionadas com os padrões de uso da terra encontrados no campo. Além disso, as características das regiões delimitadas pelo processo de segmentação, como cor, textura, contexto e tamanho são analisadas para a discriminação das diferentes categorias de pastagem. Pasto limpo, pasto sujo, regeneração com pasto e pasto com solo exposto são os mapeamentos resultantes desta etapa (INPE, 2013).

O processo de identificação e mapeamento da classe temática mosaico de ocupações é o mesmo adotado para as classes de pastagem, ou seja, é realizado seleção de amostras e classificação supervisionada com o algoritmo *Battacharya* nas áreas ainda não classificadas. Esta classe é composta por diversas modalidades de uso e cobertura da terra com agricultura tradicional realizada de forma simultânea ao sistema de pecuária. Por fim, as demais classes, área urbana, mineração, outros e reflorestamento são identificadas por interpretação visual baseada no padrão encontrado (INPE, 2013).

Os resultados do mapeamento foram validados com levantamento de campo e análise de imagens de satélite de alta resolução (Spot – 2,5 metros). A validação consistiu no sorteio de pontos amostrais que inicialmente foram sobrepostos às imagens para avaliar o padrão e definição da classe temática a que pertenciam. Posteriormente os pontos foram sobrepostos ao mapa elaborado pelo TerraClass para verificação da classe temática definida pelo projeto. Além disso, em alguns casos a verificação a campo também foi realizada. A taxa de acerto do mapeamento foi de 76,6% (INPE, 2013).

As taxas de desmatamento obtidas por meio do Prodes e o uso da terra nas áreas desflorestadas mapeados pelo TerraClass, bem como todas as imagens utilizadas, mapas e polígonos gerados são de domínio público (INPE, 2013). Entretanto, estes recursos permanecem ainda pouco explorados, embora sejam reconhecidos como elementos de grande importância para a pesquisa científica nacional e internacional (CÂMARA et al., 2013). O uso de dados de diferentes fontes obtidos por sensoriamento remoto pode subsidiar o desenvolvimento de análises inovadoras e com potencial de cobrir grandes áreas como a Amazônia Brasileira.

2.3.2 Sistemas de Informação Geográfica e análise espacial de dados

Dados de diferentes fontes podem ser integrados em um único banco de dados por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), que são sistemas que realizam

tratamento computacional de dados geográficos. A potencialidade principal de um SIG está na sua capacidade de realizar análises complexas de representações de dados espaciais permitindo combinar informações por meio de algoritmos de manipulação e análise integrando-os em uma única base de dados geográficos (CASANOVA et al., 2005). Além disso, oferecem uma visão diferenciada do ambiente em estudo inter-relacionando todas as informações disponíveis com base na localização geográfica, sendo esta uma característica fundamentalmente comum (CÂMARA et al., 2001). Basicamente, um SIG apresenta cinco componentes que se relacionam de forma hierárquica, conforme mostra a Figura 2.4.

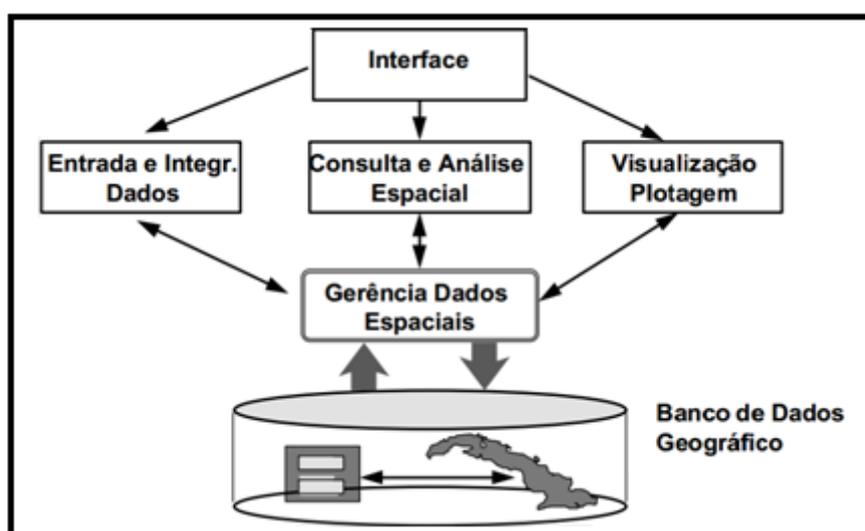


Figura 2.4 - Estruturação de Sistemas de Informação Geográfica.

Fonte: CÂMARA et al. (2001).

A interface é o nível mais próximo ao usuário (homem-máquina) e define como o sistema é operado. Entrada, mecanismos de conversão e processamentos de dados espaciais devem estar em um nível intermediário do SIG possibilitando manipulação e análise, bem como consulta e visualização do conteúdo da base de dados. Um sistema de gerência de banco de dados geográficos no nível mais interno do SIG oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos (CÂMARA et al. 2001).

Os dados geográficos em um SIG são estruturados por um conjunto de níveis, camadas ou Planos de Informações (PIs) que variam em número, formatos e temas dependendo da necessidade de cada estudo (CÂMARA et al., 2001). Para que as operações realizadas pelo SIG sejam eficientemente executadas, é necessário que os PIs estejam representados em modelos geométricos para representação da componente gráfica. Em geral, os SIGs suportam dois modelos, sendo eles: i) matricial (ou raster); e ii) vetorial (Figura 2.5). No modelo matricial o terreno é representado por uma matriz composta por células, onde cada célula é referenciada por uma linha e coluna e apresenta um valor referente a um atributo. No modelo vetorial, a feição geométrica do elemento e a localização são representadas por vértices definidos por um par de coordenadas que, dependendo da sua forma e escala cartográfica, podem ser expressos por pontos, linhas ou polígonos (DRUCK et al., 2004).

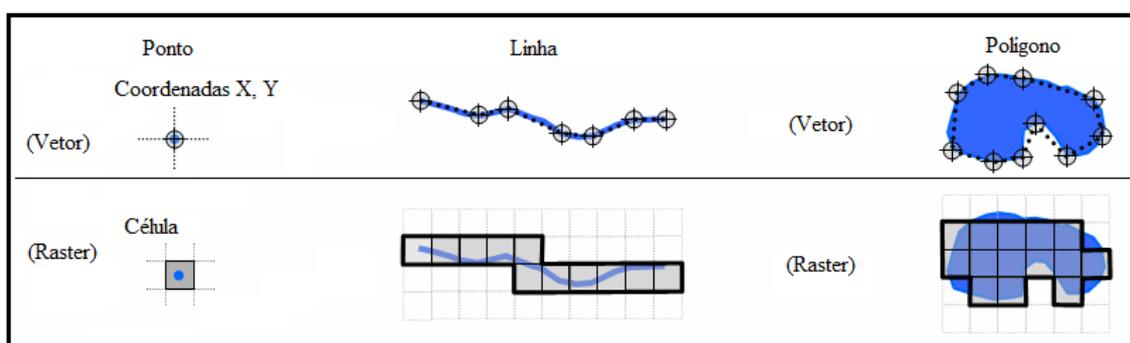


Figura 2.5 - Representações matricial e vetorial em SIGs.

Fonte: Adaptada de <http://www.innovativegis.com> (2015).

Os PIs para um determinado estudo podem pertencer a diferentes classes de dados relacionados com os formatos (ou modelos) de representação disponíveis no SIG utilizado. Normalmente, para cada PI de uma dada especialidade existe uma representação mais utilizada, mas existem mecanismos de conversão entre os tipos de representações possíveis. Desta forma, diferentes variáveis podem ser integradas ao banco de dados e diferentes estudos podem ser realizados combinando fenômenos de interesse (CÂMARA et al., 2001).

Técnicas de análise espacial são ferramentas de análise em SIGs que permitem a combinação de dados para analisar e descrever interações existentes, auxiliando na redução da incerteza presente quando analisados os dados individualmente (BURROUGH; MCDONNELL, 1998). Tomlin (1990) definiu o conjunto de procedimentos de análise espacial capaz de produzir novos dados a partir de funções de manipulação realizadas em um ou mais mapas de “Álgebra de Mapas”. As operações desta linguagem podem ser realizadas sobre mapas que são tratados como variáveis individuais, sendo as funções aplicadas de forma homogênea a todos os pontos do mapa (CÂMARA et al., 2001). Reclassificação, intersecção (*overlay*), operações Booleanas e matemáticas entre mapas e consulta a banco de dados são operações de análise espacial (MOREIRA, 2005).

A operação Booleana é um dos métodos existentes de inferência espacial mais utilizado. Neste método, mapas binários são combinados através de operações condicionais, onde cada mapa é entendido como um PI, e a combinação lógica dos planos (seguindo uma sequência lógica) dá suporte à hipótese avaliada (ROSA, 2011). A abordagem Booleana é simples e robusta, sendo muito eficaz em casos onde limites são definidos por valores absolutos (BONHAM-CARTER, 1994). Utiliza os operadores lógicos “e”, que é a intersecção de dois ou mais conjuntos de dados, “ou” que é a união dos conjuntos em um único conjunto, “não” que recupera dados de um conjunto, mas não de outro e “xor” que recupera dados dos conjuntos que não pertençam aos dois simultaneamente (Figura 2.6). Estas operações servem para determinar se uma hipótese satisfaz ou não uma condição particular (BURROUGH; MCDONNELL, 1998). A combinação booleana de mapas em um SIG é diretamente análoga à sobreposição de mapas em formato analógico (BONHAM-CARTER, 1994).

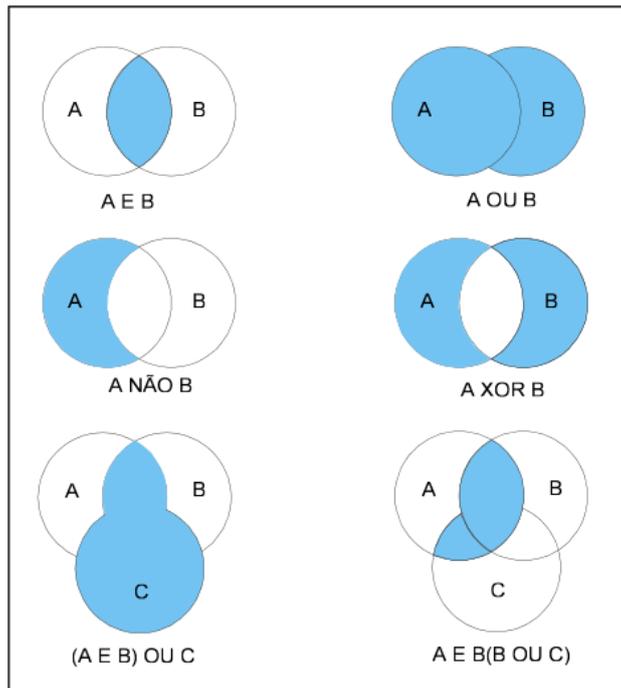


Figura 2.6 - Diagrama de Venn mostra os resultados da aplicação de operadores de lógica Booleana para dois ou mais conjuntos.

Fonte: adaptada de Burrough e McDonnell (1998).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O bioma Amazônia possui uma área de aproximadamente 4.200.000 km², que correspondem a 49% do território brasileiro (IBGE, 2004). Este bioma abrange total ou parcialmente os estados do Acre (AC), Amapá (AP), Amazonas (AM), Pará (PA), Roraima (RR), Rondônia (RO) Mato Grosso (MT), Maranhão (MA) e Tocantins (TO), conforme ilustrado na Figura 3.1a. Segundo Köppen e Geiger (1928) o clima da região é tropical (tipo A), mas três sub-climas podem ser identificados: equatorial chuvoso (Af), tropical de monção (Am) e tropical seco e úmido (Aw) (Figura 3.1b). A temperatura média anual é de 25°C, com pequenas variações ao longo do ano.

Os tipos de solos predominantes na Amazônia são Latossolos (~50%) e Podzóis (~30%) (Figura 3.1c) e o terreno é predominantemente plano com áreas levemente inclinadas de baixa suscetibilidade à erosão (IBGE, 2001). Os principais tipos de vegetação (Figura 3.1d) encontrados na Amazônia brasileira são Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Sempre-Verde e Campinarana - fitofisionomia típica da Amazônia - (IBGE, 2012). O bioma Amazônia também representa quase 30% das florestas tropicais remanescentes do mundo, e é considerado o maior reservatório de espécies de plantas e animais no mundo (SAYRE et al., 2008).

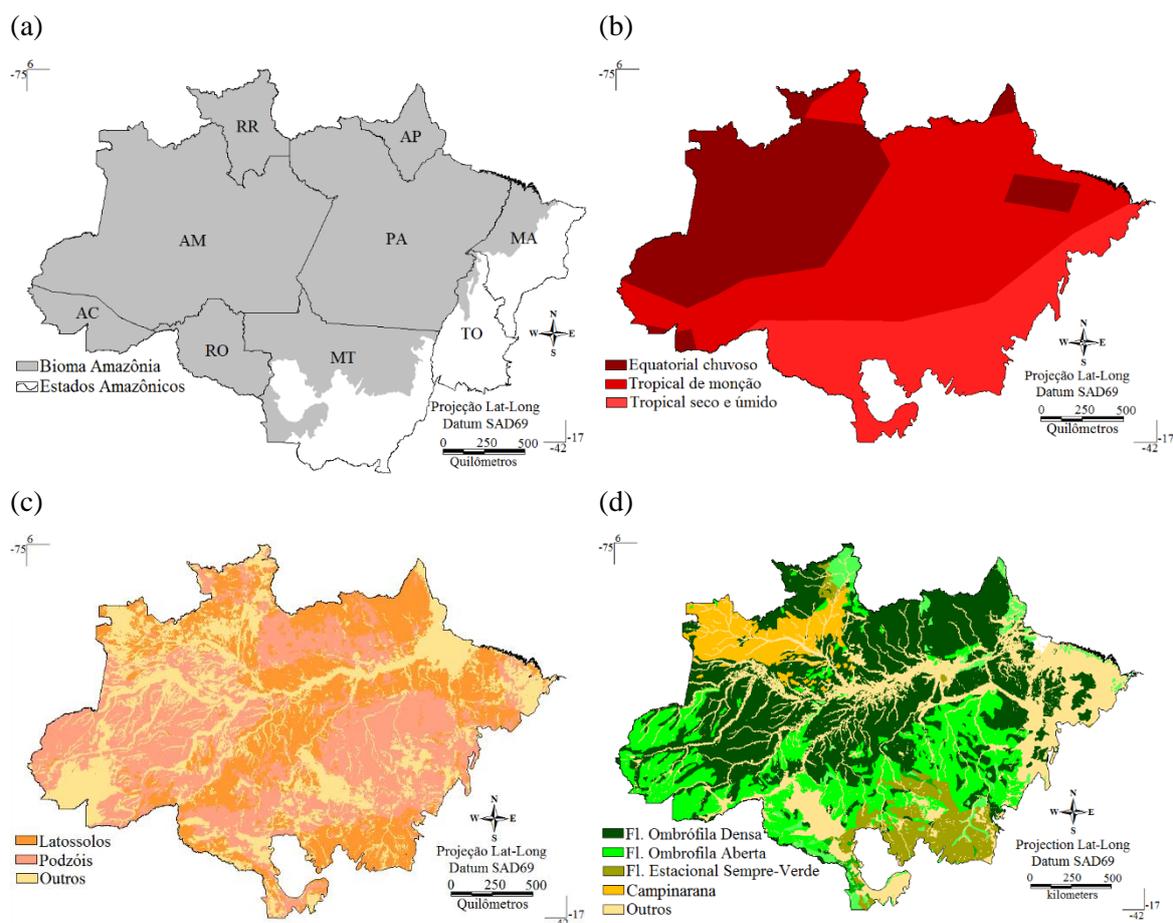


Figura 3.1 - Cobertura territorial (a), sub-climas (b), tipos de solo dominantes (c) e principais fitofisionomias vegetais (d) do bioma Amazônia.

Até dezembro de 2010, a área protegida por Unidades de Conservação (UCs) de proteção integral e de uso sustentável na Amazônia era de 1.110.652 km² (MMA, 2010). Além das UCs, as Terras Indígenas também são consideradas áreas protegidas, pois além de serem essenciais para a sobrevivência da população indígena, contribuem para a preservação do meio ambiente (BRASIL, 2006). Até 2010, havia 414 Terras Indígenas na Amazônia brasileira que juntas somavam 1.086.950 km² (MMA, 2010). Segundo Soares-Filho et al. (2010), as áreas protegidas têm sido um instrumento eficaz na conservação e proteção da integridade dos ecossistemas e da biodiversidade na Amazônia.

A ocupação territorial da região amazônica assumiu historicamente diferentes motivações, diretamente ligadas aos contextos políticos e econômicos em exercício (MACHADO, 2002). Até a década de 1960 as ações governamentais na Amazônia não tinham afetado significativamente a floresta (SERRA; FERNANDEZ, 2004). A partir do governo militar em 1964, esta região tornou-se um importante foco de atenção e o aumento de sua ocupação se deu principalmente a partir de projetos de assentamentos, estímulos à migração e implementação de grandes projetos de infraestrutura (BECKER, 2001).

Os processos de mudança da cobertura da terra na Amazônia também têm sido fortemente influenciados por fatores externos como o aumento da demanda de mercados internacionais e a valorização de *commodities* agropecuárias como carne e grãos (RUDEL et al., 2009; DEFRIES et al., 2010). O crescimento da renda também deu origem a um aumento significativo da demanda por alimentos e matérias-primas agrícolas, o que incentivou ainda mais a expansão do setor agropecuário (CARNEIRO, 2012). Ao longo desta trajetória de ocupação amazônica, aproximadamente 19% das florestas do bioma foram convertidos para uso humano, especialmente para a agricultura e pecuária (INPE, 2014).

3.2 Aquisição e processamento de dados

A identificação de Áreas Potencialmente Disponíveis (APDs) para a expansão agrícola no bioma Amazônia foi realizada com base na integração e análise de diferentes fatores determinantes espaciais, compilados em ambiente SIG e organizados em Banco de Dados Geográficos conforme apresentado na Figura 3.2. A Inferência Booleana (ROSA, 2011) foi a técnica utilizada para a combinação lógica de mapas binários, onde cada mapa corresponde a um PI e a combinação lógica dos planos dá suporte à questão avaliada.

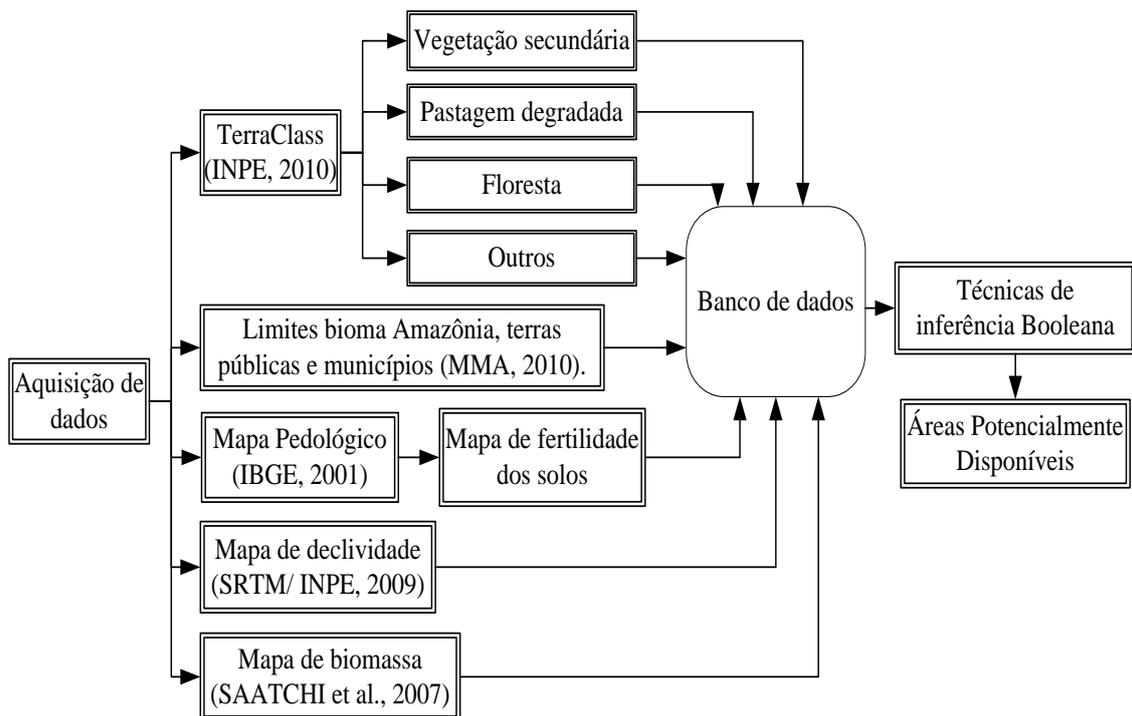


Figura 3.2 - Fluxograma dos dados utilizados para elaboração de banco de dados e identificação de APDs no bioma Amazônia para o ano de 2010.

Os dados de uso e cobertura da terra, base para identificar APDs provenientes de diferentes fontes, foram obtidos do mapeamento realizado pelo projeto TerraClass (INPE, 2013). Estas classes foram agrupadas e reclassificadas em quatro categorias de interesse conforme descrito a seguir e ilustrado na Figura 3.3:

- Floresta: áreas florestais nativas de formação primária em estágio clímax;
- Vegetação secundária: áreas previamente desmatadas (corte raso) em diferentes estágios de regeneração;
- Pastagem degradada: áreas de pastagem abandonadas ou subaproveitadas, marcadas por processos de regeneração, erosão e baixa produtividade;
- Outros: áreas consolidadas (zonas de urbanização, mineração, mosaico de ocupações), produtivas (agricultura anual, pastagens manejadas) ou marginais (afloramentos rochosos, bancos de areia, praias fluviais, corpos hídricos);

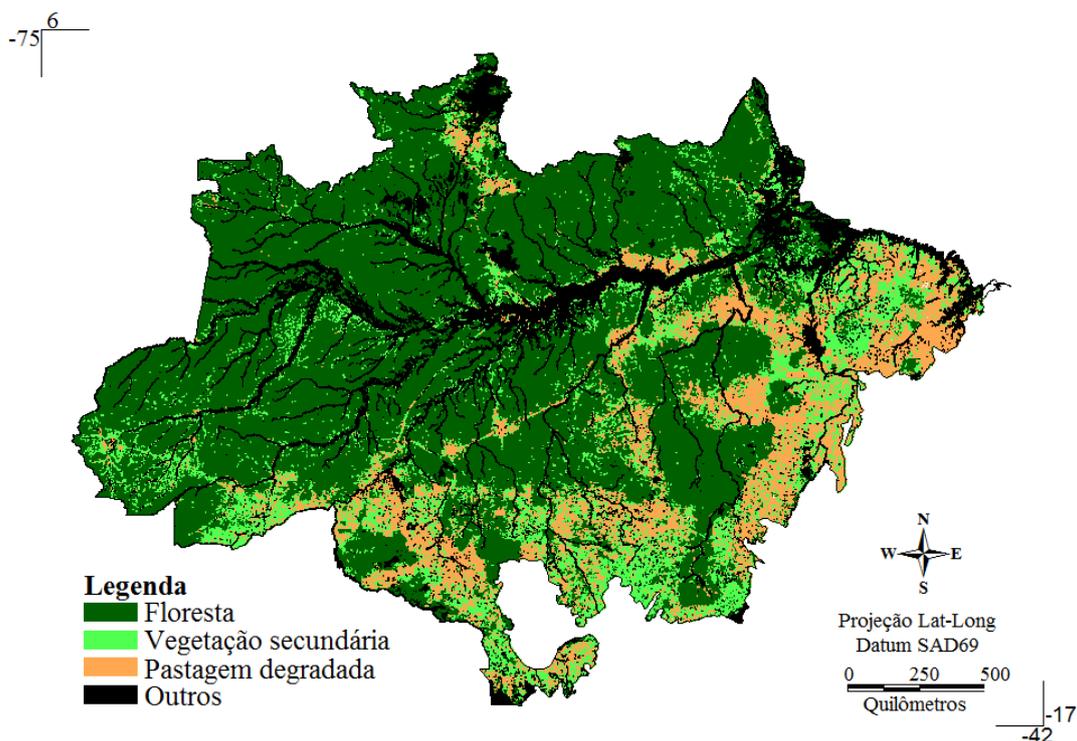


Figura 3.3 - Distribuição espacial das quatro classes de uso/cobertura da terra de interesse da pesquisa, organizadas a partir do mapeamento produzido pelo projeto TerraClass para o ano de 2010.

Fonte: INPE (2013).

As classes floresta, vegetação secundária e pastagem degradada foram assumidas como fontes potenciais primárias de APDs, enquanto que as terras consolidadas, produtivas ou marginais foram retiradas do protocolo de identificação. Pastagens manejadas não foram consideradas e também foram incluídas na classe “Outros”. A classe pastagem degradada é composta apenas por áreas de pasto sujo, pasto com solo exposto e regeneração com pasto. Desta forma, as principais áreas de produção de carne bovina da Amazônia brasileira não são consideradas fontes de terra para expansão agrícola nesta pesquisa. Uma vez discriminadas, as categorias de interesse foram testadas sistematicamente em relação à sua condição legal e potencial produtivo para determinar as APDs, conforme fluxograma metodológico apresentado na Figura 3.4.

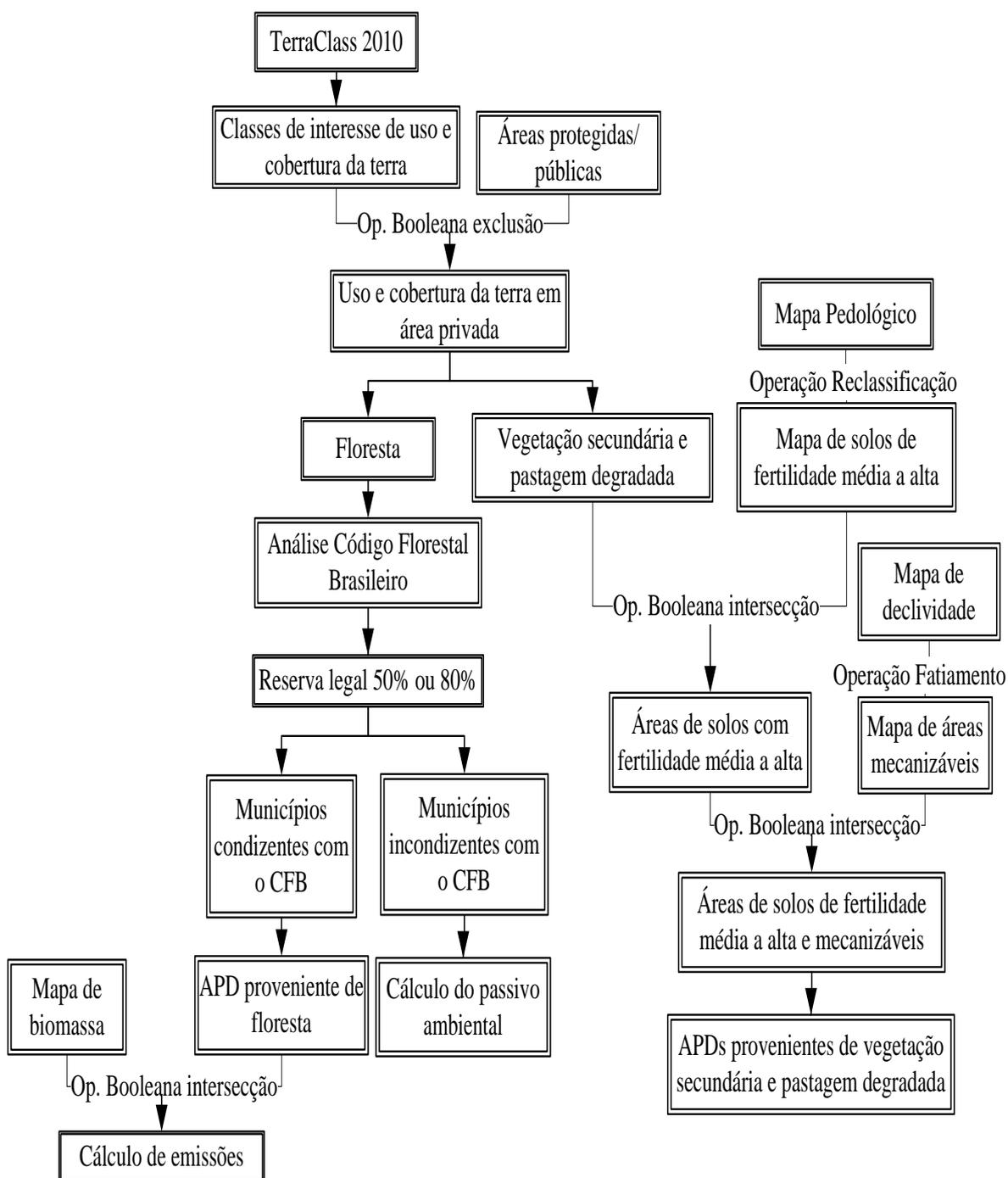


Figura 3.4 - Fluxograma do protocolo utilizado para a identificar APDs na Amazônia brasileira para 2010.

A condição legal das APDs foi expressa através da análise de eventuais conflitos de uso como a inserção em terras públicas (Figura 3.5) e o atendimento às exigências de

reservas florestais em áreas privadas que foram estimadas para cada município, conforme as novas diretrizes do Código Florestal Brasileiro (CFB) (BRASIL, 2012). Esta lei prevê o somatório de diferentes categorias de reservas como Reserva Legal¹ (RL) e Área de Preservação Permanente² (APP) a fim de satisfazer as exigências de áreas protegidas (50 a 80%) em propriedades privadas, as quais foram calculadas de forma agregada. A revisão desta lei também modificou regras aplicadas a casos específicos, conforme descrito em Soares-Filho et al. (2014) e sintetizado na Tabela 3.1. Todas as condições previstas à aplicação do CFB foram consideradas neste estudo, portanto, apenas os excedentes florestais legalmente disponíveis foram computados.

¹ Segundo o CFB (BRASIL, 2012), Reserva Legal é definida como “Área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, (...) com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa”.

² Áreas de floresta e demais formas de vegetação existente ao longo de rios, em topo de morro, encostas, em torno de reservatórios naturais e artificiais d’água, restingas ou mangues são consideradas Áreas de Preservação Permanente. O CFB (BRASIL, 2012) define Áreas de Preservação Permanente como: “Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

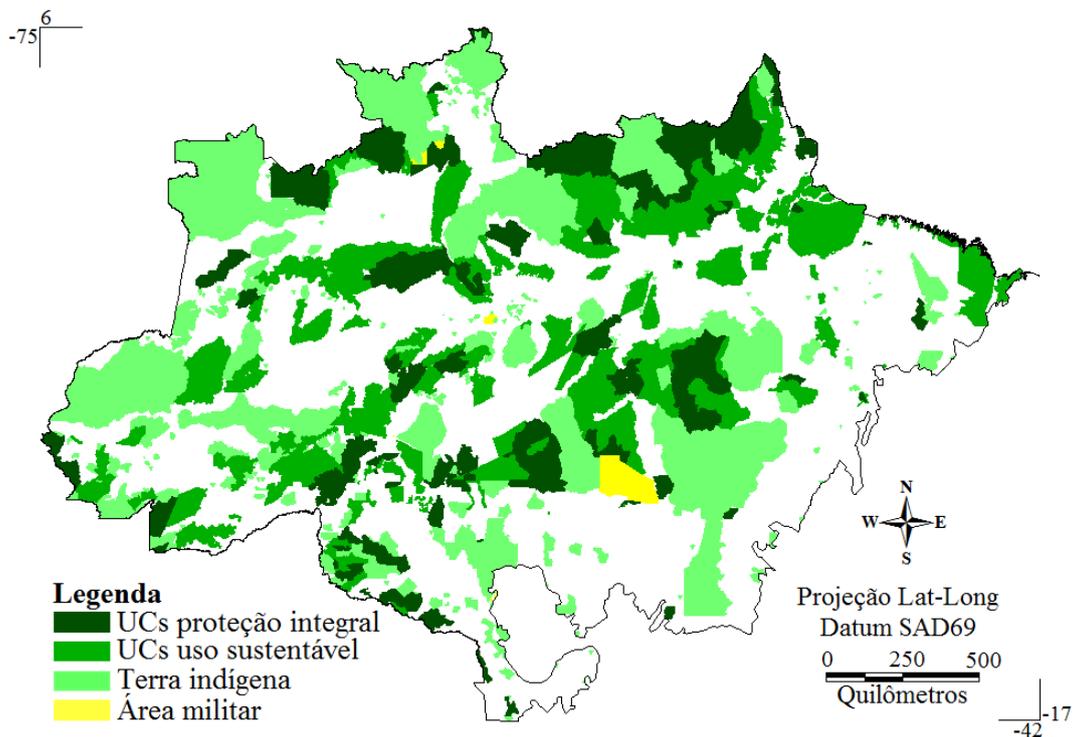


Figura 3.5 - Distribuição espacial das áreas protegidas/terras públicas do bioma Amazônia para o ano de 2010. Estas áreas estão organizadas em três categorias principais: UCs (de Proteção Integral e Uso Sustentável), Terras Indígenas e Áreas Militares.

Fonte: MMA (2010).

Conforme apresentado na Tabela 3.1, o CFB (BRASIL, 2012) apresenta, além de normas para fins de conservação, regras para a recomposição de RL e APP. Para viabilizar a regularização de imóveis rurais que devem recompor a RL, o CFB prevê a compensação de déficits florestais através da Cota de Reserva Ambiental (CRA). A CRA representa a área de vegetação nativa existente ou em recuperação que é excedente à RL necessária na propriedade e que pode ser utilizada para compensação de déficit de RL de outro imóvel (BRASIL, 2012). Entretanto, a CRA pode ser utilizada desde que a área esteja situada no mesmo bioma e estado.

Tabela 3.1 - Síntese das diretrizes de conservação e restauração ambiental previstas no CFB (BRASIL, 2012) para municípios situados no bioma Amazônia.

Conservação	Recuperação
<p>Artigo 12 - I - a:</p> <p>Todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sendo o percentual mínimo para imóveis localizados na Amazônia Legal de 80% em relação à área do imóvel.</p>	<p>Artigo 12 - § 4º: A Reserva Legal poderá ser reduzida para até 50%, quando o Município tiver mais de 50% da área ocupada por unidades de conservação da natureza de domínio público e por terras indígenas homologadas.</p>
	<p>Artigo 12 - § 5º: A Reserva Legal poderá ser reduzida para até 50%, quando o Estado tiver Zoneamento Ecológico-Econômico³ (ZEE) aprovado e mais de 65% do seu território ocupado por unidades de conservação da natureza de domínio público, devidamente regularizadas, e por terras indígenas homologadas⁴.</p>
	<p>Artigo 13 - I: Quando indicado pelo ZEE estadual, a reserva florestal poderá ser reduzida para até 50% da propriedade com área rural consolidada, excluídas as áreas prioritárias para conservação da biodiversidade e dos recursos hídricos e os corredores ecológicos.⁵</p>

Continua

³ Segundo o Artigo 13, § 2º do CFB (BRASIL, 2012), os estados que não possuem ZEE estadual conforme metodologia unificada estabelecida em norma federal terão até o ano de 2017 para sua elaboração e aprovação. Atualmente, os projetos de ZEE dos estados amazônicos encontram-se em distintos estágios de desenvolvimento. Por este motivo, optou-se por utilizar o MacroZEE elaborado para a Amazônia Legal sugerido pelo MMA (2007).

⁴ Considerando o ZEE existente, os estados foram avaliados quanto à área ocupada por terras públicas. Entretanto, os estados amazônicos possuem menos de 65% de sua área ocupada por unidades de conservação e terras indígenas homologadas. Desta forma, a revisão do Artigo 12 § 5º apresentada é de caráter meramente informativo.

⁵ O Artigo 13 inciso I foi avaliado em função da proporção de área rural consolidada em cada município. Para os municípios com mais de 50% de sua área privada ocupada por área rural consolidada indicada pelo ZEE, foi considerada a redução de RL para 50%. Já os municípios com menos de 50% de área rural consolidada, a redução não foi aplicada.

	<p>Artigo 15 - III: Será admitido o cômputo das Áreas de Preservação Permanente no cálculo do percentual da Reserva Legal do imóvel, caso o imóvel esteja incluído no Cadastro Ambiental Rural (CAR)⁶.</p>
	<p>Artigo 67: Nos imóveis rurais com área de até 4 módulos fiscais e que possuam remanescente de vegetação nativa em percentuais inferiores ao previsto no art. 12, a Reserva Legal será constituída com a área ocupada com a vegetação nativa existente em 22 de julho de 2008⁷.</p> <p style="text-align: right;">Tabela 3.1 - Conclusão</p>

O potencial produtivo das APDs foi expresso por meio de intersecção (Operação Booleana) das áreas legalmente disponíveis oriundas de pastagens degradadas e vegetação secundária com os mapas de fertilidade natural (Figura 3.6) e declividade do terreno (Figura 3.7). Este procedimento não se aplica a APDs oriundas de florestas dada a incerteza relacionada a distribuição espacial das áreas destinadas a reservas privadas em relação à área total remanescente em cada município, o que impede a localização e intersecção de excedentes disponíveis com outros PIs. Neste caso, as APDs derivadas de florestas foram consideradas originalmente produtivas e viáveis à expansão agrícola ao passo que áreas de vegetação secundária e pastagens degradadas foram consideradas adequadas somente quando situadas em solos de características químicas suficientes para configurar a fertilidade natural em média/alta.

⁶ De acordo com o Artigo 29 do CFB (BRASIL, 2012), a partir de maio de 2016, o CAR será obrigatório para todos os imóveis rurais. Desta forma, foi considerado neste estudo, o cômputo de APP à RL para todos os municípios.

⁷ O censo agropecuário elaborado pelo IBGE (2006) apresenta um levantamento a respeito do número e área dos imóveis rurais dos municípios brasileiros. Este dado foi utilizado abater da dívida florestal, o débito de propriedades com menos de 4 Módulos Fiscais, conforme prevê o Artigo 67. A área de cada município que corresponde à propriedades que possuem em média menos de 4 módulos fiscais, foi avaliada quanto a proporção que representa sobre a área privada do município. Esta porcentagem foi utilizada para abater na dívida florestal municipal.

O termo fertilidade natural, nesta pesquisa, está relacionado à fertilidade oriunda das características químicas intrínsecas a cada tipo de solo existente na região. Para a elaboração deste plano de informação foi utilizado como base o mapa pedológico desenvolvido pelo Projeto RADAMBRASIL (1985) e atualizado e disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2001). As classes de solos foram agrupadas com o auxílio de especialistas e reclassificadas de acordo com suas características químicas em baixa, média ou alta fertilidade (APÊNDICE A).

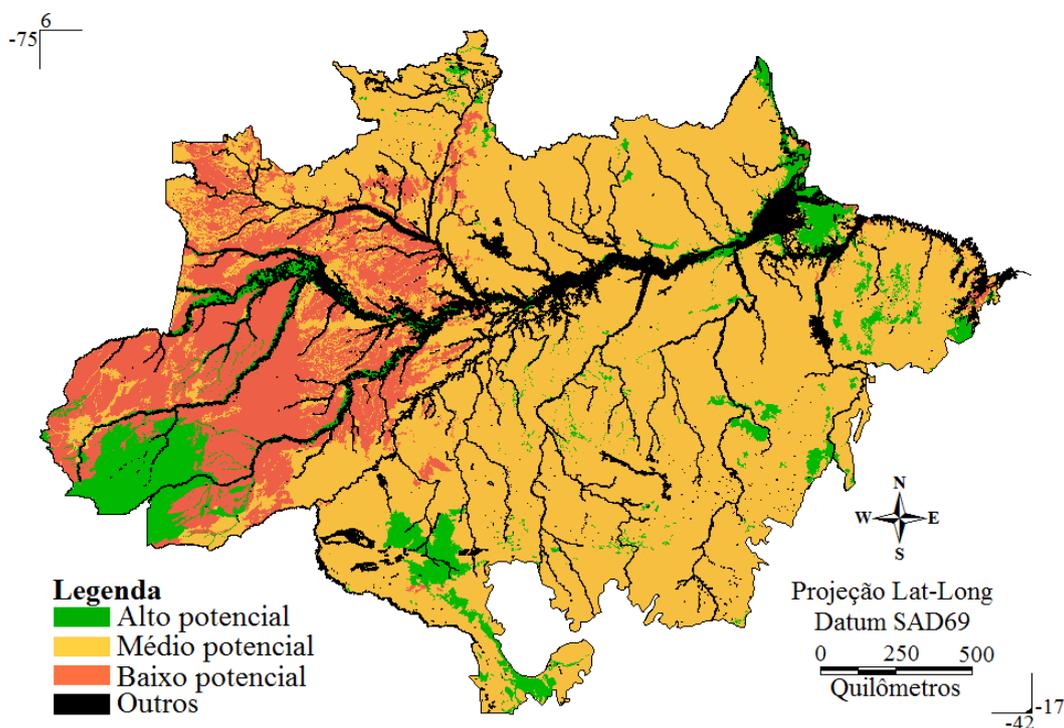


Figura 3.6 - Mapa de fertilidade natural dos solos do bioma Amazônia elaborado a partir do mapa pedológico desenvolvido pelo Projeto RADAMBRASIL (1973-1985) e atualizado e disponibilizado pelo IBGE.
Fonte: IBGE (2001).

Contudo, mesmo férteis, APDs podem ter uso restrito devido à declividade do terreno que, segundo Ramalho Filho e Beek (1995), pode inviabilizar atividades mecanizadas ou serem dispendiosas do ponto de vista agrônomo (Tabela 3.2). Neste caso, foram

definidas como APDs finais as áreas de interesse legalmente disponíveis, com fertilidade natural média/alta e declividade inferior a 13%. Para elaborar o mapa de declividade foram utilizados os dados altimétricos derivados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) tratados e disponibilizados pela iniciativa TOPODATA (INPE, 2009). Este mapa foi reclassificado de acordo com classes de declividade consagradas na literatura, definidas por Ramalho Filho e Beek (1995) (Figura 3.7) e detalhadas na Tabela 3.2. Um procedimento de fatiamento foi realizado para isolar as áreas adequadas para mecanização (0 a 13%).

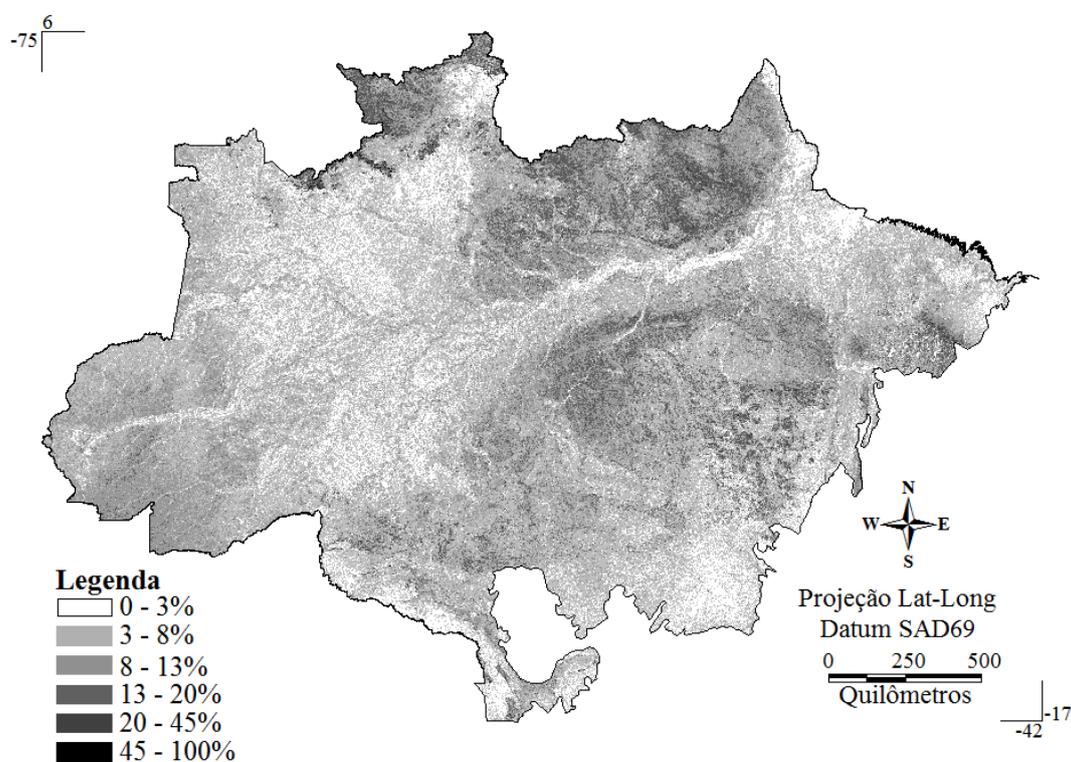


Figura 3.7 - Mapa de declividade do bioma Amazônia organizado de acordo com a classificação de Ramalho Filho e Beek (1995).

Fonte: INPE (2009).

Tabela 3.2 - Classes de declividade segundo a classificação, graus de limitação e considerações inerentes a cada classe.

Classes de decliv.	Classificação	Grau de limitação	Considerações
0 – 3%	Plano	Nulo	Terras não suscetíveis à erosão e com boa permeabilidade. Quando cultivadas por 10 a 20 anos podem apresentar erosão ligeira, que pode ser controlada com práticas simples de manejo.
3 – 8%	Suave ondulado	Ligeiro	Terras que apresentam pouca suscetibilidade à erosão e geralmente possuem boas propriedades físicas. Quando utilizadas com lavouras, por um período de 10 a 20 anos, mostram normalmente uma perda de 25% ou mais do horizonte superficial. Práticas conservacionistas simples podem prevenir contra esse tipo de erosão.
8 – 13%	Moderadamente ondulado	Moderado	Terras que apresentam moderada suscetibilidade à erosão. Se utilizadas fora dos princípios conservacionistas, essas terras podem apresentar sulcos e voçorocas, requerendo práticas de controle à erosão desde o início de sua utilização agrícola.
13 – 20%	Ondulado	Forte	Terras que apresentam forte suscetibilidade à erosão. Ocorre em relevo ondulado a forte ondulado, com declive normalmente de 13 a 20%, os

Continua

			quais podem ser maiores ou menores, dependendo das suas condições físicas. Na maioria dos casos a prevenção à erosão depende de práticas intensivas de controle.
20 – 45%	Forte ondulado	Muito forte	Terras com suscetibilidade maior que a do grau forte, tendo seu uso agrícola muito restrito. Na maioria dos casos o controle à erosão é dispendioso, podendo ser antieconômico.
> 45%	Montanhoso e escarpado	Extremamente forte	Terras que apresentam severa suscetibilidade à erosão. Não são recomendáveis para o uso agrícola, sob pena de serem totalmente erodidas em poucos anos. Trata-se de terras ou paisagens onde deve ser estabelecida uma cobertura vegetal de preservação ambiental. Tabela 3.2 - Conclusão

Fonte: Ramalho Filho e Beek (1995).

As implicações ambientais inerentes à conversão de áreas florestais disponíveis foram estimadas e discutidas em termos de emissões potenciais de Dióxido de Carbono (CO₂) com base no mapa de biomassa elaborado por Saatchi et al. (2007) e ilustrado na Figura 3.8. Esta análise foi realizada para cada município do bioma Amazônia que dispunha de excedentes florestais computáveis até o ano de 2010. O estoque de Carbono foi calculado com base na média mínima e máxima de biomassa das áreas cobertas por remanescentes florestais e multiplicada pela APD de excedentes florestais existente em cada município. Uma vez calculados os estoques de Carbono, sendo este 50% do total de biomassa, os resultados são expressos em termos de emissões de CO₂. Para isto, toneladas de Carbono são multiplicadas pela razão dos pesos moleculares do CO₂ e do Carbono (Ton CO₂=44/12 * x Ton C). O balanço realizado visa estimar o impacto da

conversão destas áreas sobre as metas de redução de emissões definidas pelo Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) (BRASIL, 2009).

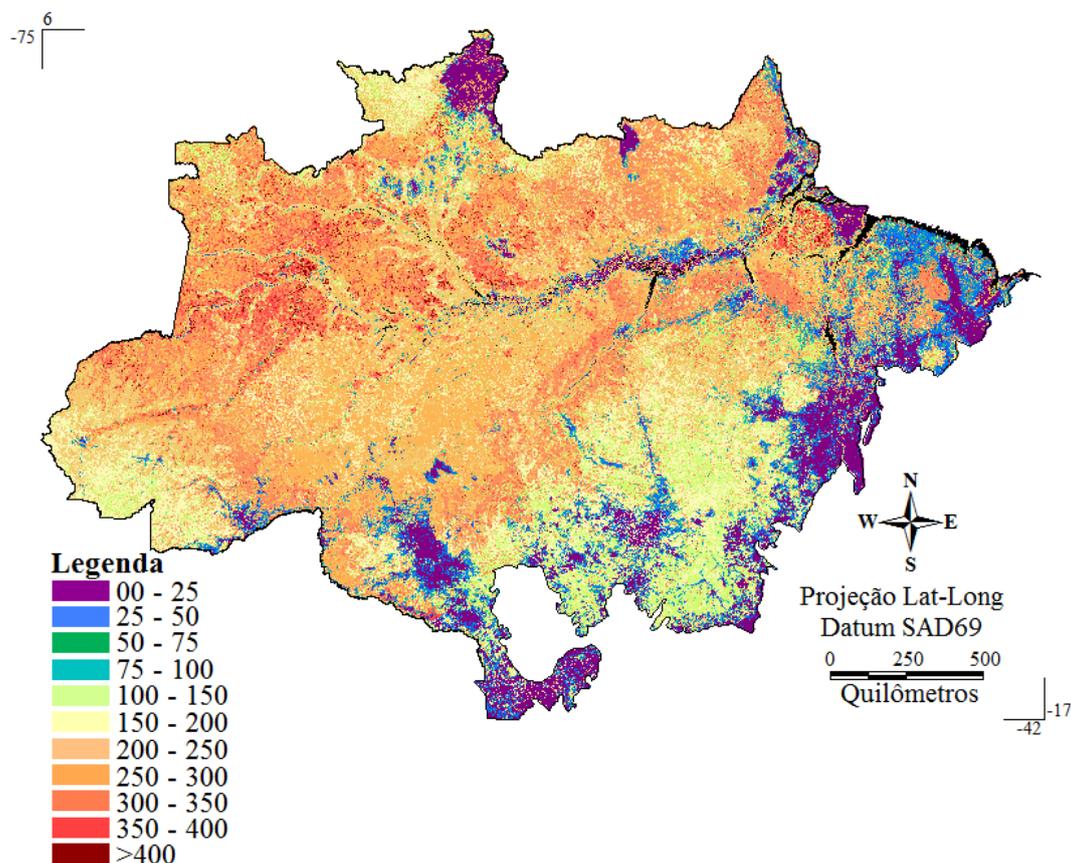


Figura 3.8 - Mapa de biomassa acima do solo do bioma Amazônia. Cada uma das onze classes representam toneladas de biomassa por hectare ($Mg\ ha^{-1}$) de acordo com o tipo de vegetação.

Fonte: Saatchi et al. (2007).

3.2.1 Áreas Potenciais para expansão agrícola de soja

De forma complementar, esta pesquisa também buscou analisar áreas potencialmente disponíveis para expansão de uma cultura específica. Além de solos férteis e mecanizáveis, livres de qualquer conflito de uso, o sucesso de uma determinada cultura pode depender de outros fatores importantes inerentes a cada cultivar, tais como a

tolerância ao clima, diretrizes de uso da terra específicas ou mesmo a viabilidade econômica de sua produção (receita vs custo de produção). Neste sentido, a soja é a principal cultura que impulsiona a expansão da fronteira agrícola na Amazônia Brasileira e, portanto, foi a cultura selecionada para esta análise complementar.

3.2.1.1 Parâmetros para delimitar APDs para o cultivo da soja

Segundo a EMBRAPA (2010), a soja é uma cultura resistente a temperaturas altas e baixas, porém, seu desenvolvimento é afetado em temperaturas menores que 18°C e maiores que 35°C. Em temperaturas abaixo de 10°C o crescimento vegetativo é pequeno ou nulo e acima de 40°C ocorrem danos na floração e perda da capacidade de retenção de vagens. Assim, a temperatura considerada ideal para o desenvolvimento desta cultura está entre 20 e 30°C. Além de temperatura ideal, a soja necessita de uma determinada quantidade de água durante seu ciclo. Déficits hídricos provocam alterações fisiológicas que irão ocasionar redução do rendimento do grão. A água necessária para o máximo rendimento da cultura varia de 450 a 800mm distribuídos durante todo o ciclo (EMBRAPA, 2010).

A produção de soja é também influenciada diretamente pela disponibilidade de infraestrutura e de transporte, que durante anos, tem sido uma das principais limitações para o desenvolvimento pleno deste setor na região norte do Brasil (VERA-DIAZ et al., 2008). Além das condições precárias das estradas, a distância aos portos de embarque tem sido um obstáculo para a expansão da cultura na Amazônia (VERA-DIAZ et al., 2009). Este fator influencia os custos de produção e transporte, inviabilizando a conversão de áreas distantes para a produção de soja (BAUMEL et al., 2000).

Criada em 2006, a Moratória da soja também restringe a expansão de áreas para o cultivo da soja em alguns municípios amazônicos. A Moratória foi implementada como estratégia para a redução do desmatamento em resposta a expansão da cadeia produtiva de soja na Amazônia brasileira e foi renovada até maio de 2016 (MMA, 2014). Segundo

este acordo, indústria e exportadores associados à Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) e à Associação Nacional dos Exportadores de Cereais (ANEC) se comprometem em não comercializar soja oriunda de áreas desflorestadas depois de 2006 inseridas no bioma Amazônia. Ao todo, são 58 municípios monitorados que juntos representam 98% da cultura de soja no bioma Amazônia.

Neste sentido, as APDs identificadas para a expansão agrícola da soja foram avaliadas quanto à precipitação, temperatura e viabilidade econômica (distância aos principais portos de escoamento). Além disso, as áreas desflorestadas de 2006 a 2010 nos municípios monitorados pela Moratória da soja não foram consideradas, uma vez que estas não podem ser cultivadas legalmente. Nas próximas seções (3.2.1.1.1, 3.2.1.1.2, 3.2.1.1.3 e 3.2.1.1.4) estão descritas os procedimentos realizados para a realização desta análise.

3.2.1.1.1 Restrições legais (Moratória da soja)

Para que as áreas desflorestadas após a implementação da Moratória da soja não fossem contabilizadas como disponíveis para a soja mesmo sendo de potencial produtivo viável, foi realizada a compilação dos polígonos de desmatamento referente ao período 2006-2010 dos municípios presentes no bioma Amazônia, que são monitorados por meio do projeto Moratória da Soja (Figura 3.9 e APÊNDICE B). Os polígonos de áreas desmatadas no período citado são referentes ao mapeamento realizado pelo Prodes (INPE, 2014). As APDs que estavam localizadas nas áreas dos polígonos de desmatamento foram excluídas, uma vez constatado o seu impedimento legal.

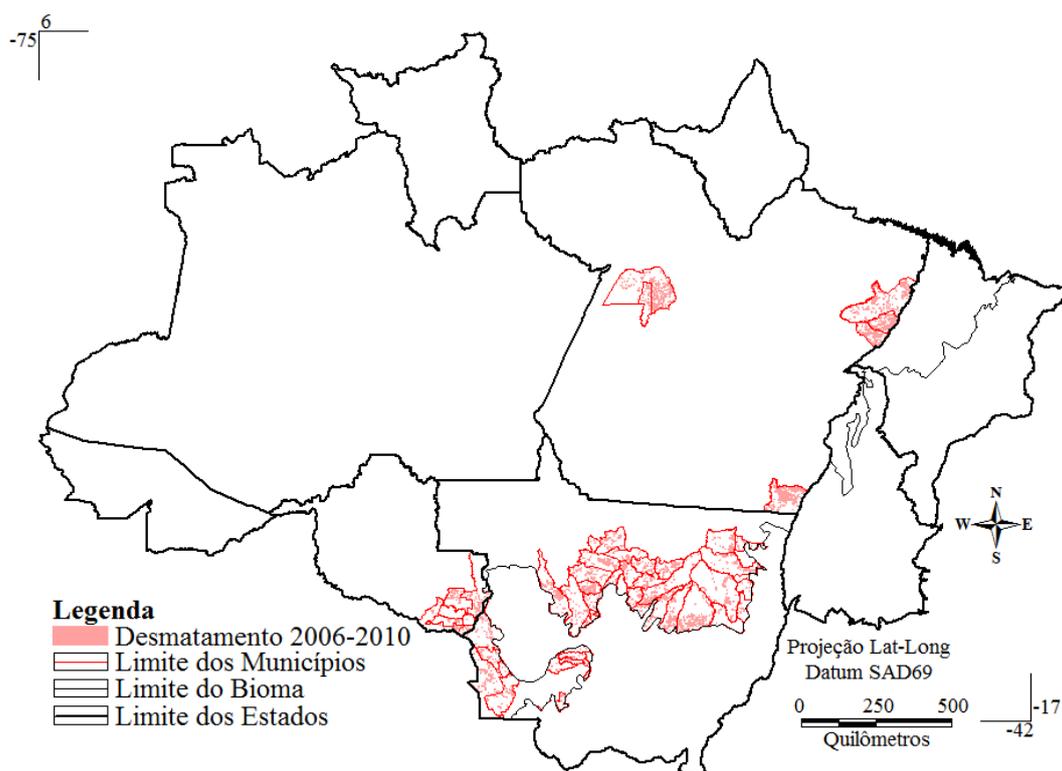


Figura 3.9 - Municípios dos estados Pará, Mato Grosso e Rondônia monitorados pela Moratória da soja e polígonos de desmatamento identificados no período 2006-2010.

Fonte: INPE (2010).

3.2.1.1.2 Temperatura e precipitação

As APDs foram avaliadas quanto a sua viabilidade climática para a produção da soja no período de maior cultivo na região que, segundo o IBGE (2006), vai de novembro a março (120 dias). Os dados utilizados foram obtidos a partir da plataforma *WorldClim - Global Climate Data* (WorldClim, 2014), que é uma base de dados climáticos globais que fornece PIs em diferentes resoluções referentes ao clima. Estes dados correspondem a registros de observação referente ao período de 1950 a 2000.

Para identificar as áreas para o plantio da soja nas regiões que apresentam temperatura apropriada, foram obtidos os PIs de temperatura média mensal dos meses de cultivo.

Estes PIs foram somados e o resultado foi dividido pelo total de meses considerados para assim obter um mapa da temperatura média do período (Figura 3.10). A partir deste mapa, foi então realizado fatiamento a fim de obter um PI contendo o intervalo de temperatura adequada ao desenvolvimento da soja (20°C e 30°C). Posteriormente, realizou-se a intersecção do PI de temperatura ideal com o mapa de APDs e assim foi possível obter um terceiro mapa contendo as APDs de temperatura média ideal para o cultivo de soja. A Figura 3.11 apresenta o fluxograma do protocolo utilizado para identificação de áreas com condições climáticas favoráveis para expansão agrícola da soja.

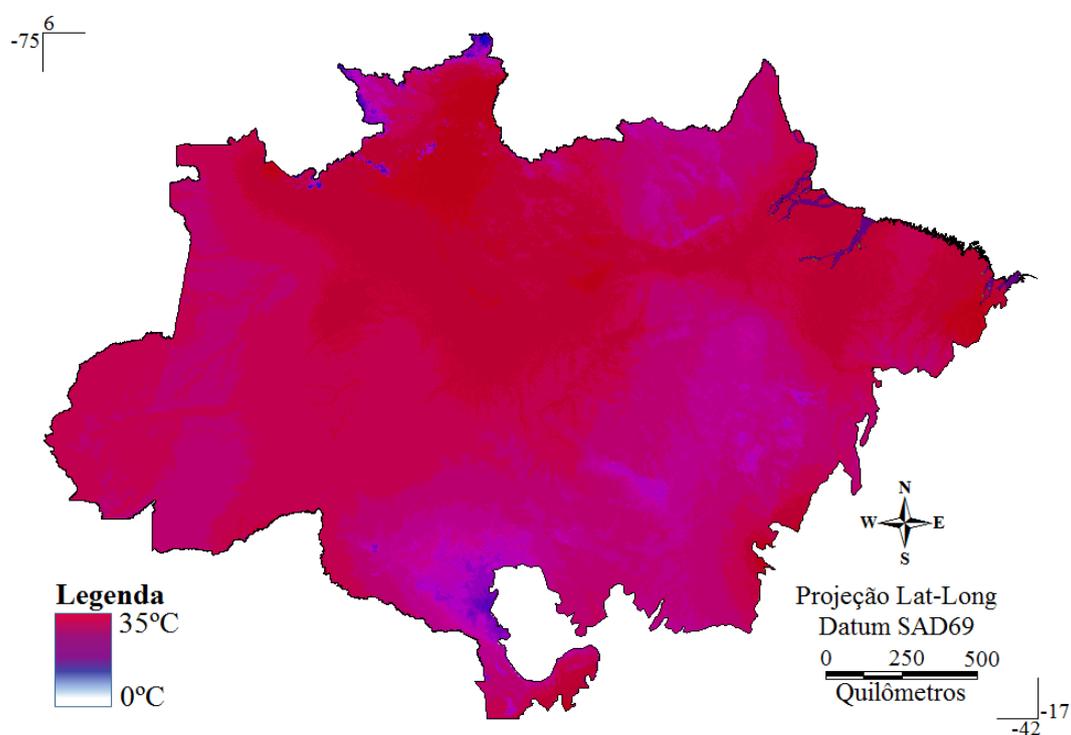


Figura 3.10 – Mapa de temperatura média no bioma Amazônia para o período avaliado de desenvolvimento da cultura de soja na região (novembro a março).

Fonte: *WorldClim* (2014).

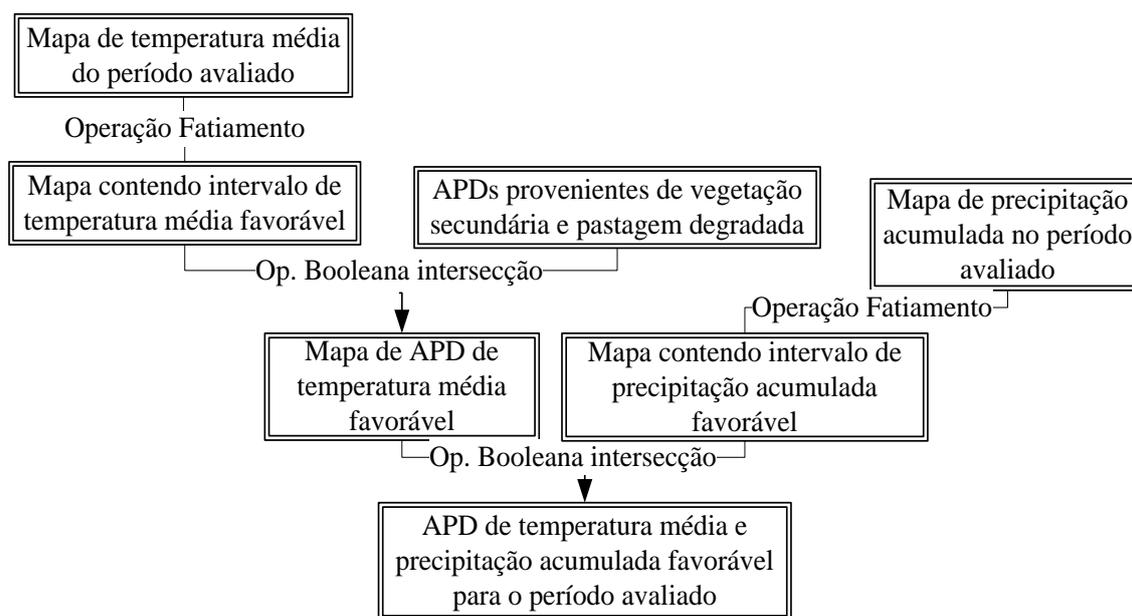


Figura 3.11 - Fluxograma do protocolo utilizado para a identificação de áreas de temperatura média e precipitação acumulada favoráveis para a soja a partir das APDs oriundas de áreas convertidas identificadas na Amazônia brasileira para o ano de 2010.

Posteriormente, as APDs de temperatura média ideal foram avaliadas quanto à precipitação. Para isso, foram obtidos os PIs correspondentes à precipitação média de cada mês do período avaliado. Realizou-se um somatório dos valores de precipitação mensal e obteve-se um mapa com a distribuição da precipitação acumulada do período (Figura 3.12). Realizou-se um fatiamento, onde os valores de precipitação entre 450 a 800 mm foram considerados adequados, conforme indicado na literatura (EMBRAPA, 2010). Foi realizada a intersecção deste PI com o mapa contendo as APDs de temperatura ideal para a soja originando um novo mapa. Este mapa final compõe-se de APDs de temperatura média e precipitação acumulada favorável para a cultura da soja no período de cultivo avaliado.

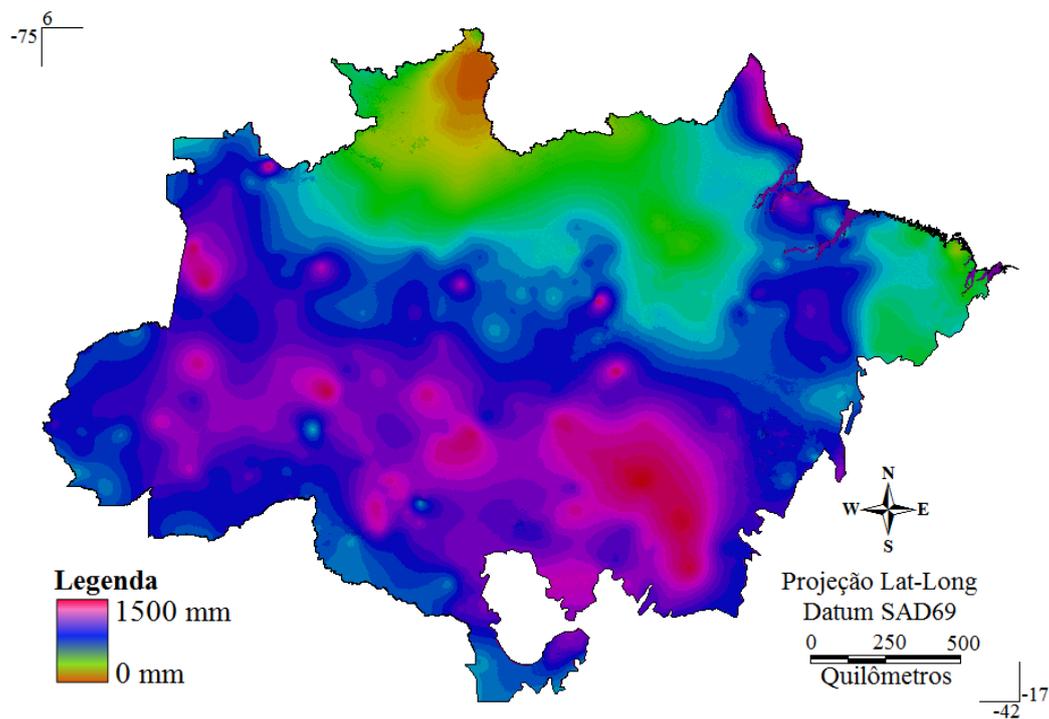


Figura 3.12 – Mapa de precipitação acumulada no bioma Amazônia para o período avaliado de desenvolvimento da cultura de soja na região (novembro a março).

Fonte: *WorldClim* (2014).

3.2.1.1.3 Restrições econômicas (distância aos portos)

As APDs para a produção de soja também foram avaliadas em relação a sua viabilidade econômica no bioma Amazônia. Esta condição foi estabelecida a partir de um modelo matemático simplificado, formulado com base nas variáveis descritas na Tabela 3.3, e aplicado para todos os polígonos identificados como APDs. A viabilidade econômica da cultura foi estimada com base no balanço entre receitas e custos de produção, determinados em função da área e distância das APDs em relação aos principais terminais de exportação utilizados atualmente (Santos e Paranaguá). As variáveis utilizadas no modelo foram parametrizadas a partir de informações disponibilizadas por agências oficiais ou consultorias especializadas, os quais são de domínio público e correspondem ao ano/safra 2013/2014.

Tabela 3.3 - Variáveis utilizadas para determinar a viabilidade econômica dos diferentes polígonos de APDs para o cultivo da soja.

Variáveis	Descrição	Fonte
APDs	Área (ha) dos polígonos disponíveis e agronomicamente viáveis	Produzidos neste estudo
Custo de produção	Custo médio (R\$/ha) para produção de soja na região norte do Brasil	CONAB (2014)
Custo de transporte	Custo médio (R\$/km) para transporte de soja em grão na região norte do Brasil	SIFRECA (2014)
Distância a portos	Distância euclidiana entre os portos de Santos, Paranaguá e polígonos de APDs	Produzidos neste estudo
Produtividade	Produtividade média (ton/ha) da soja na região norte do Brasil	CONAB (2014)
Receita	Valores médios (R\$) pagos por tonelada de soja nos portos de Santos e Paranaguá	Safras e Mercados (2014)

Assim, tomando como base o custo médio para produção de soja de R\$ 2.200,00/ha, a produtividade média de 3,3 ton/ha, a receita bruta média de R\$ 3.300,00/ha e o custo médio de transporte de R\$ 0,13/km/ton, todo polígono de APDs situado a uma distância superior a 2.500 km dos principais terminais de exportação seria economicamente inviável. Em outras palavras, os custos de produção e transporte somados seriam superiores à receita oriunda da eventual comercialização da soja produzida. Este limiar de distância foi utilizado para gerar zonas de interseção (*buffer*) entre a localização dos portos de Santos, Paranaguá e os polígonos de APDs (Figura 3.13). O produto desta interseção (operação Booleana) indicou a ocorrência e extensão das áreas potencialmente disponíveis e economicamente viáveis para a cultura da soja no bioma Amazônia.

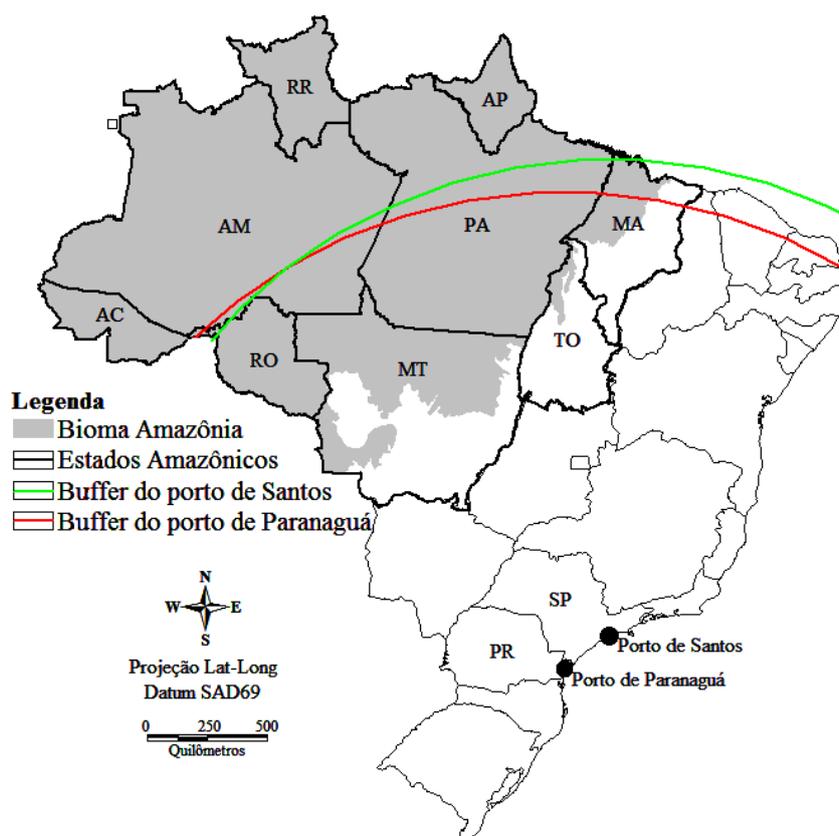


Figura 3.13 – Distância economicamente viável das APDs para a soja demonstrado através de *buffer* de 2.500 km em relação aos Portos de Paranaguá – PR e de Santos - SP.

Contudo, cabe ressaltar que a simulação realizada constitui apenas uma representação simplificada da dinâmica e diversidade dos fatores envolvidos no balanço econômico da soja, portanto, possui caráter puramente exploratório. Este estudo desconsidera, por exemplo, novos terminais de exportação que estão sendo implantados na região norte do Brasil, os quais podem eventualmente diminuir os custos de transporte e modificar a rota de escoamento da soja oriunda da Amazônia. Esta alternativa ainda está condicionada a solução de uma série de fatores restritivos como a pavimentação de estradas, dragagem de hidrovias, integração dos modais de transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário, além dos interesses de setores específicos como a escassez de fretes de retorno para transportadoras. Todavia, uma vez superadas tais incertezas, todas as áreas identificadas como APDs possivelmente seriam consideradas economicamente viáveis para o cultivo da soja.

3.2.1.1.4 APD total para expansão agrícola da soja no bioma Amazônia

Para sintetizar a APD total disponível para ao cultivo da soja no bioma Amazônia, operações Booleanas foram realizadas entre os mapas gerados e apresentados nas 3 seções anteriores. A Figura 3.14 apresenta um fluxograma demonstrando os procedimentos e a ordem em que foram realizados. Primeiramente, foram excluídas as APDs presentes nas áreas de polígonos de desmatamento do período 2006-2010. Posteriormente, foi realizada uma intersecção entre o mapa contendo as APDs em acordo com a Moratória da soja e o mapa de APDs de clima favorável. O mapa resultante (APDs em acordo com Moratória e de clima favorável) foi então cruzado (intersecção) com o PI contendo os *buffers* de distância dos portos de Paranaguá e Santos. O produto final apresenta a APD proveniente de áreas convertidas do bioma Amazônia em acordo com a Moratória da soja, de clima adequado e economicamente viáveis para a expansão agrícola da soja.

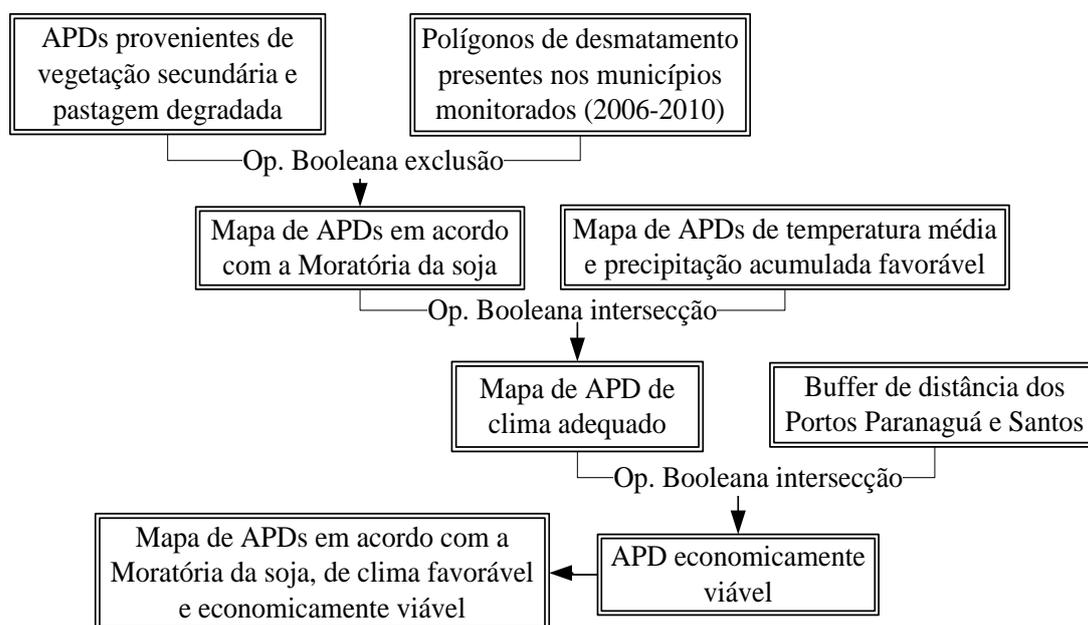


Figura 3.14 - Fluxograma do protocolo utilizado para a identificação de áreas para expansão agrícola da soja a partir das APDs oriundas de áreas convertidas identificadas na Amazônia brasileira para o ano de 2010.

Os PIs selecionados para delimitar APDs na Amazônia brasileira (APÊNDICE C) têm originalmente diferentes escalas geográficas. Portanto, antes de iniciar o protocolo de mapeamento os PIs foram padronizados em grade regular de 100m x 100m de acordo com a escala de 1:250.000. Este procedimento foi realizado baseado no algoritmo “vizinho mais próximo”. Para todos os mapas apresentados aqui também foi adotada projeção geográfica Latitude-Longitude e Datum SAD-69. Os SIGs utilizados foram MapInfo 10.0 e ArcGis 10 para manipulação dos dados vetoriais e Idrisi (versão Selva) e Envi 4.8 para manipulação e cruzamento de diferentes dados matriciais (PIs) apresentados neste estudo.

4 RESULTADOS

Os resultados deste estudo foram organizados em duas seções principais. A primeira está relacionada às APDs identificadas para expansão agrícola a partir das classes floresta, vegetação secundária e pastagem degradada (seção 4.1). A segunda se refere as áreas identificadas para a expansão da soja a partir das APDs identificadas previamente (seção 4.2). Em seguida, na seção 5, será apresentada a discussão dos principais resultados obtidos.

4.1 APDs para expansão agrícola

Os resultados revelam que aproximadamente 11,7% (493.103,1 km²) do bioma Amazônia estaria potencialmente disponível para expansão agrícola no ano de 2010 (Tabela 4.1). Trata-se de áreas florestais legalmente disponíveis em sua maioria (59,4%) ou áreas já convertidas (40,6%) com potencial produtivo favorável e livre de qualquer conflito de uso. As APDs provenientes de floresta, de forma geral, concentram-se nos municípios localizados nas regiões Central e Norte do bioma (Figura 4.1). As APDs derivadas de áreas convertidas, por outro lado, estão concentradas em regiões de ocupação consolidada como o Sul e Leste da Amazônia, também conhecida como Arco do Desmatamento (Figura 4.3).

Tabela 4.1 - Áreas potencialmente disponíveis para expansão agrícola no bioma Amazônia quantificadas a partir de remanescentes florestais e áreas convertidas até o ano de 2010.

ESTADOS	Floresta		Áreas Convertidas*	
	km ²	%**	km ²	%**
Acre	15.854,9	0,4	3.333,7	0,1
Amapá	9.862,7	0,2	972,5	0,0
Amazonas	186.709,7	4,4	12.700,0	0,3
Maranhão	178,3	0,0	21.932,9	0,5
Mato Grosso	2.003,8	0,1	34.635,9	0,8
Pará	48.668,6	1,2	93.749,9	2,2
Rondônia	7.868,6	0,2	22.961,1	0,5
Roraima	21.591,0	0,5	4.325,0	0,1
Tocantins	8,3	0,0	5.746,1	0,1
TOTAL	292.746,0	6,9	200.357,1	4,8

* Somatório das classes de uso da terra fonte de APDs: vegetação secundária e pastagens degradadas;

** Valor relativo à área total do bioma Amazônia (4.217.247,6 km²).

Em escala intra-regional, os estados do Amazonas, Pará, Roraima e Acre respondem por 93,2% de toda APD de floresta existente no bioma Amazônia até o ano de 2010 (Tabela 4.1). Contudo, apenas os estados do Amapá e Roraima possuem 100% de seus municípios em situação condizente com as exigências de reservas florestais definidas pelo CFB (Figura 4.1). Para a maioria dos outros municípios do bioma Amazônia (62,2%), sobretudo, para aqueles localizados nos estados de Tocantins (94,9%), Mato Grosso (89,3%), Maranhão (87,6%) e Rondônia (76,9%), há ocorrência de déficits florestais que totalizam 140.971,2 km² (Tabela 4.2).

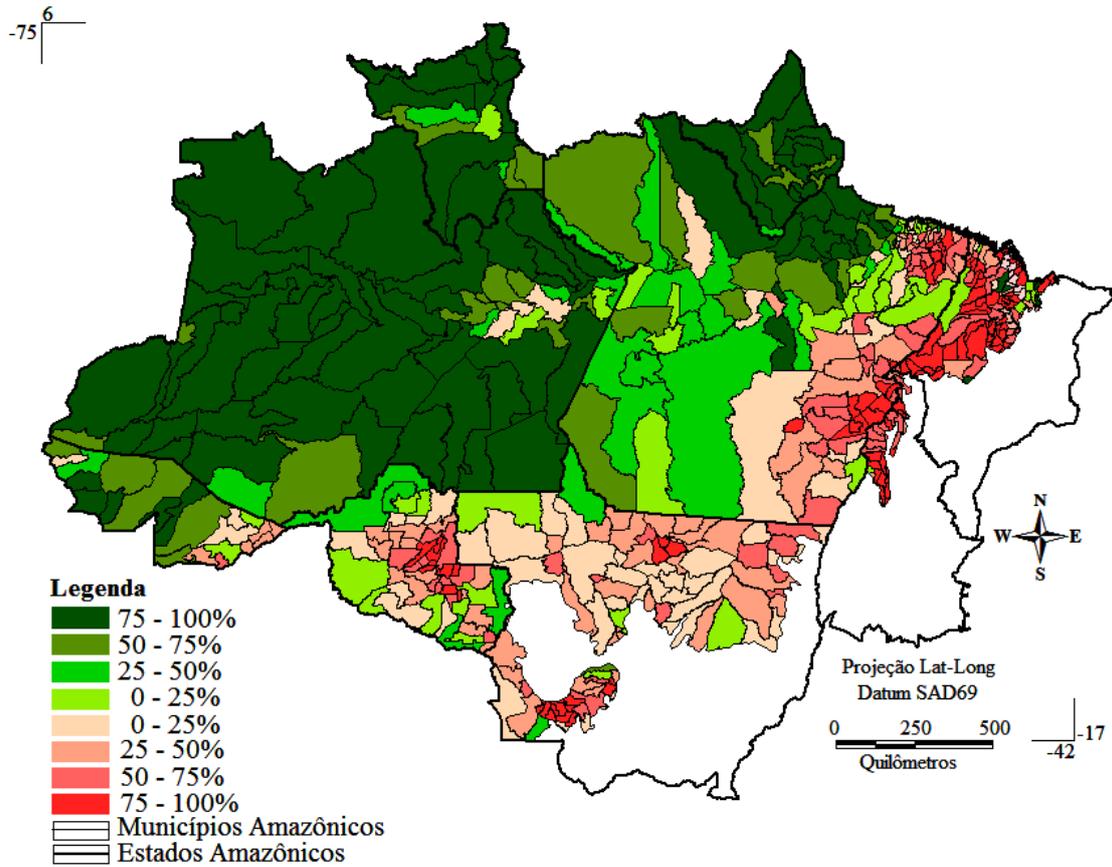


Figura 4.1 - Distribuição espacial dos municípios condizentes (verde) e não condizentes (vermelho) com as exigências de reservas florestais definidas no CFB e magnitude dos excedentes/déficits em relação à área total utilizável de cada município

Tabela 4.2 - Proporção de municípios em cada estado amazônico com ativo (excedente florestal) e passivo (déficit florestal) para o ano de 2010.

ESTADOS	Municípios*	Municípios com Ativo**		Municípios com Passivo		
	nº total	nº	%	nº	%	km ²
Acre	22	13	59,1	9	40,9	2148,7
Amapá	16	16	100,0	0	0,0	0,0
Amazonas	62	59	95,2	3	4,8	172,9
Maranhão	97	12	12,4	85	87,6	19806,2
Mato Grosso	93	10	10,8	83	89,3	63947,7
Pará	144	65	45,1	79	54,9	40236,7
Rondônia	52	12	23,1	40	76,9	7396,5
Roraima	15	15	100,0	0	0,0	0,0
Tocantins	39	2	5,1	37	94,9	7262,5
TOTAL	540	204	37,8	336	62,2	140971,2

*Somente os municípios presentes no bioma Amazônia.

**A área em km² referente ao ativo de cada estado e total é apresentada na Tabela 4.1.

A conversão das áreas de excedente florestal que foram identificadas neste estudo para expansão agrícola poderia resultar na perda de 3,2 a 3,9 Pg C (Pg C= 10¹⁵ gramas de Carbono) conforme apresentado na Tabela 4.3. Em termos de emissão de CO₂, isso significa que 13±1 Pg CO₂ (Pg CO₂= 10¹⁵ gramas de CO₂) seriam liberados para a atmosfera. Os estados do Amazonas, Pará, Roraima e Acre são os estados cuja conversão de suas áreas florestais excedentes ocasionaria as maiores taxas de emissões de CO₂ (Tabela 4.3). Além de apresentarem maior quantidade de floresta disponível (Tabela 4.1), estes estados possuem características sazonais que favorecem um acúmulo maior de biomassa (SAATCHI et al., 2007).

Tabela 4.3 - Emissões de CO₂ que seriam ocasionadas em cada estado pela conversão das APDs provenientes de floresta. Valores apresentados em unidades de Petagramas (Pg).

ESTADOS	Emissões potenciais da conversão de 292.746,0 km ² de floresta			
	C perdido (Pg)		Emissão de CO ₂ (Pg)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Acre	0,130	0,169	0,476	0,620
Amapá	0,087	0,108	0,318	0,397
Amazonas	2,267	2,723	8,314	9,985
Maranhão	0,003	0,003	0,009	0,013
Mato Grosso	0,015	0,020	0,056	0,072
Pará	0,527	0,643	1,933	2,359
Rondônia	0,073	0,091	0,267	0,333
Roraima	0,176	0,225	0,646	0,826
Tocantins	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	3,278	3,983	12,019	14,605

Contudo, o novo CFB prevê a compensação de passivos ambientais através do mecanismo de compra e venda de CRA dentro do mesmo estado e bioma. Nesta situação, o déficit florestal na Amazônia cairia para 88.825,9 km² e permaneceria concentrado nos estados do Mato Grosso, Maranhão e Tocantins, os quais apresentam balanço florestal negativo (Figura 4.2). Os demais estados do bioma Amazônia apresentam balanço positivo e constituem um excedente florestal de 240.600,7 km². Neste caso, a conversão do excedente florestal resultaria na perda de 2,6 a 3,2 Pg C, o que em termos de CO₂ corresponde a 10±1 Pg CO₂ que seriam emitidos para a atmosfera (Tabela 4.4). Caso o mecanismo de compensação venha a ser aplicado entre estados (ainda sujeito a regulamentação), o balanço florestal do bioma passaria a ser positivo e a APD proveniente de floresta final cairia para 151.774,8 km². Entretanto, a conversão desta área ocasionaria a emissão de 3 a 4 Pg CO₂.

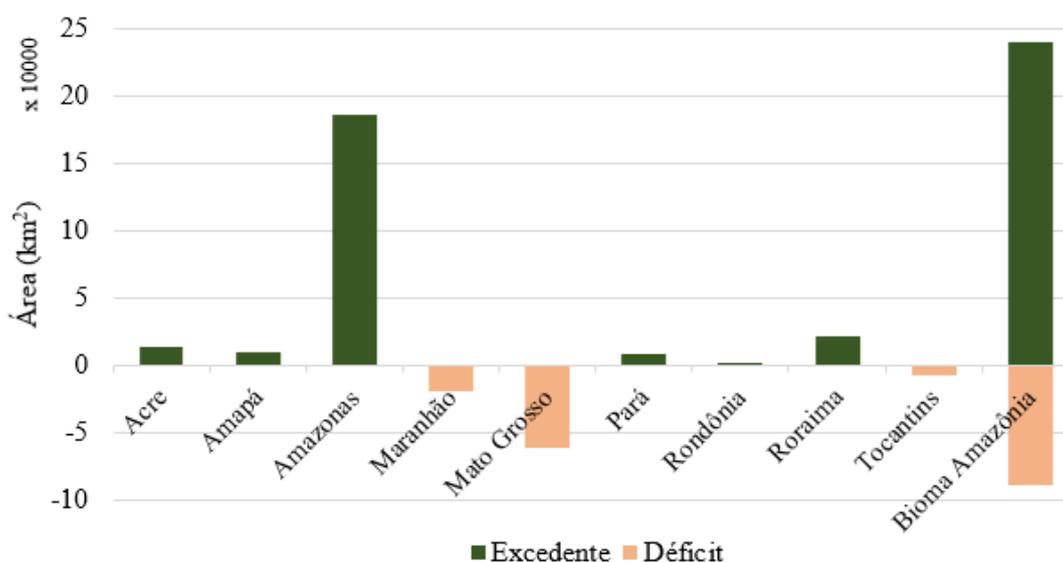


Figura 4.2 - Balanço florestal do bioma Amazônia e dos diferentes estados constituintes para o ano de 2010.

Tabela 4.4 - Emissões de CO₂ que seriam ocasionadas em cada estado pela conversão das APDs provenientes de floresta após a compensação entre municípios do mesmo estado. Valores apresentados em unidades de Petagramas (Pg).

ESTADOS	Emissões potenciais da conversão de 240.600,7 km ² de floresta (pós-compensação)			
	C perdido (Pg)		Emissão de CO ₂ (Pg)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Acre	0,112	0,145	0,411	0,533
Amapá	0,084	0,105	0,309	0,386
Amazonas	2,211	2,661	8,107	9,758
Maranhão	0,000	0,000	0,000	0,000
Mato Grosso	0,000	0,000	0,000	0,000
Pará	0,077	0,096	0,284	0,351
Rondônia	0,004	0,005	0,014	0,018
Roraima	0,159	0,205	0,582	0,751
Tocantins	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	2,647	3,217	9,705	11,797

Dentre as áreas já convertidas de floresta primária para outros tipos de uso e cobertura da terra, aquelas ocupadas com vegetação secundária representaram as principais fontes de APDs na Amazônia (58%), seguida por áreas de pastagens degradadas (42%) no período avaliado (Tabela 4.5). Os estados do Maranhão, Mato Grosso, Pará e Rondônia concentram 82,7% (96.058,5 km²) das APDs provenientes de vegetação secundária e 91,7% (77.221,4 km²) das APDs derivadas de pastagens (Tabela 4.5). No total, a área identificada proveniente das duas classes representa 4,8% da área do bioma, ou seja, 200.357,1 km².

Tabela 4.5 - APDs identificadas a partir de diferentes classes de uso e cobertura da terra, livres de qualquer impedimento legal e com potencial produtivo favorável.

ESTADOS	Vegetação secundária		Pastagem degradada	
	km ²	%*	km ²	%*
Acre	2.766,3	0,1	567,4	0,0
Amapá	690,0	0,0	282,5	0,0
Amazonas	9.921,8	0,2	2.778,2	0,1
Maranhão	5.793,4	0,1	16.139,5	0,4
Mato Grosso	23.285,0	0,6	11.350,8	0,3
Pará	54.393,6	1,3	39.356,4	0,9
Rondônia	12.586,5	0,3	10.374,7	0,3
Roraima	2.433,4	0,1	1.891,6	0,0
Tocantins	4.292,7	0,1	1.453,5	0,0
TOTAL	116.162,5	2,8	84.194,6	2,0

* Valor relativo à área total do bioma Amazônia (4.217.247,6 km²).

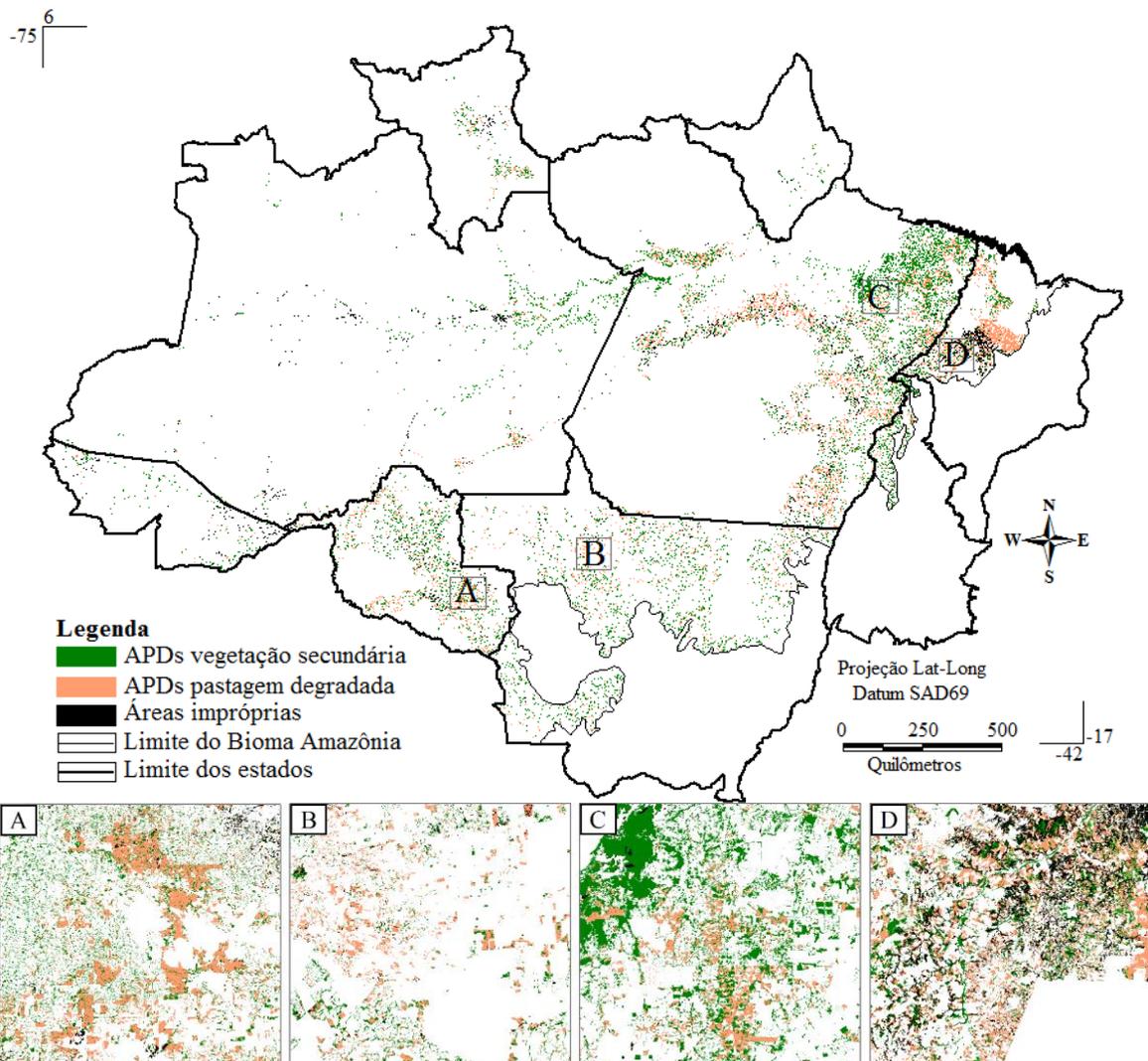


Figura 4.3 - Distribuição espacial das APDs derivadas de pastagens degradadas, vegetação secundária e áreas legalmente disponíveis com restrição de uso no bioma Amazônia para o ano de 2010. Nos quadrantes A, B, C e D é possível observar os diferentes padrões espaciais encontrados.

O bioma Amazônia ainda dispõe de outros 27.386,9 km² de áreas convertidas legalmente disponíveis, porém, de uso restrito ou inviável para a agricultura. A baixa fertilidade e/ou declividade destas áreas foram os critérios que as determinaram como áreas impróprias para a expansão agrícola (Figura 4.3 e Tabela 4.6). Nos estados do Pará, Maranhão e Amazonas está concentrada a maior parte destas áreas com 36,6%, 21,1% e 15,9% do total, respectivamente.

Tabela 4.6 - Áreas impróprias para agricultura em cada estado, devido à baixa fertilidade e/ou declividade do terreno.

ESTADOS	Áreas Impróprias	
	km²	%*
Acre	1.708,2	6,2
Amapá	106,4	0,4
Amazonas	4.352,0	15,9
Maranhão	5.778,9	21,1
Mato Grosso	1.763,2	6,4
Pará	10.021,1	36,6
Rondônia	2.366,7	8,6
Roraima	827,6	3,0
Tocantins	462,9	1,7
TOTAL	27.386,9	100,0

*Valor relativo ao total de áreas impróprias para expansão agrícola.

A área total identificada e mapeada como potencialmente disponível para expansão agrícola no bioma Amazônia no ano de 2010 (493.103,1 km²) corresponde a aproximadamente 75,9% de toda a área cultivada no Brasil neste mesmo período (~650 mil km²), segundo dados oficiais (CONAB 2014; IBGE 2014). Contudo, o desenvolvimento pleno deste potencial de expansão também exige a consideração de fatores remotos no espaço como questões ambientais, políticas e econômicas inerentes a esta região. Todos estes fatores podem afetar de alguma forma a real disponibilidade e viabilidade de terras para expansão agrícola na Amazônia conforme apresentado nas próximas seções.

4.2 APDs para expansão agrícola da soja

Nesta subseção serão apresentados os resultados obtidos especificamente para o estudo de caso relacionado ao cultivo da soja. Basicamente, procura-se evidenciar as

implicações de fatores determinantes específicos da cultura sobre as áreas identificadas como APDs. Em outras palavras, a influência de regras específicas de uso da terra, variações do regime climático e o balanço econômico da cultura são medidas em termos de perda de área para expansão agrícola em relação a aquelas inicialmente rotuladas como APDs.

4.2.1 APDs para a expansão do cultivo da soja em acordo com Moratória da soja

A Moratória da soja, como descrito anteriormente, abrange alguns municípios dos estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia (Figura 3.9). No total, 2.241,5 km² da APD identificada a partir das áreas convertidas não poderiam ser destinadas ao cultivo da soja (Tabela 4.7). Das APDs identificadas a partir de vegetação secundária, 500,5 km² (0,4%) são áreas que foram desflorestadas entre 2006 a 2010. A maior parte está concentrada nos estados do Mato Grosso e Pará com uma área de 241,2 km² e 242,6 km², respectivamente. Assim, a APD oriunda de vegetação secundária disponível com base na moratória é de 115.662,0 km², que representa 99,6% de toda a APD identificada a partir desta classe.

Das APDs provenientes de pastagem degradada, 1.741,0 km² (2,1%) apresentam restrições ao cultivo da soja. A maior parte destas áreas (62,2%) está concentrada no estado do Mato Grosso, com uma área de 1.082,4 km². No total, a APD proveniente de pastagem degradada disponível para o cultivo da soja sem restrições é de 82.453,6 km², que equivale a 97,9% da APD total identificada a partir desta classe no bioma Amazônia (Tabela 4.7).

Desta forma, as áreas disponíveis para expansão agrícola da soja em acordo com a Moratória totalizam 198.115,5 km². Esta área equivale a 98,9% da APD total proveniente de áreas convertidas. Já as áreas em desacordo com a Moratória para (desflorestadas no período 2006-2010) equivalem a 1,1% da APD total.

Tabela 4.7 – Áreas próprias e impróprias para cultivo da soja em cada estado monitorado pela Moratória da soja.

ESTADOS	APD - Vegetação secundária				APD - Pastagem degradada				APD Total			
	Em acordo		Em desacordo		Em acordo		Em desacordo		Em acordo		Em desacordo	
	Moratória da soja		Moratória da soja		Moratória da soja		Moratória da soja		Moratória da soja		Moratória da soja	
	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*
Acre	2.766,3	100,0	0,0	0,0	567,4	100,0	0,0	0,0	3.333,7	100,0	0,0	0,0
Amapá	690,0	100,0	0,0	0,0	282,5	100,0	0,0	0,0	972,5	100,0	0,0	0,0
Amazonas	9.921,8	100,0	0,0	0,0	2.778,2	100,0	0,0	0,0	12.700,0	100,0	0,0	0,0
Maranhão	5.793,4	100,0	0,0	0,0	16.139,5	100,0	0,0	0,0	21.932,9	100,0	0,0	0,0
Mato Grosso	23.043,8	99,0	241,2	1,0	10.268,5	90,5	1.082,4	9,5	33.312,3	96,2	1.323,6	3,8
Pará	54.151,0	99,6	242,6	0,5	38.773,0	98,5	583,4	1,5	92.924,0	99,1	825,9	0,9
Rondônia	12.569,7	99,9	16,7	0,1	10.299,4	99,3	75,3	0,7	22.869,1	99,6	92,0	0,4
Roraima	2.433,4	100,0	0,0	0,0	1.891,6	100,0	0,0	0,0	4.325,0	100,0	0,0	0,0
Tocantins	4.292,7	100,0	0,0	0,0	1.453,5	100,0	0,0	0,0	5.746,1	100,0	0,0	0,0
TOTAL**	115.662,0	99,6	500,5	0,4	82.453,6	97,9	1.741,0	2,1	198.115,5	98,9	2.241,5	1,1

* Valor relativo à APD total de cada classe para cada estado.

** Valor relativo à APD total do bioma Amazônia.

4.2.2 APDs para a expansão do cultivo da soja de precipitação e temperatura adequadas

As APDs foram avaliadas quanto à viabilidade climática para expansão agrícola da soja. Os resultados mostram que 10,5% (21.074,4 km²) das APDs provenientes de áreas convertidas encontram-se em áreas inadequadas do ponto de vista climático para o cultivo do grão (Tabela 4.8). A APD proveniente de vegetação secundária considerada inadequada em função da temperatura média e precipitação acumulada para o período de desenvolvimento da cultura representa 11,5% da APD total identificada a partir desta classe, que corresponde a 13.372,4 km².

Da APD oriunda de pastagem degradada, uma área de 7.702,0 km² também apresenta condições climáticas desfavoráveis para a cultura. Esta área equivale a 9,2% da APD oriunda de pastagem degradada. Os estados de Mato Grosso, Roraima e Rondônia são os mais afetados pelo clima e concentram 93,6% das áreas inviáveis provenientes de vegetação secundária e 92,7% das áreas de pastagem degradada o que corresponde a 12.516,6 km² e 7.143,2 km², respectivamente (Tabela 4.8).

Em contrapartida, 102.790,1 km² provenientes de vegetação secundária possuem condições climáticas adequadas à cultura da soja, ou seja, 88,5% da APD identificada a partir desta classe. Outros 76.492,5 km² provenientes de pastagem degradada também apresentam clima adequado ao desenvolvimento da soja e correspondem a 90,9% da APD identificada como pastagem. No total, as APDs oriundas de áreas convertidas que apresentam temperatura e precipitação em níveis favoráveis ao desenvolvimento da cultura totalizam 179.282,7 km², ou seja, 89,5% da APD total oriunda de áreas convertidas (Tabela 4.8).

Tabela 4.8 - Áreas próprias e impróprias para cultivo da soja em função dos regimes de temperatura e precipitação.

ESTADOS	APD - Vegetação Secundária				APD - Pastagem degradada				APD - Total			
	Clima favorável		Clima desfavorável		Clima favorável		Clima desfavorável		Clima favorável		Clima desfavorável	
	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*
Acre	2.709,0	97,9	57,3	2,1	562,0	99,1	5,4	1,0	3.271,0	98,1	62,6	1,9
Amapá	660,0	95,7	29,9	4,3	274,5	97,2	8,0	2,8	934,6	96,1	37,9	3,9
Amazonas	9.534,9	96,1	386,9	3,9	2.494,6	89,8	283,6	10,2	12.029,5	94,7	670,5	5,3
Maranhão	5.789,4	99,9	4,0	0,1	16.131,2	100,0	8,3	0,1	21.920,6	99,9	12,3	0,1
Mato Grosso	15.222,1	65,4	8.063,0	34,6	7.126,9	62,8	4.223,9	37,2	22.349,0	64,5	12.286,9	35,5
Pará	54.112,2	99,5	281,4	0,5	39.135,0	99,4	221,4	0,6	93.247,2	99,5	502,7	0,5
Rondônia	10.557,1	83,9	2.029,3	16,1	9.346,5	90,1	1.028,1	9,9	19.903,6	86,7	3.057,5	13,3
Roraima	9,1	0,4	2.424,3	99,6	0,5	0,0	1.891,1	100,0	9,6	0,2	4.315,4	99,8
Tocantins	4.196,3	97,8	96,4	2,2	1.421,2	97,8	32,2	2,2	5.617,5	97,8	128,6	2,2
TOTAL**	102.790,1	88,5	13.372,4	11,5	76.492,5	90,9	7.702,0	9,2	179.282,7	89,5	21.074,4	10,5

* Valor relativo à APD total de cada classe para cada estado.

** Valor relativo à APD total do bioma Amazônia.

4.2.3 APDs economicamente viáveis para a expansão do cultivo da soja

A viabilidade econômica das APDs também foi avaliada e, de acordo com os resultados encontrados, 35.125,6 km² são áreas consideradas inviáveis. Este total equivale a 17,5% de toda a APD proveniente de áreas convertidas no bioma Amazônia (Tabela 4.9). Com relação às áreas provenientes de vegetação secundária, 26.388,4 km² apresentam restrições, ou seja, 22,7% da APD identificada a partir desta classe.

As áreas provenientes de pastagem degradada, consideradas economicamente inviáveis correspondem a 8.737,3 km² que representam 10,4% da APD oriunda desta classe. Nos estados do Acre, Amapá e Roraima 100% das APDs identificadas, tanto de vegetação secundária quanto de pastagem degradada, são consideradas inviáveis economicamente, com base nos critérios avaliados neste estudo. Trata-se de 8.631,2 km², nos quais os custos para a produção de soja seria maior que a rentabilidade do produto, inviabilizando seu cultivo.

A APD considerada neste estudo como viável economicamente totaliza 165.231,4 km² (Tabela 4.9). Deste total, 89.774,1 km² são áreas provenientes de vegetação secundária e 75.457,3 km² de pastagem degradada, ou seja, 77,3% e 89,6% da APD total de cada classe, respectivamente. Nos estados Mato Grosso, Rondônia e Tocantins, de acordo com os critérios adotados, 100% da APD configura-se como áreas rentáveis para a produção. (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 - Áreas próprias e impróprias economicamente para cultivo da soja no bioma Amazônia.

ESTADOS	APD - Vegetação secundária				APD - Pastagem degradada				APD - Total			
	Viável		Inviável		Viável		Inviável		Viável		Inviável	
	economicamente		economicamente		economicamente		economicamente		economicamente		economicamente	
	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*
Acre	0,0	0,0	2766,3	100,0	0,0	0,0	567,4	100,0	0,0	0,0	3333,7	100,0
Amapá	0,0	0,0	690,0	100,0	0,0	0,0	282,5	100,0	0,0	0,0	972,5	100,0
Amazonas	1006,3	10,1	8915,5	89,9	1314,1	47,3	1464,1	52,7	2320,4	18,3	10379,6	81,7
Maranhão	5763,6	99,5	29,9	0,5	16123,4	99,9	16,1	0,1	21887,0	99,8	46,0	0,2
Mato Grosso	23285,0	100,0	0,0	0,0	11350,8	100,0	0,0	0,0	34635,8	100,0	0,0	0,0
Pará	42875,3	78,8	11518,2	21,2	34861,0	88,6	4495,4	11,4	77736,3	82,9	16013,7	17,1
Rondônia	12551,3	99,7	35,1	0,3	10354,6	99,8	20,1	0,2	22905,9	99,8	55,2	0,2
Roraima	0,0	0,0	2433,4	100,0	0,0	0,0	1891,6	100,0	0,0	0,0	4325,0	100,0
Tocantins	4292,7	100,0	0,0	0,0	1453,4	100,0	0,0	0,0	5746,1	100,0	0,0	0,0
TOTAL**	89774,1	77,3	26388,4	22,7	75457,3	89,6	8737,3	10,4	165231,4	82,5	35125,6	17,5

* Valor relativo à APD total de cada classe para cada estado.

** Valor relativo à APD total do bioma Amazônia.

4.2.4 APD para expansão agrícola de soja total

A APD efetivamente disponível para a expansão da soja, ou seja, livre de qualquer impedimento legal e localizada em região adequada do ponto de vista climático e econômico totaliza 146.892,1 km², ou seja, 73,3% da APD total (Tabela 4.10). A maior parte está concentrada nos estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia (80%). Juntos estes estados apresentam uma APD de 67.936,8 km² proveniente de vegetação secundária e 49.617,7 km² de pastagem degradada, totalizando 117.554,5 km².

Com relação à APD considerada inadequada para a expansão agrícola da cultura da soja, um total de 53.465,0 km² (26,7% da APD total) foi identificado (Tabela 4.10). Estas áreas estão concentradas principalmente nos estados Pará e Mato Grosso que juntos totalizam 30.657,3 km², sendo 20.247,1 km² provenientes de vegetação secundária e 10.410,2 km² provenientes de pastagem degradada. A área total imprópria nos dois estados corresponde a 57,3% de toda a APD considerada inviável para a soja no bioma. A concentração de ganho e perda de área sobre os mesmos estados está diretamente relacionada à dinâmica histórica do desmatamento na Amazônia.

Para fins de comparação, na Figura 4.4 é apresentada a distribuição espacial das APDs identificadas a partir de vegetação secundária e pastagem degradada e na Figura 4.5, aquelas que apresentam condições favoráveis ao cultivo da soja. As APDs apresentadas na Figura 4.4 estão legalmente disponíveis e apresentam solos de fertilidade média a alta e terreno mecanizável. Na Figura 4.5 estão apenas as APDs que apresentam ainda, condições legais, climáticas e econômicas apropriadas para a expansão agrícola da soja.

Tabela 4.10 – APDs totais próprias e impróprias para cultivo da soja no bioma Amazônia.

ESTADOS	APD - Vegetação secundária				APD - Pastagem degradada				APD - Total			
	Viável para soja		Inviável para soja		Viável para soja		Inviável para soja		Viável para soja		Inviável para soja	
	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*	km ²	%*
Acre	0,0	0,0	2766,3	100,0	0,0	0,0	567,4	100,0	0,0	0,0	3333,7	100,0
Amapá	0,0	0,0	690,0	100,0	0,0	0,0	282,5	100,0	0,0	0,0	972,5	100,0
Amazonas	791,5	8,0	9130,3	92,0	1053,6	37,9	1724,6	62,1	1845,1	14,5	10854,9	85,5
Maranhão	5759,6	99,4	33,8	0,6	16115,3	99,9	24,2	0,2	21874,9	99,7	58,0	0,3
Mato Grosso	15052,8	64,7	8232,2	35,4	6227,5	54,9	5123,4	45,1	21280,3	61,4	13355,6	38,6
Pará	42378,7	77,9	12014,9	22,1	34069,5	86,6	5286,9	13,4	76448,2	81,5	17301,8	18,5
Rondônia	10505,3	83,5	2081,1	16,5	9320,7	89,8	1053,9	10,2	19826,0	86,4	3135,1	13,7
Roraima	0,0	0,0	2433,4	100,0	0,0	0,0	1891,6	100,0	0,0	0,0	4325,0	100,0
Tocantins	4196,3	97,8	96,4	2,2	1421,3	97,8	32,2	2,2	5617,6	97,8	128,6	2,2
TOTAL	78684,2	67,7	37478,3	32,3	68207,9	81,0	15986,7	19,0	146892,1	73,3	53465,0	26,7

* Valor relativo à APD total de cada classe para cada estado.

** Valor relativo à APD total do bioma Amazônia.

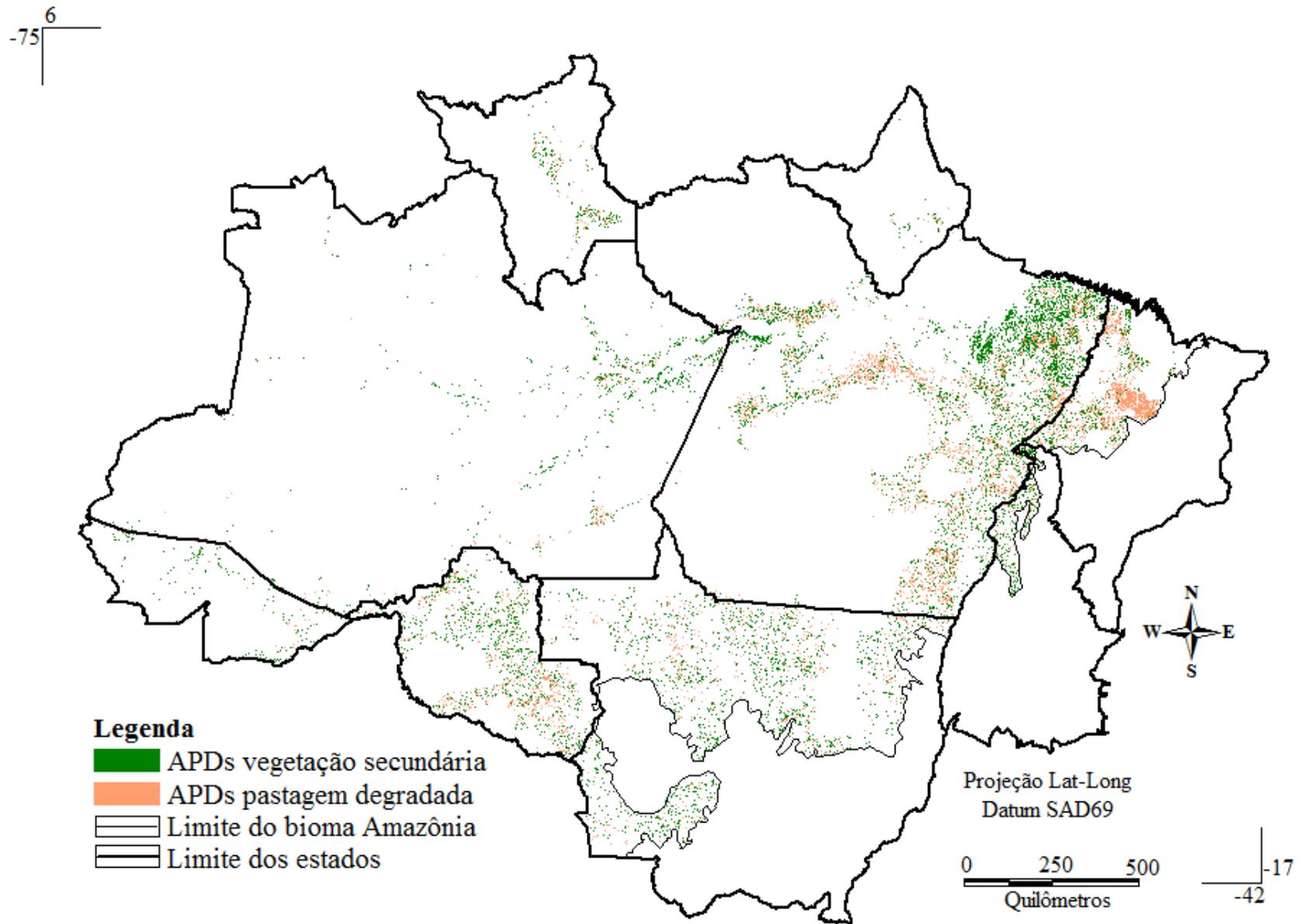


Figura 4.4 – Distribuição espacial das APDs para expansão agrícola no bioma Amazônia.

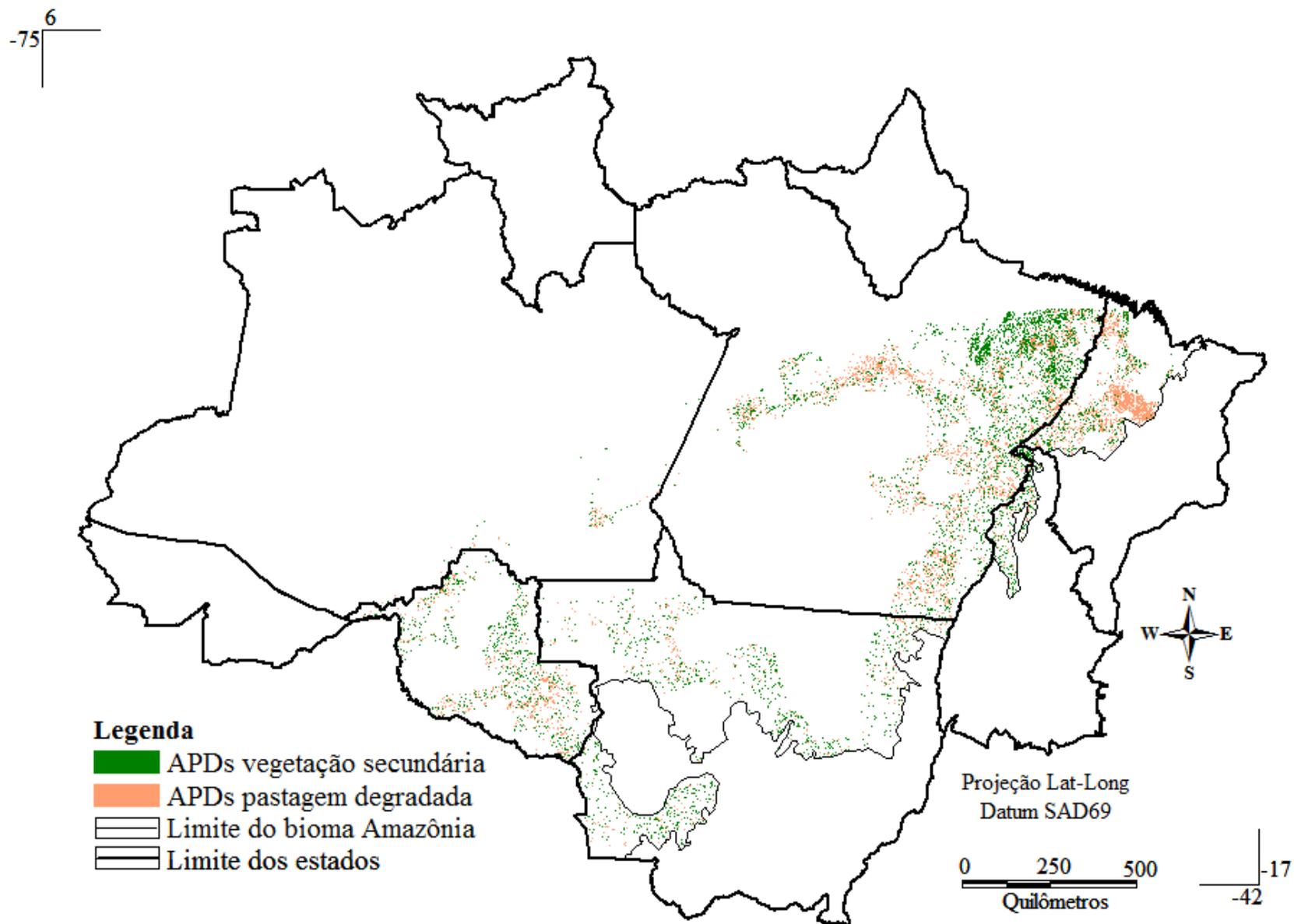


Figura 4.5 - APDs efetivamente apropriadas para cultivo da soja.

4.3 Discussão

A maior parte da área identificada como APD no bioma Amazônia está associada a florestas primárias. Os valores obtidos são consistentes com levantamentos recentes (SOARES-FILHO et al., 2014), porém, mesmo legalmente disponíveis, a conversão destas áreas implicaria em custos ambientais diretos e indiretos que, do ponto de vista político e conservacionista, poderia inviabilizar a sua utilização. Além da eminente perda de biodiversidade e fragmentação de remanescentes florestais, a conversão destas áreas também poderia resultar na perda de 3,2 a 3,9 Pg C ou emissão de 13 ± 1 Pg CO₂ para a atmosfera (Tabela 4.3). Este volume seria equivalente às emissões totais provenientes da mudança da cobertura da terra registrado no Brasil no período 2000-2010 (~14 Pg CO_{2eq}) (MCTI, 2013) e conseqüentemente um retrocesso em relação às metas de redução do desmatamento e emissões assumidas pelo governo brasileiro no PNMC (BRASIL, 2009).

Instituído por meio da Lei 12.187/2009, o PNMC define o compromisso voluntário do Brasil na redução das emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões projetadas até 2020 (3,236 Pg CO_{2eq}). Ainda, segundo o Decreto 7.390/2010 que regulamenta o PNMC, uma das principais medidas para o atendimento destas metas é a redução de 80% do desmatamento na Amazônia (em relação à média anual observada de 1996 a 2005) neste mesmo período. Neste caso, a conversão das APDs derivadas de florestas primárias poderia comprometer drasticamente o cumprimento destas metas e ocasionar o retorno de altas taxas de desmatamento na Amazônia, pondo em risco as conquistas alcançadas por esforços anteriores para conservação, como o PPCDAm (ASSUNÇÃO et al., 2012; ARIMA et al., 2014; DALLA-NORA et al., 2014).

Neste sentido, a compensação de passivos ambientais seria a destinação mais adequada aos excedentes florestais identificados neste estudo. Este tipo de compensação poderia abater parcial ou totalmente o passivo ambiental observado na Amazônia e ainda apoiar o fim do desmatamento de florestas primárias biologicamente mais ricas e funcionais.

Contudo, a definição clara da abrangência e, sobretudo, a unidade territorial sobre a qual serão permitidas estas compensações ainda é um ponto chave para evitar que interesses econômicos prevaleçam sobre os benefícios ambientais esperados (SILVA; RANIERI, 2014).

Por outro lado, áreas de vegetação secundária, livres de conflito de uso, localizadas em áreas de solos férteis e apropriadas para mecanização poderiam se tornar uma das principais fontes de terra para a expansão agrícola. Em outras palavras, a proteção de florestas nativas liberaria extensas áreas previamente convertidas ocupadas com vegetação secundária atualmente. Apesar de sua importância ecológica, a conservação dessas áreas, juntamente com a floresta primária, seria incerta, tendo em conta a magnitude do excedente florestal e a pressão de expansão agrícola observada nesta região. Novas políticas de uso da terra com foco na proteção e valorização da vegetação secundária seriam necessárias para a inversão desta tendência. A avaliação dos ganhos econômicos potenciais derivados do uso agrícola destas áreas em relação ao seu potencial de fixação de carbono ainda deve ser considerada (AGUIAR et al., 2012, ARAGÃO et al., 2014).

Outra possibilidade de regularização de propriedades rurais seria a recuperação (pastagens) ou conservação (vegetação secundária) de áreas previamente convertidas, especialmente em áreas de baixa aptidão agrícola. Além do enquadramento legal, esta estratégia também poderia promover a recuperação da biodiversidade local e, indiretamente, criar uma forma mais consistente de destinação para áreas de baixa aptidão agrícola, como as identificadas neste estudo. Esta estratégia, em última instância, poderia desenvolver a médio e longo prazo um sistema de fixação de carbono que pode gradualmente impactar o balanço de emissões na Amazônia (LAMBIN et al., 2013; SOARES-FILHO et al., 2014; ARAGÃO et al., 2014). Contudo, esta estratégia também poderia liberar grandes áreas de florestas primárias que se tornariam legalmente disponíveis para conversão.

Por outro lado, as APDs identificadas a partir de áreas convertidas correspondem a 30,8% de toda a área cultivada no Brasil em 2010 revelando-se assim uma oportunidade única para o aumento da produção agrícola no país sem pressionar o avanço do desmatamento nesta região. Todavia, mesmo legalmente disponíveis e situadas em áreas de potencial produtivo médio a elevado, a viabilidade econômica para a reintrodução destas áreas no setor produtivo ainda precisa ser avaliada para cada tipo de cultura. Além de questões climáticas e sazonais como os regimes de temperatura e precipitação inerentes ao desenvolvimento de culturas específicas, fatores como infraestrutura, linhas de crédito, disponibilidade de mão de obra e centros de comercialização também afetam a viabilidade efetiva das áreas mapeadas para o setor agrícola (VERA-DIAZ et al., 2008; GARRETT et al., 2013; HISSA et al., 2014).

A APD identificada especificamente para expansão agrícola da soja corresponde a 48,7% da área plantada com o grão na safra 2013/2014 no Brasil (CONAB, 2014). Trata-se de 146.892,1 km², que além de apresentarem solos mecanizáveis, com fertilidade média à alta, indicam condições climáticas adequadas à cultura e não possuem impedimento legal ou econômico para a produção do grão, com base nos critérios avaliados. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2014), até 2023 a área de soja no Brasil deverá chegar a 344 mil km² para manutenção do equilíbrio entre produção, consumo e exportação da oleaginosa e seus derivados. Neste sentido, se incluídas as áreas identificadas neste estudo ao setor produtivo da cultura, a área total plantada no país poderia chegar a 448.623,0 km².

Nos últimos dois anos, a produtividade média da soja no Brasil foi de 48,3 sacas por hectare, que em média ocasionou uma produção de aproximadamente 83 milhões de toneladas do grão. Caso a produtividade fosse mantida em tais níveis, a inclusão das APDs identificadas neste estudo poderia elevar a produção nacional de soja para 130 milhões de toneladas. Este aumento representaria um acréscimo de 53% em relação à produção do último ano safra que foi um recorde de 86 milhões de toneladas de soja (CONAB, 2014).

Contudo, a ausência de políticas públicas robustas que estimulem a recuperação de terras degradadas, abandonadas ou subaproveitadas com potencial produtivo na Amazônia ainda permanece como uma das maiores incertezas para o desenvolvimento pleno do potencial destas áreas. Além de promover o aumento da produção agrícola de forma mais sustentável (LAMBIN et al., 2013), este tipo de intervenção política também poderia consolidar o Brasil como um dos maiores sorvedouros da demanda futura por alimentos, fibras e biocombustíveis projetadas para as próximas décadas (FOLEY et al., 2005; LAMBIN; MEYFROIDT, 2011). Todavia, políticas públicas focadas nesta temática ainda permanecem pontuais, incipientes ou incompatíveis com a realidade e demanda da Amazônia Brasileira (HELLER; ASSUNÇÃO, 2013).

4.3.1 Implicações à tomada de decisões

Políticas públicas integradas podem contribuir de forma decisiva para a organização da expansão agrícola na Amazônia. Incentivos financeiros como linhas de crédito específicas, auxílio técnico para recuperação de áreas degradadas ou subutilizadas, além da introdução de novas tecnologias agronômicas são algumas medidas que podem melhorar a eficiência do uso da terra na Amazônia. O fortalecimento e expansão dos programas de agricultura de baixo carbono também constituem medidas importantes para estimular a expansão responsável do setor agrícola nesta região. Além disso, mecanismos de conservação florestal tais como REDD + (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal incluindo o papel da conservação florestal, do manejo florestal sustentável e do aumento dos estoques de carbono), uma vez implementados de forma consistente, podem ainda contribuir para a redução do desmatamento e emissões. Neste sentido, promover e articular tais ações representa uma oportunidade e pré-requisito para melhorar a gestão do uso da terra na Amazônia.

De forma indireta, eventuais deslocamentos de uso da terra da Amazônia para o Cerrado (SPAROVEK et al., 2010; LAPOLA et al., 2013; SOARES-FILHO et al., 2014; DALLA-NORA, 2014) poderiam ser atenuados. Conforme discutido na literatura, as

políticas de uso da terra adotadas para a contenção do desmatamento na Amazônia durante o PPCDAm (fortalecimento das ações de comando e controle, adoção de políticas de crédito condicionado, expansão da rede de áreas protegidas) podem ocasionar efeitos colaterais, tais como o deslocamento do desmatamento sobre o Cerrado. Neste contexto, a expansão agrícola na Amazônia, com base em terras abandonadas ou degradadas, poderia diminuir a pressão de expansão sobre o Cerrado. No entanto, para testar ou confirmar esta condição, novas investigações, possivelmente baseadas em modelagem de uso da terra e dados observados, ainda seriam necessárias.

5 CONCLUSÃO

- A abordagem utilizada neste estudo permitiu identificar, de forma eficiente, áreas com potencial, assim como, áreas inviáveis para a agricultura no bioma Amazônia para o ano de 2010, refutando a hipótese deste trabalho.
- A Inferência Booleana em particular, mostrou-se uma técnica robusta à medida que regras determinísticas são aplicadas para avaliar uma determinada questão, como no caso deste estudo, diretrizes de uso da terra.
- Este estudo demonstra que a área potencialmente disponível para a expansão agrícola na Amazônia é relativamente alta em relação à área total cultivada no Brasil. Contudo, fatores ambientais, biofísicos e legais limitam significativamente este potencial de expansão.
- A conversão de áreas florestais disponíveis em áreas agrícolas teria maiores implicações como a perda de biodiversidade, a fragmentação de remanescentes florestais, além de comprometer as metas de redução de emissões assumidas pelo governo brasileiro. Neste sentido, a expansão agrícola nesta região deveria ser restrita a áreas previamente convertidas a fim de reduzir impactos ambientais. Esta condição reduz em 59,4% (292.746,0 km²) a área total identificada como APDs.
- Áreas previamente convertidas mostram-se como uma grande oportunidade para a expansão agrícola do país, uma vez que poderiam viabilizar um aumento de até 30% em relação a área total cultivada no Brasil em 2010.
- A área destinada ao cultivo da soja poderia aumentar em 48%, o que garantiria o equilíbrio entre suprimento e demanda projetado para a próxima década. Todavia, explorar o potencial pleno destas áreas ainda depende de questões institucionais como o desenvolvimento de políticas públicas consistentes que

incentivem a recuperação e reintrodução de áreas abandonadas ou subaproveitadas no setor produtivo. Incentivos financeiros como linhas de crédito específicas, auxílio técnico e apoio a introdução de novas tecnologias são algumas medidas que podem ser decisivas para melhorar a eficiência do uso da terra na Amazônia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. P. D.; OMETTO, J. P.; NOBRE, C.; LAPOLA, D. M.; ALMEIDA, C.; VIEIRA, I. C.; SOARES, J. V.; ALVALA, R.; SAATCHI, S.; VALERIANO, D.; 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, n. 11, p. 3346-3366, 2012.

ALEXANDRATOS, N.; J. BRUINSMA. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. Rome, FAO, 2012. ESA Working paper No. 12-03

ALMEIDA, C. A.; VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S.; RENNÓ, C. D. Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 2, p. 289-302, 2010.

ARAGÃO, L. E.; POULTER, B.; BARLOW, J. B.; ANDERSON, L. O.; MALHI, Y., SAATCHI, S.; PHILLIPS, O. L.; GLOOR, E. 2014. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biological Reviews**, v. 89, n. 4, p. 913-931, 2014.

ARIMA, E.; BARRETO, P.; BRITO, M. **Pecuária na Amazônia: tendências e implicações para a conservação ambiental**. Belém: Imazon, 2005. 75 p. ISBN 85-86212-14-8.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS EXPORTADORES DE CEREAIS (ANEC)/ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). **Moratória da soja**. Disponível em: <http://www.anec.com.br/moratoria.html>. Acesso em: 15 out. 2013.

ASSUNÇÃO, J; GANDOUR, C. C.; ROCHA, R. **Deforestation slowdown in the Legal Amazon: prices or policies**. Rio de Janeiro: Pontífica Universidade Católica (PUC), 2012, v. 3, p.1-31, Climate Policy Initiative (CPI) Working Paper.

BARRETTO, A. G.; BERNDDES, G.; SPAROVEK, G.; WIRSENIUS, S. Agricultural intensification in Brazil and its effects on land-use patterns: an analysis of the 1975–2006 period. **Global change biology**, v. 19, n. 6, p. 1804–1815, 2013.

BAUMEL, P.; B. WISNER; M. DUFFY. Brazilian Soybeans: Can Iowa Farmers Compete. **AgDM newsletter**. 2000.

BECKER, B. K. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários. **Parcerias estratégicas**, v.12, p. 135-159, 2001.

BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. Kidlington: Elsevier Science, 1994. 398p.

BOUCHER, D.; ROQUEMORE, S.; FITZHUGH, E. Brazil's Success in Reducing Deforestation. **Tropical Conservation Science**, v. 6, n. 3, p. 426-445, 2013.

BRASIL. **Lei nº 9.985**, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em:
<http://www.sema.rs.gov.br/upload/Lei%20Federal%20n%C2%BA%209.985_2000.pdf>.
Acesso em: 02 out. 2013.

BRASIL. **Decreto nº 5.758**, de 13 de abril de 2006. Institui o Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas - PNAP, seus princípios, diretrizes, objetivos e estratégias, e dá outras providências. Disponível em:<
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5758.htm >.
Acesso em: 02 out. 2013.

BRASIL. **Lei nº 12.187**, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/12187.htm. Acesso em 02 mar. 2014.

BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de

setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências:

<http://www2.camara.gov.br/legin/fed/lei/2012/lei-12651-25-maio-2012-613076-normaatuizada-pl.pdf>. Acesso em: 02 out.2013.

BRASIL. **Lei nº 8.171**, de 17 de janeiro de 1991. Dispõe sobre a política agrícola: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8171.htm. Acesso em: 03 fev. 2014.

BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of geographical information systems**. New York: Oxford University Press, 1998. 333p.

BUOL, S. W.; SANCHEZ, PA; CATE JR, R. B.; GRANGER, M. A. Classificación de suelos en base a su fertilidad, **In: BORNEMISZA, E.; ALVARADO, A. (eds). Seminario sobre manejo de suelos en la América Tropical**. Cali, Colombia, Febrero 10-14, 1974. Raleigh, North Carolina State Univesity, 1974. p. 129-144

CAI, X.; ZHANG, X.; WANG, D. Land availability for biofuel production. **Environmental science & technology**, v. 45, n.1, p. 334-339, 2011.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 344 p. INPE-10506-RPQ/249. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 15 out. 2013.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D.; VIANEI, J. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: INPE, 2013. 37 p. Disponível em: < http://www.obt.inpe.br/Prodes/metodologia_TaxaProdes.pdf>. Acesso em: 15 out. 2013.

CAMPBELL, J. E.; LOBELL, D. B.; GENOVA, R. C.; FIELD, C. B. The global potential of bioenergy on abandoned agriculture lands. **Environmental science & technology**, v. 42, n. 15, p. 5791-5794, 2008.

CARNEIRO, R. M. **Commodities, choques externos e crescimento: reflexões sobre a América Latina**. Santiago: Nações Unidas, División de Desarrollo Económico, 2012. 47 p. ISSN 1680-8843.

CASANOVA, M.; CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R.. **Banco de Dados Geográficos**. Curitiba: MundoGEO, 2005. 507 p.

COE, M. T.; MARTHEWS, T. R.; COSTA, M. H.; GALBRAITH, D. R.; GREENGLASS, N. L.; IMBUZEIRO, H. M.; WANG, J. Deforestation and climate feedbacks threaten the ecological integrity of south–southeastern Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n.1619, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Levantamento de safras**. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 12 mai. 2014.

CONSULTORIA SAFRAS E MERCADOS. **Commodities agrícolas**. Disponível em: <<http://www.safRAS.com.br/consultoria.asp>>. Acesso em: 13 dez. 2013.

DALLA-NORA, E. L. **Modeling the interplay between global and regional drivers on amazon deforestation**. 2014, p. 86. (05.23.11.59-TDI). Tese de doutorado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, 2014.

DALLA-NORA, E. L.; AGUIAR, A. P. D.; LAPOLA, D. M.; WOLTJER, G. Why have land use change models for the Amazon failed to capture the amount of deforestation over the last decade? **Land Use Policy**, v. 39, p. 403-411, 2014.

DEFRIES, R.; RUDEL, T. K.; URIARTE, M.; HANSEN, M. 2010. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 3, p. 178–181, 2010.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. ISBN: 85-7383-260-6.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Tecnologia de produção de soja**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/SojaCentralBrasil2003/exigencias.htm>>. Acesso em: 03 mar. 2014.

FOLEY, J. A.; ASNER, G. P.; COSTA, M. H.; COE, M. T., DEFRIES, R.; GIBBS, H. K.; SNYDER, P. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 1, p. 25-32, 2007.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; ZAKS, D. P. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337-342, 2011.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

GARRETT, R. D.; LAMBIN, E. F.; NAYLOR, R. L. Land institutions and supply chain configurations as determinants of soybean planted area and yields in Brazil. **Land Use Policy**, v. 31, p. 385-396, 2013.

GIBBS, H. K.; RUESCH, A. S.; ACHARD, F.; CLAYTON, M. K.; HOLMGREN, P.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n.38, p. 16732–16737, 2010.

HANSEN, M. C.; STEHMAN, S. V.; POTAPOV, P. V. Quantification of global gross forest cover loss. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 19, p. 8650-8655, 2009.

HELLER, T. C.; ASSUNÇÃO, J. **Production and Protection: A First Look at Key Challenges in Brazil**. [S. L.]: Climate Policy Initiative (CPI), Pontífica Universidade Católica (PUC), v. 1, p. 1-87, 2013. Working Paper.

HISSA, L. DE B. V.; SOARES FILHO, B. S. A Combined Biophysical and Economic GIS Framework. **Transaction in GIS**, v. 18,n. 1, p. 449-463, 2014.

IIASA/FAO, 2012. **Global Agro-ecological Zones (GAEZ v3.0)**. IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Bioma Amazônia**. 2004. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 03 mar. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de dados: Projeto RADAMBRASIL**. 2001. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>>. Acesso em: 04 set. 2013

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 777 p. ISSN 0103-6157.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2012. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_vegetacao_brasileira.pdf>. Acesso em: 03 mai.2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola mundial**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2012/default.shtm>. Acesso em: 10 ago. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Taxas anuais de desmatamento**. 2014. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/Prodes/Prodes_1988_2014.htm>. Acesso em: 11 dez. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Taxas anuais de desmatamento**. 2013. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/Prodes/rates/r2013.htm>>. Acesso em: 13 dez. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TerraClass, 2008; 2010**. Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/sumario_terraclass_2010.pdf>. Acesso em: 15 set. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TOPODATA**. 2009. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 15 set. 2013.

JENNY, H. **Factors of Soil Formation**. New York, Mcgraw-Hill, 1941. 281p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p.

JIANG, Z.; HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T. Developmente of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 10, p. 3833-3845, 2008.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 9, p. 3465-3472, 2011.

LAMBIN, E.F.; GIBBS, H. K.; FERREIRA, L.; GRAU, R.; MAYAUX, P.; MEYFROIDT, P.; MORTON, D. C.; RUDEL, T. K.; GASPARRI, I.; MUNGER, J. Estimating the world's potentially available cropland using a bottom-up approach. **Global Environmental Change**, v. 23, n.5, p. 892-901, 2013.

LAPOLA, D. M.; MARTINELLI, L. A.; PERES, C. A.; OMETTO, J. P.; FERREIRA, M. E.; NOBRE, C. A.; AGUIAR, A. P. D.; BUSTAMANTE, M. M. C.; CARDOSO, M. F.; COSTA, M. H.; JOLY, C. A.; LEITE, C.; MOUTINHO, P.; SAMPAIO, G.; STRASSBURG, B. B. N.; VIEIRA, I. C. G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 27-35, 2013.

LAURANCE, W. F.; COCHRANE, M. A.; BERGEN, S.; FEARNSIDE, P. M.; DELAMÔNICA, P.; BARBER, C.; D'ANGELO, S.; FERNANDES, T. The Future of The Brazilian Amazon. **Science**, v. 291, n. 5506, p. 438-439, 2001.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso, 4ª aproximação. Campinas, SBCS, 1983. 175 p.

MACEDO, M. N.; DEFRIES, R. S.; MORTON, D. C.; STICKLER, C. M.; GALFORD, G. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 4, p. 1341-1346, 2012.

MACHADO, L. A fronteira agrícola na Amazônia brasileira. In: Christofletti, A.; Becker, B. K.; Davidovich, F. R.; Geiger, P. P. (Ed.). **Geografia e meio ambiente no Brasil**. São Paulo: Hucitec, cap. 2, p. 181-216, 2002.

MEYFROIDT, P.; LAMBIN, E.F. Global forest transition: prospects for an end to deforestation. **Annual Review of Environmental Research**, v. 36, p. 343–371, 2011.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INFORMAÇÃO (MCTI), 2010. **Segunda comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0215/215070.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Projeções do Agronegócio: Brasil 2012/13 a 2022/23**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/projecoes%20%20versao%20atualizada.pdf>. Acesso em: 15 out. 2013.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Unidades de conservação e demais áreas públicas. 2010**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao>>. Acesso em: 12 out. 2013.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Moratória da soja**. 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 09 nov. 2014.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **MacroZEE**. 2007. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/_arquivos/displayaml.html>. Acesso em: 06 jul. 2014.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3a. ed. Viçosa - MG: Editora UFV, 2005. 319 p.

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O.; ARAI, E.; DEL BON ESPIRITO-SANTO, F.; FREITAS, R.; MORISETTE, J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 39, p. 14637-41, 2006.

NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M.; ALMEIDA, O. T. Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. **Conservation Biology**, v. 20, n. 6, p. 1595-1603, 2006.

NEPSTAD, D.; SOARES-FILHO, B. S.; MERRY, F.; LIMA, A.; MOUTINHO, P.; CARTER, J.; STELLA, O. The end of deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 326, n. 5958, 1350-1351, 2009.

O'CONNOR, D. Governing the global commons: Linking carbon sequestration and biodiversity conservation in tropical forests. **Global Environmental Change**, v. 18, n. 3, p. 368-374, 2008.

PHELPS, J.; CARRASCO, L. R.; WEBB, E. L.; KOH, L. P.; PASCUAL, U. Agricultural intensification escalates future conservation costs. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 19, p. 7601-7606, 2013.

PRADO, H. **Solos do Brasil-gênese, morfologia, classificação, levantamento**. 2^a Ed. Piracicaba. 2001, 220 p.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3^a.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

RAMANKUTTY, N.; EVAN, A. T.; MONFREDA, C.; FOLEY, J. A. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 22, n. 1, p. 1-19, 2008.

ROSA, R. Spatial Analysis in Geography. **Revista da ANPEGE**, v. 7, p. 275-289, 2011.

RUDEL, T. K.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; LAURANCE, W. F. Changing drivers of deforestation and new opportunities for conservation. **Conservation Biology**, v. 23, n. 6, p. 1396-1405, 2009.

SAATCHI, S. S.; HOUGHTON, R. A.; ALVALA, R. C. D. S.; SOARES, J. V.; YU, Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. **Global Change Biology**, v.13, n. 4, p. 816–837, 2007.

SAYRE, R.; BOW, J.; JOSSE, C.; SOTOMAYOR, L.; TOUVAL, J. Terrestrial Ecosystems of South America. In: **The North America Land Cover Summit**. American Association of Geographers, Washington, 22 p. 2008.

SERRA, M. A.; FERNADEZ, R. G. Perspectivas de desenvolvimento da Amazônia: motivos para o otimismo e para o pessimismo. **Revista Economia e Sociedade**, v. 13, n. 2, p. 107-131, 2004.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE FRETES (SIFRECA). **Fretes rodoviários**. Disponível em: <<http://www5.usp.br/servicos/informe-sifreca-sistema-de-informacoes-de-fretes/>>. Acesso em: 02 out. 2013

SILVA, J. S. D.; RANIERI, V. E. L. O mecanismo de compensação de reserva legal e suas implicações econômicas e ambientais. **Ambiente & Sociedade**, v.17, p. 115-132, 2014.

- SIMON, M. F.; GARAGORRY, F. L. The expansion of agriculture in the Brazilian Amazon. **Environmental Conservation**, v. 32, n. 3, p. 203-212, 2005.
- SOARES-FILHO, B.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D.; ANDERSON, A.; RODRIGUES, H.; GARCIA, R.; DIETZSCH, L.; MERRY, F.; BOWMAN, M.; HISSA, L.; MARETTI, C. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 24, p. 10821-10826, 2010.
- SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; ALENCAR, A. 2014. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014
- SPAROVEK, G., BERNDES, G., KLUG, I. L.; BARRETTO, A. G. Brazilian agriculture and environmental legislation: status and future challenges. **Environmental science & technology**, v. 44, p. 6046-6053, 2010.
- TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.
- TOMLIN, D. **Geographic information systems and Cartographic Modeling**. New York: Prentice Hall, 1990.
- TURNER, B. L.; LAMBIN, E. F.; REENBERG, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 52, p. 20666-20671, 2007.
- UNITED NATIONS. **World Population Prospects: The 2012 Revision**. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2013. 50 p.
- VERA-DIAZ, M. D. C.; KAUFMANN, R. K.; NEPSTAD, D. C. **The Environmental Impacts of soybean expansion and infrastructure development in Brazil's Amazon Basin**. Tufts University, 2009. (GDAE Working Paper No. 09-05).

VERA-DIAZ, M. D. C.; KAUFMANN, R. K.; NEPSTAD, D. C.; SCHLESINGER, P. An interdisciplinary model of soybean yield in the Amazon Basin: the climatic, edaphic, and economic determinants. **Ecological Economics**, v. 65, n. 2, p. 420-431, 2008.

WOODCOCK, C.E.; COLLINS, J.B.; GOPAL, S.; JAKABHAZY, V.D.; LI, X.; MACOMBER, S.; RYHERD, S.; HARWARD, V.J.; LEVITAN, J.; WU, Y.; WARBINGTON, R. Mapping forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model. **Remote Sensing of Environment**, v.50, n.3, p. 240-254, 1994.

WORLDCLIM – Global Climate Data. Disponível em: < <http://www.worldclim.org/>>. Acesso em: 02 set. 2014.

ZHAN, X.; SOHLBERG, R.A.; TOWNSHEND, J.R.G.; DIMICELI, C.; CARROLL, M.L.; EASTMAN, J.C.; HANSEN, M.C.; DEFRIES, R.S. Detection of land cover changes using Modis 250 m data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 336-350, 2002.

APÊNDICE A - MAPA DE FERTILIDADE DOS SOLOS DO BIOMA AMAZÔNIA

A capacidade de cada solo em ceder nutrientes necessários para a planta denomina-se fertilidade (BRAGA, 1983). Para que seja possível avaliar a fertilidade dos solos sob uma visão dinâmica, empregam-se os termos fertilidade natural, potencial ou ainda atual. A fertilidade natural do solo corresponde a fertilidade do solo que não passou por nenhum manejo, ou seja, é decorrente do processo de formação do solo apenas. Já a fertilidade atual se refere à fertilidade do solo após a ação antrópica e a fertilidade potencial é manifestada a partir de determinada condição (BUOL et al., 1974; LEPSCH, 1983).

O processo de formação do solo envolve a ação conjunta de fatores que são responsáveis pela diversidade de tipos de solos. Clima, relevo, material de origem e organismos ocasionam as diferenças entre solos que são acentuadas ou não com o passar do tempo (JENNY, 1941). A classificação dos solos é um procedimento que permite separá-los segundo suas características físico-químicas, o que viabiliza realizar levantamento pedológico como para finalidades agrícolas, por exemplo (PRADO, 2001).

O levantamento Pedológico realizado pelo RADAMBRASIL mapeou os solos do bioma Amazônia e é disponibilizado para consulta pelo IBGE (2001). Desta forma, a partir das características químicas dos solos mapeados, como por exemplo, capacidade de troca de cátions, saturação por bases, teor de determinados elementos influentes no processo de desenvolvimento de plantas e pH do solo, foi elaborado o mapa de fertilidade natural com o auxílio do Dr. Hélio do Prado, especialista na área. Este mapa apresenta os solos divididos em três classes conforme o potencial químico natural (baixo, médio e alto) para o desenvolvimento de uma planta, conforme Tabela A. 1.

De acordo com o mapa elaborado com base nas características físico-químicas dos solos, uma área de 445.472,3 km² no bioma Amazônia apresenta fertilidade alta, o que

corresponde a 10,56% da área total. Já as áreas de solos com características químicas que configuram fertilidade média ocorrem em 69,69% do bioma (2.939.003,4 km²). Desta forma, a área observada neste estudo como de solo com fertilidade média a alta corresponde a 3.384.475,7 km². A área considerada inapropriada, ou seja, que apresenta baixa fertilidade corresponde a 18,53% da área do bioma, ou seja, 781.513,4 km².

Tabela A. 1 - Solos do bioma Amazônia e sua classificação quanto à fertilidade, segundo Dr. Hélio do Prado.

Fertilidade dos solos		
Baixa	Media	Alta
-ARGISSOLO Alumínico	-ARGISSOLO	-ARGISSOLO Eutrófico
-ARGISSOLO Alítico	ACINZENTADO Distrófico	-CAMBISSOLO Ta
-CAMBISSOLO Alumínico	-ARGISSOLO Distrófico	Eutrófico
-CAMBISSOLO Alítico	-ARGISSOLO Ta Distrófico	-CAMBISSOLO Carbonático
-ESPODOSSOLO Hidro-hiperespesso	Distrófico	-CAMBISSOLO Ta Eutrófico
-ESPODOSSOLO Hidromórfico	-CAMBISSOLO Tb Distrófico	-CAMBISSOLO Tb Eutrófico
-ESPODOSSOLO Órtico	Distrófico	-CAMBISSOLO Tb Eutrófico
-GLEISSOLO Alumínico	-GLEISSOLO Ta Distrófico	-CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Órtico
-GLEISSOLO Alítico	-GLEISSOLO Tb Distrófico	-CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico
-GLEISSOLO SÁLICO Sódico	-LATOSSOLO Acriférrico	-GLEISSOLO Ta Eutrófico
-GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico	-LATOSSOLO	-GLEISSOLO Tb Eutrófico
-LATOSSOLO Alumínico	-LATOSSOLO Ácrico	-LATOSSOLO Eutrófico
-NEOSSOLO LITÓLICO Húmico	Distrofúrrico	-LUVISSOLO Pálico
-PLANOSSOLO	-LATOSSOLO Distrófico	-LUVISSOLO Órtico
	-LATOSSOLO FLÚVICO Tb	-NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico
	-NEOSSOLO FLÚVICO Tb	
	Eutrófico	
	-NEOSSOLO LITÓLICO	
		Eutrófico

<i>Alumínico</i>	<i>Distrófico</i>	<i>-NEOSSOLO LITÓLICO</i>
<i>-PLINTOSSOLO</i>	<i>-NEOSSOLO</i>	<i>Chernossólico</i>
<i>Alumínico</i>	<i>QUARTZARÊNICO</i>	<i>-NEOSSOLO LITÓLICO</i>
<i>-PLINTOSSOLO Alítico</i>	<i>Hidromórfico</i>	<i>Eutrófico</i>
	<i>-NEOSSOLO</i>	<i>-NITOSSOLO Eutroférico</i>
	<i>QUARTZARÊNICO Órtico</i>	<i>-NITOSSOLO Eutrófico</i>
	<i>-NEOSSOLO</i>	<i>-PLANOSSOLO Eutrófico</i>
	<i>REGOLÍTICO Distrófico</i>	<i>-PLINTOSSOLO Eutrófico</i>
	<i>-NITOSSOLO Distroférico</i>	<i>-VERTISSOLO</i>
	<i>-NITOSSOLO Distrófico</i>	<i>HIDROMÓRFICO Órtico</i>
	<i>-ORGANOSSOLO Sáprico</i>	<i>-VERTISSOLO Órtico</i>
	<i>-PLANOSSOLO Distrófico</i>	
	<i>-PLANOSSOLO NÁTRICO</i>	
	<i>Órtico</i>	
	<i>-PLINTOSSOLO Distrófico</i>	
	<i>-PLINTOSSOLO PÉTRICO</i>	
	<i>Concrecionário</i>	
	<i>-PLINTOSSOLO PÉTRICO</i>	
	<i>Litoplíntico</i>	

APÊNDICE B – MUNICÍPIOS DO BIOMA AMAZÔNIA MONITORADOS PELA MORATÓRIA DA SOJA NO PERÍODO 2006-2010.

Tabela B. 1 - Municípios dos estados Pará, Mato Grosso e Rondônia que são monitorados pelo projeto Moratória da soja.

Estados	Municípios
Pará	Belterra; Dom Eliseu; Paragominas; Rondon Do Pará; Santarém; Ulianópolis.
Mato Grosso	Alto Paraguai; Arenópolis; Bom Jesus do Araguaia; Brasnorte; Cáceres; Campo Novo do Parecis; Campos de Júlio; Canarana; Cláudia; Comodoro; Conquista D'Oeste; Diamantino; Feliz Natal; Gaúcha do Norte; Itanhangá; Itaúba; Lucas do Rio Verde; Nortelândia; Nova Canaã do Norte; Nova Lacerda; Nova Marilândia; Nova Maringá; Nova Mutum; Nova Ubiratã; Paranatinga; Pontes e Lacerda; Porto Alegre do Norte; Porto dos Gaúchos; Querência; Ribeirão Cascalheira; Santa Carmem; Santo Afonso; São Félix do Araguaia; São José do Rio Claro; São José do Xingú; Sinop; Sorriso; Tabaporã; Tabaporã; Tangará da Serra; Tapurah; União do Sul; Vera; Vila Bela de Santíssima Trindade.
Rondônia	Cabixi; Cerejeiras; Chupinguaia; Colorado; Corumbiara; Pimenteiras do Oeste; Vilhena.

Fonte: ABIOVE (2010)

APÊNDICE C – DADOS UTILIZADOS NO ESTUDO, DESCRIÇÃO E FONTE PARA AQUISIÇÃO.

Tabela C. 1 - Dados utilizados no estudo.

Dado	Descrição	Fonte
Classes do projeto TerraClass	Floresta, vegetação secundária e pastagem degradada.	INPE (2010)
Bioma Amazônia	Limite do bioma Amazônia.	MMA (2010)
Áreas protegidas e áreas militares	Limite de UCs (proteção integral e uso sustentável), terras indígenas e limite de áreas militares.	MMA (2010)
Limites administrativos	Limites municipais e estaduais.	IBGE (2007)
Mapa de solos	O mapa de solos apresenta a distribuição espacial dos solos presentes no bioma Amazônia.	Elaborado pelo projeto RADAMBRASIL (1979) e atualizado e disponibilizado pelo IBGE (2001)
Declividade	Mapas de declividade utilizando as imagens do SRTM.	TOPODATA/INPE (2009)
MacroZEE	Classe áreas rurais consolidadas	MMA (2007)
Censo Agropecuário	Número e área dos imóveis rurais dos municípios brasileiros.	IBGE (2006)
Biomassa	Mapa de biomassa com 11 classes para bacia amazônica.	Saatchi et al. (2007)
Polígonos de desmatamento	Áreas desflorestadas no período de 2006-2010 nos municípios monitorados pela Moratória da soja	INPE (2010)

identificados pelo projeto Prodes.

Dados climáticos Temperatura e precipitação do *WordClim* (2014)
período novembro à março.

Portos Pontos de localização geográfica Ministério dos
dos portos de Paranaguá (PR) e Transportes (2010)
Santos (SP).
