



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

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/04.25.12.42-TDI

**ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE CO2 POR
DESMATAMENTO E DEGRADAÇÃO FLORESTAL
UTILIZADA COMO SUBSIDIO PARA DEFINIÇÃO DE
MUNICÍPIOS PRIORITÁRIOS PARA
MONITORAMENTO E CONTROLE**

Thais Michele Rosan

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pela Dra. Liana Oighenstein
Anderson, aprovada em 31 de
março de 2017.

URL do documento original:

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

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

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

Presidente:

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

Membros:

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

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

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

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

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

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

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

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

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



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

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/04.25.12.42-TDI

**ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE CO2 POR
DESMATAMENTO E DEGRADAÇÃO FLORESTAL
UTILIZADA COMO SUBSIDIO PARA DEFINIÇÃO DE
MUNICÍPIOS PRIORITÁRIOS PARA
MONITORAMENTO E CONTROLE**

Thais Michele Rosan

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pela Dra. Liana Oighenstein
Anderson, aprovada em 31 de
março de 2017.

URL do documento original:

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

INPE
São José dos Campos
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Rosan, Thais Michele.

R71e Estimativa de emissões de CO2 por desmatamento e degradação florestal utilizada como subsidio para definição de municípios prioritários para monitoramento e controle / Thais Michele Rosan. – São José dos Campos : INPE, 2017.
xxii + 95 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/04.25.12.42-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.
Orientadora : Dra. Liana Oighenstein Anderson.

1. Amazônia. 2. Emissões. 3. Desmatamento. 4. Degradação.
5. Incêndios. I.Título.

CDU 504.122(811.3)



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

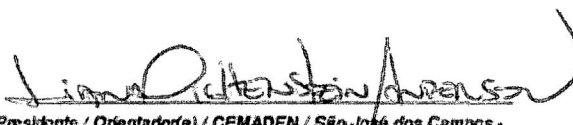
This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): *Thaís Michele Rosan*

"ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE CO₂ POR DESMATAMENTO E DEGRADAÇÃO FLORESTAL UTILIZADA COMO SUBSIDIO PARA DEFINIÇÃO DE MUNICIPIOS PRIORITÁRIOS PARA MONITORAMENTO E CONTROLE".

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

Dra. Liana Oigheinstein Anderson


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

Dra. Marisa Gesteira Fonseca


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

Dra. Luciano Gatti


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

Dra. Ane Auxiliadora Costa Alencar


Convidado(a) / IPAM / Brasília - DF

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

() unanimidade

São José dos Campos, 31 de março de 2017

"A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original."

Albert Einstein

A meus pais Wagner e Sueli, a meus irmãos Vitor, Pedro, Juninho e Maria Vitória e a meus avós Maria, Anélio, Mercedes e Enízio (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha família: meus pais (Wagner e Sueli), meus irmãos (Vitor, Pedro, Juninho e Maria Vitória) e meus avós (Maria, Anélio e Mercedes), vocês são meus alicerces e exemplos de força e determinação.

A minha orientadora Dra. Liana Anderson, por todos os momentos em que compartilhou o seu conhecimento para o meu crescimento profissional e por ser um exemplo de pesquisadora.

Aos doutores Aragão, Yosio, Egidio Arai, Valdete e Ana Paula D. Aguiar pelos momentos de ajuda no desenvolvimento da dissertação. Ao Diego Melo e Luaê (bolsistas) pela ajuda.

Ao INPE e a todos os professores, colaboradores e funcionários que fizeram parte dessa jornada.

Aos amigos que passaram e que ainda estão no TREES pelo apoio, ajuda e momentos de descontração compartilhados. Minha jornada foi mais alegre graças a vocês!

Ao Jefferson, meu namorado, que esteve a meu lado em todos os momentos de alegria e ansiedade, me apoiando e proporcionando momentos de felicidade.

Ao meu amigo Igor Ogashawara pela ajuda e apoio e, apesar da distância, por sempre me incentivar a seguir o caminho da ciência.

Ao meu ex-orientador Dr. Enner H. de Alcântara por ter me incentivado e acreditado no meu potencial.

Aos amigos do LABREN/CCST.

Aos meus companheiros de turma, pelos momentos de estudos e alegrias compartilhados.

A CAPES pelo financiamento da pesquisa.

RESUMO

Em 2004 o Brasil lançou o Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), com o objetivo de reduzir as taxas de desmatamento. Uma das ações refere-se a identificação de municípios prioritários a partir de indicadores de altas taxas de desmatamento, e com implicações punitivas para os mesmos. O presente trabalho teve como objetivo estimar a emissão de dióxido de carbono por três processos: desmatamento e degradação por queimadas, incêndios e corte seletivo ilegal para gerar uma nova métrica baseada em emissões para indicar municípios prioritários. O período selecionado incorpora o último ano da Fase 1 do PPCDAm, a totalidade da fase 2 e o primeiro ano da fase 3 do programa. A área de estudo são os municípios da Amazônia Legal. Para as estimativas de emissões de CO₂ foi utilizado o modelo INPE-EM e um modelo de emissões por queimadas, utilizando dados de área desmatada, degradada e biomassa viva acima do solo para a Amazônia Legal. Entre 2008-2012 foram emitidos no total 3,88 Gt CO₂ por desmatamento e degradação via incêndios e corte seletivo ilegal na Amazônia, dos quais 45,5% foram decorrentes das queimadas e incêndios de 2010. Os resultados apresentaram 31 municípios da Amazônia Legal como os mais críticos, dentre os quais 6 municípios apresentam maior contribuição por desmatamento, 21 por queimadas e incêndios e 4 por degradação de corte seletivo ilegal. Deste modo, o seguinte trabalho concluiu que devido à magnitude das emissões de CO₂ por processos de degradação, estes devem ser considerados na definição de áreas e ações prioritárias para políticas de redução de emissões de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: Amazônia. Emissões. Desmatamento. Degradação. Queimadas. Incêndios.

**ESTIMATION OF CO₂ EMISSIONS BY DEFORESTATION AND FOREST
DEGRADATION AS SUBSIDY FOR DEFINITION OF PRIORITY
MUNICIPALITIES FOR MONITORING AND CONTROL**

ABSTRACT

In 2004 Brazil launched the Plan for Prevention and Control of Deforestation in the Legal Amazon (PPCDAm), with the objective of reducing deforestation rates. One of the actions refers to an identification of priority municipalities from indicators of high rates of deforestation, and with punitive implications for them. The present work aimed to estimate carbon dioxide emission by three processes: deforestation and degradation by fires and illegal selective logging to generate a new emission metric to indicate priority municipalities. The period selected for the previous year of Phase 1 of the PPCDAm, the whole of phase 2 and the year of phase 3 of the program. The area of study is of the municipalities of the Legal Amazon. For the estimations of CO₂ emissions we used the INPE-EM model and a model of emissions by fires. Data of deforested area, degraded and living biomass above ground for a Legal Amazon were used. Between 2008-2012 a total of 3.88 Gt CO₂ was emitted for deforestation and degradation through fires and illegal selective cutting in the Amazon, of which 45.5% were conducted by fires of 2010. The results presented 31 municipalities of the Legal Amazon as the most critical, among which 6 municipalities have the highest contribution for deforestation, 21 for burnings and fires and 4 for degradation of illegal selective logging. Therefore, this work concluded that due to the magnitude of CO₂ emissions by degradation processes, these results should be defined in the definition of areas and priority for policies to reduce greenhouse gas emissions.

Keywords: Amazon. Emission. Deforestation. Degradation. Fire.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 3.1 – Área (km ²) anual desmatada na Amazônia Legal entre 1988-2016.....	9
Figura 3.2 – Área desmatada (km ²) por estado da Amazônia Legal entre 2000-2016... 10	10
Figura 3.3 – Localização dos 52 Municípios Prioritários e Monitorados do PPCDAm. 23	23
Figura 4.1 – Localização da área de estudo.....	28
Figura 5.2 – Etapas do mapeamento de cicatrizes de queimadas.....	32
Figura 5.3 – Esquema do procedimento de qualificação da cobertura da terra em 2009 e 2011.....	35
Figura 6.1 – Área desmatada (km ²) nos municípios da Amazônia Legal entre 2008-2012.....	42
Figura 6.2 – Área queimada (km ²) nos municípios da Amazônia Legal entre 2008-2012.....	46
Figura 6.3 – Área queimada (km ²) na Amazônia Legal por tipo de uso e cobertura da terra.....	48
Figura 6.4 – Área degradada (km ²) nos municípios da Amazônia Legal entre 2008-2012.....	50
Figura 6.5 – Emissão de CO ₂ por desmatamento nos municípios da Amazônia Legal entre 2008-2012.....	54
Figura 6.5 – Emissão de CO ₂ por degradação nos municípios da Amazônia Legal entre 2008-2012.....	59
Figura 6.7 – Porcentagem de emissão de CO ₂ por tipo de uso da terra e as respectivas emissões em Tg CO ₂	61
Figura 6.8 – Emissão de CO ₂ por queimadas e incêndios nos municípios da Amazônia Legal entre 2008-2012.	63
Figura 6.9 – Contribuição de cada fonte de emissão de CO ₂ para os totais.	65
Figura 6.10 – Contribuição de cada fonte de emissão de CO ₂ para os totais de emissões de cada estado da Amazônia Legal.	66
Figura 6.11 – Fontes de maior porcentagem de emissão de CO ₂ nos municípios da Amazônia Legal.	68
Figura 6.12 – Emissões totais de CO ₂ pelos municípios prioritários e monitorados do PPCDAm.....	69
Figura 6.13 – Fontes de maior porcentagem de emissão de CO ₂ nos Municípios do PPCDAm.....	72

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1 – Estimativas de emissão de carbono por processos de MUCT na Amazônia Brasileira.	13
Tabela 3.2 – Municípios Prioritários e Monitorados da Amazônia Legal.	23
Tabela 5.1 – Dados utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.	29
Tabela 5.2 – Diferença da área observada e das taxas de desmatamento (km ²) reportada para a Amazônia Legal.	30
Tabela 5.2 – Datas dos mosaicos utilizados para o mapeamento das cicatrizes de queimadas.	32
Tabela 5.3 – Diferença da área (km ²) reportada pelo DEGRAD e área utilizada nesta pesquisa do produto processado nesta pesquisa para a Amazônia Legal.	34
Tabela 5.4 – Área (km ²) de uso e cobertura da terra para a Amazônia Legal entre 2008-2012.	35
Tabela 5.5 – Médias de biomassa e erro por tipo de cobertura da terra (Mg/ha).	37
Tabela 6.1 – Área desmatada por estado da Amazônia Legal entre 2008-2012.	41
Tabela 6.2 – Ranqueamento dos 10 municípios com maior área desmatada entre 2008-2012.	43
Tabela 6.3 – Área queimada nos estados da Amazônia Legal entre 2008-2012.	44
Tabela 6.3 – Ranqueamento dos 10 municípios com maior área queimada entre 2008-2012.	47
Tabela 6.4 - Área degradada nos estados da Amazônia Legal entre 2008-2012.	49
Tabela 6.5 – Ranqueamento dos 10 municípios com maior área degradada entre 2008-2012.	51
Tabela 6.6 – Emissão de CO ₂ por desmatamento para os estados da Amazônia Legal entre 2008-2012.	52
Tabela 6.6 – Ranqueamento dos 10 municípios que mais emitiram CO ₂ por desmatamento entre 2008 – 2012 e suas respectivas emissões.	55
Tabela 6.7 – Emissão de CO ₂ por degradação para os estados da Amazônia Legal entre 2008-2012.	56
Tabela 6.8 – Ranqueamento dos 10 municípios que mais emitiram CO ₂ por degradação entre 2008 – 2012 e suas respectivas emissões.	58
Tabela 6.9 – Emissão de CO ₂ por queimadas e incêndios florestais para os estados da Amazônia Legal entre 2008-2012.	60
Tabela 6.10 – Ranqueamento dos 10 municípios que mais emitiram CO ₂ por queimadas e incêndios entre 2008 – 2012 e suas respectivas emissões.	62
Tabela 6.11 – Emissão de CO ₂ dentro do Bioma Amazônia (Tg CO ₂) dentro dos limites da Amazônia Legal.	64

Tabela 6.12 – Emissão de CO ₂ dentro do Bioma Cerrado (Tg CO ₂) dentro dos limites da Amazônia Legal	64
Tabela 6.13 – Porcentagem da contribuição de cada fonte de emissão de CO ₂ nos municípios críticos.	67
Tabela 6.14 – Municípios do PPCDAm ranqueados de acordo com o total de emissões entre 2008-2012.....	70
Tabela A.1 – TABELA DE PARÂMETROS DO MODELO INPE-EM.....	95

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AMO	Atlantic Multidecadal Oscillation
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
DEGRAD	Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira
DETER	Detecção de Desmatamento em Tempo Real
ENSO	El Niño Oscilação Sul
GEE	Gases de Efeito Estufa
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MUCT	Mudança de Uso e Cobertura da Terra
ONU	Organização das Nações Unidas
PNMC	Política Nacional de Mudança do Clima
PPCDAm	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PRODES	Projeto de Monitoramento do Desflorestamento da Amazônia Legal
REDD	Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SST	Sea Surface Temperature

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1	INTRODUÇÃO 1
2	OBJETIVOS 5
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 7
3.1	Diminuição nos estoques de biomassa acima do solo e Emissões de dióxido de carbono..... 7
3.2	O desmatamento na Amazônia 8
3.2.1	O monitoramento da cobertura e uso da terra na Amazônia..... 10
3.2.2	Emissões por Desmatamento 12
3.3	A degradação na Amazônia 13
3.3.1	Queimadas e incêndios florestais..... 13
3.3.2	Monitoramento de queimadas por satélite 15
3.3.3	Degradação por extração seletiva 16
3.3.4	Emissões por Degradação Florestal 17
3.4	Secas extremas na Amazônia..... 18
3.5	Políticas para redução e controle de emissão de carbono na Amazônia brasileira 20
4	ÁREA DE ESTUDO 27
5	MATERIAIS E MÉTODOS 29
5.1	Materiais 29
5.2	Métodos 29
5.2.1	Processamento dos dados de desmatamento..... 29
5.2.2	Processamento dos dados de queimadas e incêndios florestais 30
5.2.3	Processamento dos dados de Degradação..... 33
5.2.4	Processamento dos dados de cobertura da terra..... 34
5.2.5	Processamento dos dados de biomassa 35
5.3	Metodologia para estimativa da emissão de dióxido de carbono por desmatamento e degradação 37
5.4	Metodologia para a estimativa de dióxido de carbono por queimadas e incêndios..... 39

5.5	Agrupamento dos municípios críticos	40
6	RESULTADOS	41
6.1	Desmatamento	41
6.2	Mapeamento das queimadas	44
6.3	Degradação	49
6.4	Emissões de CO ₂ por desmatamento	52
6.5	Emissões de CO ₂ por degradação de extração madeireira e processos naturais	56
6.6	Emissões de CO ₂ por queimadas e incêndios florestais	60
6.7	Emissões de CO ₂ por Bioma da Amazônia Legal	64
6.8	Emissões totais de CO ₂ e lista dos municípios críticos	65
6.8	Municípios Prioritários e Monitorados do PPCDAm e emissões de CO ₂	69
7	DISCUSSÕES	73
7.1	Quais as forçantes para emissões por desmatamento, degradação e queimadas e incêndios?	73
7.2	Quais as implicações dos materiais e métodos utilizados para categorização de municípios prioritários por tipos de fontes de emissão de CO ₂ ?	74
7.3	Quais as implicações em curto e longo prazo das emissões por desmatamento, degradação e queimadas e incêndios florestais?	76
7.4	Onde os esforços devem ser alocados para a diminuição das emissões de CO ₂ na Amazônia Legal?	78
8	CONCLUSÕES	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
	APÊNDICE A – TABELA DE PARÂMETROS DO MODELO INPE-EM	95

1 INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica é considerada uma das maiores florestas tropicais com extensão aproximada de 6,4 milhões de km² (ACHARD et al., 2002). Possui um papel importante no armazenamento e ciclagem de carbono e água, contribuindo para a dinâmica do clima local e regional com a capacidade de estocar 10% de carbono do ecossistema terrestre (NOBRE et al., 2007; SAATCHI et al., 2007). Devido a sua extensão os impactos causados pela dinâmica de conversão de uso e cobertura da terra, podem causar mudanças no fluxo de carbono para a atmosfera (HOUGHTON et al., 2000). Desse modo, a Amazônia tem sido alvo de grandes programas científicos internacionais, como o projeto Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) e mais recentemente ganhou espaço significativo na política de redução de emissão de Gases do Efeito Estufa – GEE, como a iniciativa Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal + conservação, manejo sustentável e aumento dos estoques de carbono das florestas (REDD+).

A partir do processo de expansão da ocupação da Amazônia desde o final da década de 1960, a floresta Amazônica tem sido alvo de diversas interferências antrópicas, no qual resultam em desmatamento, queimadas e incêndios florestais, fragmentação e corte seletivo legal e ilegal. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais entre 1988 e 2015 houve uma perda acumulada de 413.506 km² de área florestal na Amazônia Legal brasileira (INPE, 2015).

Entre 1988 e 2004 a taxa anual média de desmatamento para a Amazônia Legal era de 18.438 km² e entre o período de 2005 a 2015 foi de 9.095 km² (INPE, 2015). Essa redução se deve, entre outros fatores, ao Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal – PPCDAm lançado pelo Governo Federal em 2004, com o objetivo principal de reduzir as taxas de desmatamento e, portanto, sua emissão de carbono para a atmosfera. Para a centralização das ações do PPCDAm no monitoramento e controle do desmatamento, o Governo Federal por meio do Decreto nº 6.321 de 21 de dezembro de 2007, estabeleceu a lista de municípios prioritários. Esses municípios foram escolhidos com base nas taxas de desmatamento. Devido a eficiência do eixo de Monitoramento e Controle em reduzir as taxas de

desmatamento, principalmente nesses municípios prioritários, o PPCDAm foi utilizado como instrumento da Política Nacional de Mudança do Clima – PNMC, instituída em 2009 por meio da Lei nº 12.187/2009 e regulamentada pelo Decreto nº 7.390/2010. Essa política oficializa o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020 (BRASIL, 2015).

Estima-se que as contribuições das emissões por processos de mudança de cobertura da terra no Brasil são responsáveis por 27,5% das emissões totais de CO₂ (MCT, 2016). Os esforços para reduzir as emissões de CO₂ por mudanças de cobertura da terra no Brasil têm sido centralizados em diminuir as taxas de desmatamento. Entretanto, outros fatores podem ter contribuições significativas nessas emissões, como os processos de degradação por extração madeireira ilegal ou fogo.

Em anos com anomalia climática, como eventos de secas severas na Amazônia, incêndios florestais podem contribuir com 25% das emissões de carbono (ARAGÃO et al., 2014). Além disso, em anos mais secos, queimadas associadas ao desmatamento, manejo de pastagens e agricultura, podem ser propagadas para a borda das florestas, resultando em degradação e perda de biomassa (ARAGÃO et al., 2007). Alencar et al (2006) estimaram que no El Niño – Oscilação do Sul (ENOS) de 1998 a área queimada foi de 39.000 km² e entre 0,049 a 0,329 Pg de biomassa arbórea acima do solo foi morta por fogo. Morton et al (2013) estimaram que entre 1999 e 2010 cerca de 85.500 km² de áreas florestadas foram queimadas no sul da Amazônia. Durante a seca de 2005, Shimabukuro et al (2009) estimou uma área de 6.500 km² queimada no estado do Acre, destes 2.800km² corresponderam a florestas primárias. Para a seca severa de 2010, Anderson et al (2015) estimou uma área queimada de aproximadamente 96.855km² no estado do Mato Grosso.

Apesar da redução das taxas de desmatamento, há uma tendência no aumento de queimadas e incêndios florestais na Amazônia Legal, indicando o desacoplamento entre desmatamentos e queimadas (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010; VEDOVATO, 2016). Isso sugere que as queimadas se tornaram um importante

componente nas emissões de carbono. Anderson et al. (2015) estimou uma emissão bruta de 56.21 ± 22.5 Tg C por queimadas para o estado do Mato Grosso em 2010. Aguiar et al (2016) estimou que a degradação florestal teve uma contribuição de 47% para as emissões de carbono na Amazônia Legal entre 2007-2013.

Além das queimadas e incêndios florestais, as emissões de carbono para a atmosfera por degradação florestal de origem antrópica, como extração seletiva, além da degradação natural (ex. tempestades de ventos) também podem contribuir com emissões perda de carbono estocado na floresta Amazônica. Estudos demonstram que a extração seletiva pode contribuir com 80 Tg C para a atmosfera (ASNER et al, 2005) e processos de degradação naturais podem contribuir com 0,003 Pg C/ano (ESPIRITO-SANTO et al, 2014). Contudo, nas políticas voltadas para a redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) a degradação, sejam por queimadas, incêndios florestais ou outros tipos de degradação, não é explicitamente considerada (BARLOW et al, 2012).

No Brasil as políticas públicas têm sido focadas na variável desmatamento para direcionar medidas para redução de emissões de carbono para atmosfera. Entretanto, negligenciar as contribuições dos processos de degradação na Amazônia pode subestimar as estimativas de emissões de GEE. Portanto, considera-se de grande contribuição apresentar áreas prioritárias por essas fontes de emissão de GEE. Desse modo, este trabalho visa responder a seguinte questão:

Quais seriam os municípios prioritários para políticas de redução de emissão de carbono considerando as fontes de desmatamento e degradação florestal por incêndios florestais e extração de madeira?

2 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa foi definir uma lista de municípios da Amazônia Legal prioritários para monitoramento com base nas emissões de CO₂ por desmatamento e degradação florestal por incêndios florestais e corte seletivo. Tendo a finalidade de auxiliar políticas que visem à redução da emissão de gases de efeito estufa na Amazônia. Para tanto, o período entre 2008-2012 foi selecionado, posto que corresponde aos anos de publicação ou início do programa de monitoramento dos municípios prioritários do PPCDAM

Especificamente, essa pesquisa visou responder três questões:

Q1. Quais são os municípios prioritários para o monitoramento na Amazônia Legal considerando as emissões de CO₂ por desmatamentos e degradação florestal por queimadas, incêndios florestais e extração de madeira?

Q2. Eventos extremos de secas são previstos para aumentar em intensidade e recorrência na Amazônia. Durante a seca extrema de 2010, as queimadas, incêndios e outros tipos de degradação tem maior contribuição para emissão de CO₂ que o desmatamento?

Q3. Quais são as alterações observadas na lista oficial dos Municípios Prioritários do PPCDAm em relação as emissões por desmatamento e degradação florestal por queimadas, incêndios florestais e extração de madeira?

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Diminuição nos estoques de biomassa acima do solo e Emissões de dióxido de carbono

A vegetação tem um papel importante no ciclo de carbono global, estocando aproximadamente 610 Pg de carbono (C) acima do solo, o que corresponde à aproximadamente à mesma quantidade estocada na atmosfera (750 Pg C) (DENMAN et al., 2007; LE QUÉRÉ et al., 2009; GRACE, 2004; HOUGHTON et al., 2009; BONAN, 2008). As florestas tropicais contribuem com uma grande parte deste estoque de carbono (DENMAN et al., 2007; LE QUÉRÉ et al., 2009; GRACE, 2004; HOUGHTON et al., 2009; BEER et al., 2010). Entretanto, ainda há muitas incertezas na quantificação do balanço de carbono em florestas tropicais (HOUGHTON et al., 2001; HOUGHTON, 2005; VAN DER WERF, 2009; MALHI, 2010; BACCINI et al., 2012). De acordo com Saatchi et al (2011) as florestas no Brasil possuem um estoque de carbono de 62 Gt.

A floresta intacta da Amazônia é considerada um dos maiores sumidouros tropicais de carbono no balanço de carbono global (PAN et al., 2011). Entretanto, Phillips et al (2009) aponta que efeitos de secas intensas, como o ocorrido em 2005 na Amazônia, causam a diminuição de sumidouros de carbono de longo prazo devido ao aumento da mortalidade da vegetação. Brienen et al (2014) a partir da análise de biomassa em 321 parcelas na Amazônia ao longo de três décadas, aponta que nas últimas décadas houve um aumento da mortalidade de árvores e encurtamento do tempo de residência de carbono nos sumidouros.

As mudanças no meio ambiente contribuem para um aumento do risco da manutenção dos estoques de carbono na Amazônia. Essas mudanças são controladas por eventos climáticos, como secas severas e atividades humanas, como desmatamento, incêndios florestais e corte seletivo ilegal de árvores. Esses processos não são independentes e podem reforçar um ao outro, intensificando os impactos no meio ambiente (COCHRANE, 2001; COCHRANE; LAURANCE, 2002, 2008; ALENCAR et al., 2004; ARAGÃO et al., 2007, 2008; POULTER et al., 2010).

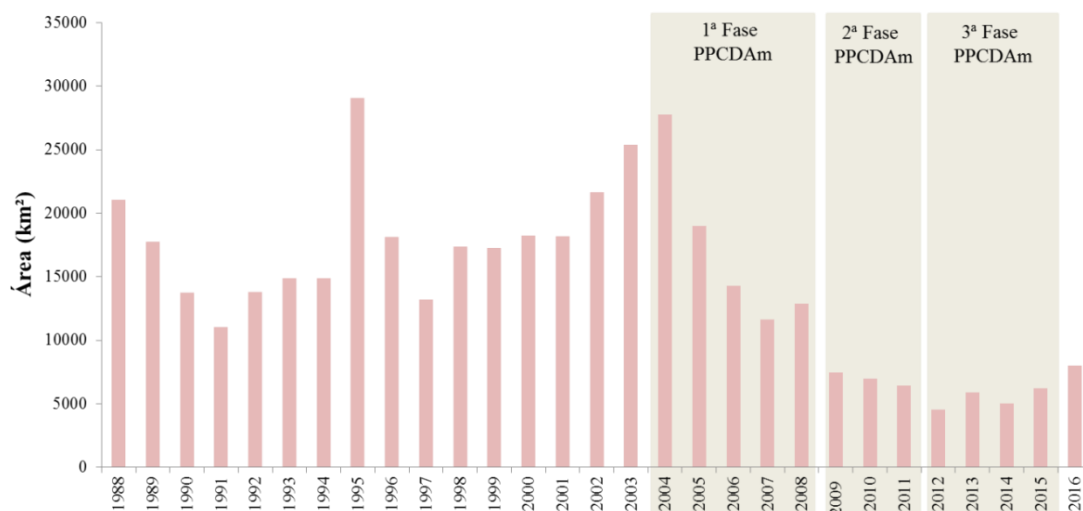
3.2 O desmatamento na Amazônia

O desmatamento na Amazônia está historicamente relacionado com o processo de ocupação desta região. Na década de 70, com a implantação do projeto de modernização nacional do Governo Federal, este passa a subsidiar a ocupação de terras na Amazônia. As principais estratégias foram a implantação de redes de integração espacial, como as rodovias Transamazônica, Cuiabá-Santarém, Perimetral Norte e Porto Velho – Manaus, e programas de polos agropecuários, como o Polamazônia (BECKER, 2005). Essa rede de integração espacial serviu como precursora dos agentes do desmatamento na Amazônia.

O avanço da ocupação e o desenvolvimento das atividades agropecuárias intensificaram a conversão da cobertura vegetal. Esta área de intenso desmatamento ficou denominada como “arco do desmatamento”, composto por parte dos estados do Pará, Acre, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins e Maranhão. Entre 1988 e 2016 houve uma perda acumulada estimada em 406.975 km² de florestas primárias em toda à Amazônia Legal e a região do arco do desmatamento foi responsável por aproximadamente 85% deste total.

O desmatamento da Amazônia aumentou continuamente até 2004, com variações relacionadas com as mudanças econômicas no Brasil. Por exemplo, o pico de desmatamento em 1995 foi decorrente do Plano Real e o aumento entre 2000 e 2004 foi associado com a expansão de áreas para cultivo de soja (MORTON et al, 2006). No ano de 2004 foi registrada a segunda maior alta nas taxas de desmatamento da Amazônia Legal, atingindo 27.772 km², segundo dados do PRODES/INPE. Nesse contexto, foi criado o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) introduzido em 2004. Esse plano de ação teve como objetivo geral promover a redução das taxas de desmatamento na Amazônia brasileira (BRASIL, 2013). As fases do PPCDAm e mais detalhes do plano estão descritas no item 3.7 da fundamentação teórica. Segundo o relatório publicado em 2011 e realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), *Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit* (GmbH) e Comissão Econômica para a América Latina e Caribe (CEPAL), o PPCDAm contribuiu para a diminuição do desmatamento ilegal na Amazônia (MAIA et al., 2011), como pode ser observado na figura 3.1.

Figura 3.1 – Área (km²) anual desmatada na Amazônia Legal entre 1988-2016.

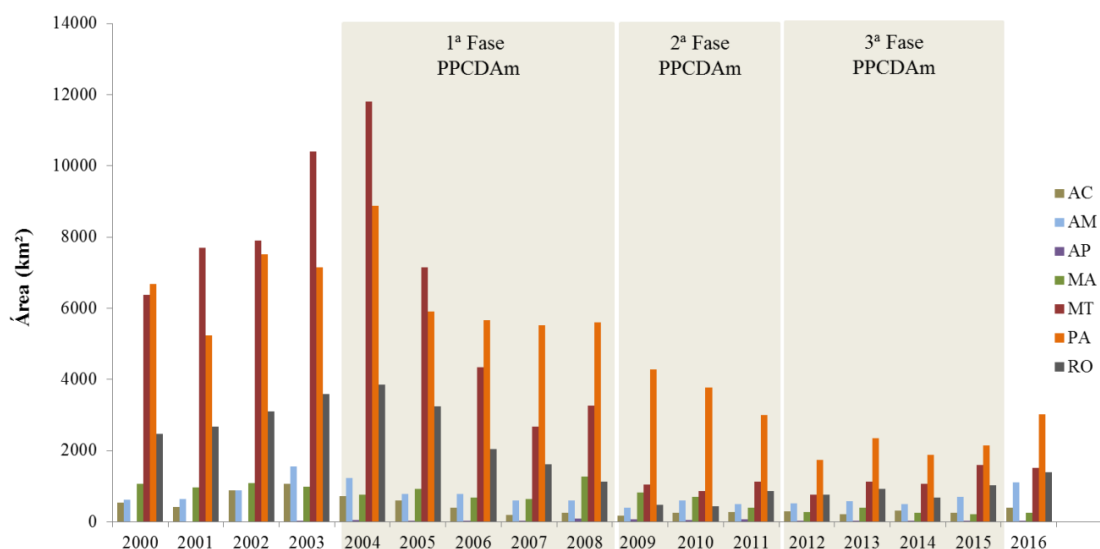


Obs.: 1988 média entre 1977 e 1988; 1993 e 1994 média entre os dois anos.

Fonte: PRODES/INPE, 2016.

Na figura 3.2 estão as taxas de desmatamento por estado da Amazônia Legal entre 2000 e 2016. A maior diminuição ocorreu principalmente no estado do Mato Grosso, estado líder na produção e exportação de soja e carne bovina no país. Entre 2006 e 2010 este estado diminuiu o desmatamento em cerca de 30% da sua taxa média histórica (1996 até 2005). Essa diminuição foi decorrente das flutuações do mercado de *commodities* e iniciativas políticas de monitoramento, fiscalização e restrição de créditos para os grandes desmatadores das grandes cadeias de exportação (MACEDO et al., 2012). O estado do Pará também apresentou uma diminuição nas taxas de desmatamento, porém com menor intensidade do que o estado do Mato Grosso. Desse modo, se consolidou a partir de 2006 como o estado com as maiores taxas de desmatamento.

Figura 3.2 – Área desmatada (km²) por estado da Amazônia Legal entre 2000-2016.



Fonte: PRODES/INPE, 2016.

3.2.1 O monitoramento da cobertura e uso da terra na Amazônia

O monitoramento do desmatamento na Amazônia Legal pelo Governo Federal teve início com o Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – PRODES em 1988, realizado pelo INPE em conjunto com o Ministério do Meio Ambiente – MMA. Este programa possibilitou a quantificação das áreas de florestas primárias desmatadas anualmente na Amazônia brasileira, sendo utilizado para iniciativas de fiscalização, monitoramento e combate do desmatamento ilegal pelo Governo. Além disso, essas informações são utilizadas para subsidiar políticas de redução das emissões de GEE por desmatamento como o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal - PPCDAm (MMA, 2013).

Para o mapeamento do desmatamento o PRODES utiliza imagens do satélite Landsat 5/7/8, ou similares, como imagens dos satélites CBERS 2/2B, Resourcesat-1, dentre outros. São utilizadas aproximadamente 210 imagens para cobrir a Amazônia brasileira. Até 2001 a metodologia do projeto consistia em interpretação visual das imagens impressas em papel fotográfico e posteriormente os polígonos eram digitalizados manualmente em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Entre 2002 e 2004 houve uma mudança de metodologia, utilizando o modelo linear de mistura espectral para a geração de frações sombra,

solo e vegetação derivadas de imagens com a menor quantidade de nuvens. As frações sombra e solo eram segmentadas em campos homogêneos, em seguida realizada uma classificação não supervisionada para derivar classes temáticas como desmatamento e floresta e por fim feita uma edição do mapeamento final e elaboração das cartas temáticas para cada estado (SHIMABUKURO et al., 2003).

A partir de 2005 houve uma mudança na metodologia e o INPE passou a usar um novo sistema de informações geográficas, o TerraAmazon, baseado na biblioteca de classes e funções para desenvolvimento de aplicações geográficas desenvolvida pelo INPE e parceiros, chamada TerraLib. Com esse sistema é realizada a interpretação e delimitação dos polígonos de desmatamento visualmente e manualmente diretamente na tela do sistema (INPE, 2013).

Além do PRODES, o INPE possui mais um programa de monitoramento do desmatamento na Amazônia, o sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real – DETER. O sistema DETER é operacional desde 2004 como um sistema de alerta, utilizando dados do sensor MODIS, com resolução espacial variando de 250m a 1 km e resolução temporal diária. Esse sistema tem como objetivo auxiliar a fiscalização pelo IBAMA de áreas que estão sofrendo os processos de desmatamento de corte raso e o aumento progressivo do desmatamento por degradação ambiental. Esse sistema é muito importante para o monitoramento em tempo quase real, entretanto, apresenta acurácia adequada apenas para desmatamentos maiores que 50 ha, devido à resolução espacial utilizada para o mapeamento (ANDERSON et al., 2005; SHIMABUKURO et al., 2006).

Em decorrência do crescimento da degradação florestal na Amazônia, indicado pelo sistema DETER, o INPE desenvolveu o sistema DEGRAD. Este sistema tem como objetivo mapear áreas em processo de desmatamento e onde a cobertura florestal ainda não foi totalmente removida. Para tanto, são utilizadas imagens dos satélites LANDSAT e CBERS e detecta a área mínima de 6,25 hectares (INPE, 2016). São detectadas degradações decorrentes de exploração madeireira, tanto em áreas com processo de regeneração após a extração, bem como áreas com degradação de baixa e alta intensidade.

Para mapear o destino dado as áreas que foram desmatadas e avaliar a dinâmica de uso e ocupação dessas áreas foi criado do projeto TerraClass, desenvolvido pelo INPE em conjunto com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Esse mapeamento proporcionou a quantificação e localização de classes de uso e ocupação das classes de floresta secundária, agricultura, pastagem, mineração, dentre outras classes, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012 e 2014, com uma resolução espacial de 60 metros.

As atribuições de uso da terra aos polígonos de desmatamento são realizadas por meio de fotointerpretação, exceto a classe agricultura no qual é utilizada séries temporais de imagens e método automático. Na classe vegetação secundária a área pertencente a esta classe do mapeamento do ano anterior é sobreposta a imagem e as modificações nos polígonos são realizadas pelo foto-interprete. O mapeamento da classe agricultura anual é realizado a partir de um método automático com base no comportamento espectro-temporal do Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada (NDVI) (ADAMI et al, 2015).

3.2.2 Emissões por Desmatamento

No Brasil as emissões de CO₂ por mudanças de uso e cobertura da terra são responsáveis por grande parte das emissões, estima-se que estas contribuem com 27,5% das emissões totais de CO₂ (MCT, 2016). Com o maior comprometimento do governo federal em reduzir as taxas de desmatamento, por meio de ações como o PPCDAm, em 2010 houve uma diminuição de 62% na taxa de desmatamento (INPE/PRODES, 2010). Aragão et al (2014), com base nessa diminuição da taxa de desmatamento, estimou uma redução de emissão de carbono em torno de 0,10 (variando entre 0,06 a 0,17) Pg C/ano em 2010. Aguiar et al. (2012) estimou uma diminuição de 0,28 Pg C/ano em 2004 para 0,15 Pg C/ano em 2009. Entretanto, estudos demonstram que o desmatamento tem avançado sobre áreas com maior biomassa na Amazônia e, apesar da diminuição das taxas de desmatamento, isso pode contribuir para o aumento das emissões (LOARIE et al., 2009).

Na tabela 3.1 estão resumidos alguns estudos que realizaram estimativas de emissão de carbono para a Amazônia brasileira associada às mudanças de cobertura da terra. Essas estimativas de emissões de carbono da floresta tropical

apresentam discrepâncias entre elas, uma vez que são utilizadas diferentes metodologias e fontes de dados para a modelagem, além disso, a relação direta entre taxas de desmatamento e emissão de carbono podem subestimar os valores (RAMANKUTTY et al., 2007; ARAGÃO et al. 2014). Estudos na Amazônia sugerem que cerca de 60% das incertezas das emissões estimadas são relacionadas aos estoques de carbono em terras desmatadas (HOUGHTON et al., 2000).

Tabela 3.1 – Estimativas de emissão de carbono por processos de MUCT na Amazônia Brasileira.

Período	Pg C/ano	Referência
1989 - 1998	0,18	Houghton et al. (2000)
Década de 1980	0,14	Defries et al. (2002)
Década de 1990	0,26	Defries et al. (2002)
2000 - 2005	0,44	Hansen et al. (2008); Harris et al. (2012)
2000 - 2010	0,47	Baccini et al. (2012)
2000 - 2009	0,21	Aguiar et al. (2012)
2001 - 2010	0,14	Song et al. (2015)
2007 - 2013	0,42	Aguiar et al. (2016)

As florestas secundárias apresentam um papel importante dentro do ciclo do carbono, uma vez que é capaz de absorver uma parte do carbono emitido no processo de conversão da cobertura vegetal. Contudo, cerca de 17% da área regenerada é desmatada novamente a cada ano na Amazônia, fazendo com que no balanço final sua contribuição seja de aproximadamente 20% na redução das emissões (AGUIAR et al., 2012; RAMANKUTTY et al., 2007). Além disso, em muitos casos sua área é superestimada ou subestimada, sendo também uma fonte de incerteza para os modelos de emissão (ARAGÃO et al., 2014; BROWN, 1993; HOUGHTON et al., 2012; PAN et al., 2011).

3.3 A degradação na Amazônia

3.3.1 Queimadas e incêndios florestais

O fogo tem grande influência nos ecossistemas tropicais em decorrência da sua relação com os processos de mudanças de uso e cobertura da terra e ciclo do carbono. Nesta dissertação considera-se como queimadas o uso do fogo controlado e que geralmente ocorre em áreas produtivas para eliminar a biomassa

local. Já incêndio florestal é definido quando o controle do uso do fogo é perdido. Baseando-se na utilização de dados de sensoriamento remoto, ainda é um grande desafio identificar quando a área impactada pelo fogo foi feita de forma controlada ou intencional, ou quando o fogo sai do controle e afeta áreas de florestas e áreas produtivas ou de infraestrutura. Portanto, nessa pesquisa consideram-se em conjunto queimadas e incêndios florestais, sendo esta somatória o total de área queimada.

As queimadas e incêndios florestais causam uma série de impactos ambientais, como a degradação da vegetação, perda de biomassa, mudanças estruturais na vegetação e composição de espécies, além da emissão de carbono e aumento de particulados na atmosfera, que dentre outros impactos afetam saúde humana (COCHRANE; SCHULZE, 1999; RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002; ALENCAR et al, 2006; SMITH et al 2014).

Com a ocorrência de secas extremas há um aumento da vegetação seca e a diminuição da umidade dentro das florestas resulta no aumento da flamabilidade, ocorrendo intensificação e recorrência das queimadas na Amazônia (COCHRANE et al. , 1999; ARAGÃO et al., 2007). Durante a seca de 1997 e 1998 houve grandes incêndios florestais na região amazônica devido a seca provocada pelo fenômeno El Niño. Estudos estimaram que entre 10.000 a 13.000 km² de florestas foram queimadas somente na porção norte do estado de Roraima (BARBOSA; FEARNSIDE, 1999; KIRCHOFF; ESCADA, 1998). Desde então os estudos dos impactos causados pelas queimadas na Floresta Amazônica passaram a receber mais atenção da comunidade científica. Alencar et al (2006), sem considerar o estado de Roraima, estimou que cerca de 26.000 km² foram queimados na Amazônia no ano de El Niño de 1998, no qual cerca de 58% da área afetada era de floresta densa.

Entre 1999 e 2010 estima-se que mais de 85.500 km² de florestas foram queimadas na região sul da bacia Amazônica (MORTON et al, 2013). Lima (2013) estimou que nos anos de eventos de secas extremas em 2005 e 2010 cerca de 21.500 km² e 43.000 km² foram queimados, respectivamente, somente no estado do Pará. Anderson et al. (2015) estimou que uma área de aproximadamente 96.855 km² foi queimada no estado do Mato Grosso durante a

seca de 2010, afetando cerca de 31% a 33% da área total de vegetação primária remanescente nesta região. Para a porção oriental do estado do Acre, Silva et al. (2013) estimou que entre 1989 e 2010, cerca de 3.482 km² foram queimados em áreas de florestas. Entre 2000 e 2011, uma área de aproximadamente 119.314 km² foi queimada somente no estado de Rondônia, com os maiores picos de queimadas nos anos de 2005 e 2010 (CARDOZO, 2014).

3.3.2 Monitoramento de queimadas por satélite

Existem duas linhas de pesquisas relacionadas à detecção e monitoramento de queimadas: 1) por focos de calor, associada a fogos ativos, no qual utilizam as bandas espectrais da região do infravermelho termal (4 a 15µm) para detectar o calor emitido pelo alvo (JUSTICE et al., 2002; GIGLIO et al., 2003, PERGOLA et al., 2004; LI et al., 2006; SETZER e MORELLI, 2011) e; 2) espacialização da cicatriz de queimada, realizada a partir da quantificação da extensão da área afetada pelo fogo considerando o comportamento espectral do material carbonizado após a passagem do fogo, utilizando as bandas espectrais da região do visível (0,4-0,7µm), infravermelho próximo (0,7-1,5µm) e infravermelho médio (1,5-4µm) (GITAS et al., 2004; SILVA et al., 2005).

A partir dos estudos de Anderson et al. (2005), Shimabukuro et al (2009), Lima et al. (2012) e Andere et al. (2015) foi desenvolvida uma metodologia de mapeamento de cicatrizes de queimadas utilizando imagens fração-sombra derivadas do Modelo Linear de Mistura Espectral – MLME, nas bandas do vermelho (0,62-0,67 µm), infravermelho-próximo (0,84-0,87 µm) e infravermelho médio (1,62-1,65 µm) do sensor MODIS. Essa metodologia obteve acurácia aceitável na identificação de cicatrizes de queimadas na fração-sombra quando comparadas às observadas no sensor TM/Landsat-5 (ANDERSON et al., em revisão).

Por exemplo, Anderson et al., (2015) encontraram uma acurácia de 99,20% (97,67% - 99,48%) em cicatrizes de queimadas em área de florestas e 96,93% (93,76% - 98,92%) em áreas de não floresta baseadas no sensor MODIS quando comparado com imagens de referência do sensor TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-

7 utilizando a metodologia descrita acima. Portanto, esta metodologia é robusta e foi definida para a utilização nesta pesquisa.

3.3.3 Degradação por extração seletiva

A degradação florestal pode ser subdividida em natural e antrópica. A degradação natural está relacionada com eventos decorrentes de processos não-antrópicos, dentre eles podemos citar os fenômenos de tempestades de ventos e secas severas que acarretam na mortalidade da vegetação (PHILLIPS et al., 2010; ESPIRITO-SANTO et al, 2014; FELDPAUSCH et al, 2016). A degradação florestal de causa antrópica está relacionada com eventos de exploração madeireira e incêndios em florestas (GEIST E LAMBIN, 2002). A exploração madeireira legal adota a seleção de espécies de acordo com critérios econômicos e/ou técnicos em conjunto com técnicas planejadas, assim, em teoria, não há impactos a longo prazo na estrutura e composição da floresta manejada. Na exploração ilegal não há o planejamento sustentável da retirada de árvores, alterando, portanto a estrutura e composição de espécies podendo impactar o funcionamento da floresta primária. Essa intervenção não controlada acarreta em diversos efeitos na estrutura da floresta (ASNER et al., 2005; ASNER et al, 2006; BROADBENT et al., 2008; BERENGUER et al., 2014).

Nas florestas exploradas por extração madeireira, observa-se o aumento da intensidade de luz solar na camada mais inferior da floresta, resultado do aumento da área de clareiras (JOHNS et al., 1996; SCHULZE; ZWEEDE, 2006). Nessas áreas também ocorre o aumento da biomassa morta (KELLER et al., 2004), tornando a floresta mais vulnerável a dispersão do fogo (HOLDSWORTH; UHL, 1997). Além disso, danos podem ser causados em árvores não exploradas em decorrência do tipo de operação de retirada da vegetação (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996) e alterações na composição de espécies da flora, com o aumento de espécies pioneiras e extinção de espécies devido à exploração excessiva de espécies de maior valor (GERWING, 2002; UHL e VIEIRA, 1989).

Em decorrência da extensão da atividade madeireira na Amazônia, bem como da dificuldade de controle e fiscalização de exploração ilegal, além da dificuldade de mapeamento, existe uma grande incerteza não só sobre a área impactada, mas

também do total de madeira retirado. Asner et al. (2005) estimou uma área de corte seletivo para a Amazônia brasileira variando de 12.075 a 19.823 km² por ano (+- 14%) entre 1999 a 2002, o equivalente a 27-50 milhões de metros cúbicos de madeira extraídas por ano, no qual mais de 1.200 km² por ano foram observados em áreas de conservação. Em áreas onde há extração seletiva e fogo de sub-bosque os estoques de carbono são 40% menores do que em áreas de florestas onde não há distúrbio e a estrutura da vegetação é semelhante à de florestas secundárias (BERENGUER et al., 2014).

3.3.4 Emissões por Degradação Florestal

O estudo sobre os processos de degradação na floresta amazônica e a emissão de carbono decorrente deste processo ainda são incipientes. Aguiar et al. (2016) utilizando os dados do PRODES e DEGRAD estimou que no período entre 2007 e 2013 o processo de degradação florestal, por corte seletivo e queimadas, contribuiu com 47% das emissões brutas de carbono por desmatamento. Neste período, em decorrência do processo de desmatamento foi emitida a média de 417 Tg CO₂/ano, e em resultado do processo de degradação, a média foi de 196 Tg CO₂/ano (AGUIAR et al., 2016).

Durante os últimos 40 anos, a expansão da fronteira agrícola e a intensificação da conversão da cobertura da terra por meio do desmatamento e atividades de uso do solo, propiciou o aumento da frequência de uso do fogo, tornando um processo anual na Amazônia, com expansão para florestas primárias em anos mais secos (ARAGÃO et al., 2008).

A emissão de carbono por incêndios florestais é uma peça fundamental nas políticas de redução de emissões, uma vez que incêndios florestais contribuem aproximadamente com 25% das emissões de carbono (ARAGÃO et al., 2014). Entretanto, estimativas de emissão por incêndios florestais para a Amazônia ainda são raras, uma vez que há falta de dados sistemáticos em áreas florestais afetadas por incêndios, incertezas na fração de combustão da biomassa viva e morta e falta de monitoramento de longo tempo em áreas após o distúrbio do fogo (ARAGÃO et al., 2014).

Alencar et al (2006) em seu estudo sugerem que em anos não secos a emissão por queimadas/incêndios podem variar entre 0,001 a 0,011 Pg C. Contudo, a emissão de carbono por queimadas é intensificada em anos mais secos, onde os eventos de queimadas ocorrem com mais frequência e extensão. Durante o evento severo do El Niño de 1997/1998, Phulpin et al (2002) estimou uma área de florestas queimadas de 6980 km² com uma emissão bruta de 0,02 Pg C para o estado de Roraima, norte da Amazônia. Fearnside e Laurance (2004) estimaram que foram emitidos 43 Tg de C na queimada de 1997-1998 no estado de Roraima. Já para o sul da Amazônia Alencar et al (2006) estimou um total de 26.000 km² de florestas afetadas pelo fogo, com uma emissão bruta variando de 0,024 a 0,165 Pg C.

O decreto nº 7.390/2010, que regula o Plano Nacional em Mudança do Clima, tem como objetivo reduzir as emissões de todos os setores para 0,87 Pg C, no qual 0,25 Pg C correspondem a mudanças na cobertura da terra na Amazônia. Gatti et al (2014) com base no perfil de GEE na atmosfera medido na Amazônia, estimou que durante 2011 o fogo foi responsável por $0,30 \pm 0,10$ Pg C, um valor similar às emissões de carbono propostas para todos os setores em 2020 ($\sim 0,33$ Pg C) pelo governo brasileiro. O mesmo estudo estimou que durante o ano de 2010, caracterizado por evento de seca severa, o fogo foi responsável por emitir $0,51 \pm 0,12$ Pg C para a atmosfera. Anderson et al (2015) estima que uma área de 96.855 km² foi queimada no estado do Mato Grosso em 2010, com uma emissão total de $0,085 \pm 0,033$ Pg C. De acordo com este estudo, as emissões em 2010 para o estado do Mato Grosso contribuem com 77% (47% a 107%) da meta anual de redução na Amazônia.

O corte seletivo ilegal também é uma fonte de emissão de carbono comprometida negligenciada, uma vez que são baseadas na vida útil da madeira e o seu tempo de decomposição. Contudo, devido ao padrão espacial difuso da extração madeireira na Amazônia, a sua observação por imagens de satélite é dificultada e as pesquisas realizadas em serralherias apresentam incertezas na área reportada de extração. Asner et al (2005) estimaram um fluxo bruto de 80 Tg C por ano para extração seletiva (ASNER et al., 2005).

3.4 Secas extremas na Amazônia

Nos últimos 20 anos a Amazônia foi impactada por grandes eventos de secas extremas, afetando de forma significativa as populações humanas e os ecossistemas naturais. Dentre os eventos mais severos de seca, destacam-se os ocorridos em 1997-1998, 2005, 2010 e 2015-2016. Esses eventos são associados com eventos como o *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) e com anomalias no aumento da temperatura da superfície do mar (SST, sigla do inglês: *Sea Surface Temperature*) no oceano Atlântico tropical, relacionada com a Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) (MARENGO et al., 2008).

A seca de 1997-1998 foi provocada pelo *El Niño* em conjunto com anomalia positivas do AMO, aumentando a inflamabilidade das florestas e pastagens no leste e sul da Amazônia na estiagem de 1998 (RONCHAIL et al., 2002). Estima-se que foram perdidos na produção agropecuária mais de U.S.\$ 36 milhões (NEPSTAD et al., 1999; COCHRANE, 2009). Mendonça et al (2004) estimou que foram perdidos em média entre U.S.\$ 90 a 5055 milhões em decorrência das queimadas na Amazônia devido evento do El Niño de 1997-1998.

Em 2005 ocorreu outro evento de seca extrema que afetou, principalmente, a região sul-ocidental da Amazônia (ARAGÃO et al., 2007). Estudos demonstraram que este evento foi decorrente do aquecimento das águas do Atlântico Tropical (AMO) (MARENGO et al., 2008; ZENG et al., 2008). Durante a seca de 2005 uma área maior que 3.300.000 km² foi afetada por estresse hídrico e a contagem de *hot-pixels* aumentou em 376% no Acre em comparação a 2004, apesar da redução de 16% na taxa de desmatamento (ARAGÃO et al., 2007).

Após cinco anos, em 2010 a Amazônia sofreu outro grande evento de seca extrema. Este evento teve início durante um evento moderado do El Niño de 2009-2010 em conjunto com anomalias positivas do AMO (LEWIS et al., 2011). Um impacto direto da diminuição anormal das chuvas foi na redução da vazão do curso principal do rio Amazonas e seus afluentes e aumento da temperatura de superfície (MARENGO et al., 2011), além de incêndios florestais na região sul da Amazônia (ANDERSON et al., 2016). Em 2015, talvez o evento de seca mais extremo de todos, foi causado pelo ENSO de 2015-2016 e a extensão de seus impactos diretos e indiretos ainda não foram quantificados (JIMÉNEZ-MUÑOZ et al., 2016).

Análises de tendências de diversos modelos globais de circulação demonstram um aumento da frequência e intensidade de eventos de secas extremas na região Amazônica (MALHI et al., 2008). Estes eventos limitam a umidade da floresta e interferem nos processos de estoque e sequestro de carbono, evapotranspiração, manutenção da diversidade de espécies, eleva a mortalidade das árvores e aumenta o volume de serapilheira seca no solo, causando o aumento da probabilidade de incêndios (LAURANCE; WILLIAMSON, 2001; NESPTAD et al., 2004; PHILLIPS et al., 2009; MEIER et al., 2013).

3.5 Políticas para redução e controle de emissão de carbono na Amazônia brasileira

Segundo dados do 3º Inventário Nacional de Gases do Efeito Estufa, o setor de mudança do uso da terra e florestas corresponde como a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, responsável por mais de 27,5% das emissões totais (MCTI, 2016), principalmente decorrentes do desmatamento na Amazônia. Diante do reconhecimento do grande impacto das mudanças de cobertura vegetal nas emissões de carbono, as políticas e ações de mitigação por parte do Brasil foram concentradas, principalmente, em reduzir as taxas de desmatamento.

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento que ocorreu no Rio de Janeiro em 1992 (Eco-92 ou Rio-92) foi um marco em relação às questões ambientais e de mudanças no clima. A partir dessa conferência foi elaborado um tratado e criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (CQNUAC). Este tratado foi assinado por diversos países do mundo com o objetivo estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático. A partir dessas conferências foi criado o Protocolo de Kyoto elaborado em 1997, porém este entrou em vigor somente em fevereiro de 2005, uma vez que era preciso a assinatura dos países responsáveis por 55% das emissões de dióxido de carbono do planeta. O Brasil ratificou o documento em 23 de agosto de 2002, tendo sua aprovação interna por meio do Decreto Legislativo nº 144 de 2002.

A criação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), por meio da Lei nº 12.187/2009, nasce nesse contexto e oficializa o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima de redução das emissões de gases do efeito estufa. O objetivo da PNMC é garantir que o desenvolvimento econômico e social contribua para a proteção do sistema climático global. Segundo o Decreto nº 7.390/2010, a linha de base de emissões de gases de efeito estufa para 2020 foi estimada em 3,236 GtCO₂-eq, desse modo, o Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima firmou o compromisso se reduzir as emissões de GEE entre 36,1% e 38,9%, o que corresponderia a 1,168 Gt CO₂^{-eq} e 1,259 Gt CO₂^{-eq} em valores absolutos, das emissões projetadas até 2020.

Diante da iniciativa em diminuir o desmatamento na Amazônia foi criado o Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal – PPCDAm lançado pelo governo federal em 2004, com o objetivo principal de reduzir as taxas de desmatamento. Posteriormente com a criação da PNMC em 2009, o PPCDAm se tornou um instrumento dessa política com o objetivo de auxiliar na redução das emissões de carbono devido ao desmatamento.

O PPCDAm foi dividido em quatro fases de execução. A primeira fase, entre 2004 e-2008, foi focada no eixo de Ordenamento Fundiário e Territorial, com a criação de Unidades de Conservação e homologação de Terras Indígenas. Ao todo foram estabelecidos mais de 25 milhões de hectares de áreas protegidas neste período. A segunda fase (2009-2011) teve como base o eixo Monitoramento e Controle, para a redução das taxas de desmatamento. Já a terceira fase (2012-2015) teve como objetivo promover ações condizentes com a nova dinâmica de desmatamento e efetivar o eixo de Fomento às Atividades Produtivas Sustentáveis. A quarta fase tem seu eixo denominado de Instrumentos Econômicos e Normativos (2016-2020) com o objetivo tratar da elaboração de atos normativos e econômicos associados ao desmatamento (BRASIL, 2017).

Para a centralização dessa política, foram escolhidos municípios prioritários para a ação de monitoramento e controle do desmatamento entre a primeira e segunda fase do PPCDAm. A escolha desses municípios foi pautada na área total de floresta desmatada dentro de seus limites, na área total de floresta desmatada nos

últimos três anos e no aumento da taxa de desmatamento em pelo menos três dos últimos cinco anos (BRASIL, 2015). A localização e a lista com os nomes e ano de entrada e saída dos municípios prioritários estão na figura 3 e tabela 2, respectivamente.

Segundo a Portaria n. 103/09 para que o município saia da lista de prioritários deve cumprir cumulativamente os seguintes critérios: i) possuir 80% de seu território, executadas as UC's e terras indígenas homologadas, com imóveis rurais devidamente monitorados por meio do Cadastro Ambiental Rural (CAR); ii) que o desmatamento ocorrido em 2008 tenha sido igual ou menor que 40 km²; iii) que a média do desmatamento dos anos de 2007 e 2008 tenha sido igual ou inferior a 60% em relação à média do período de 2004 a 2006.

Em 2014 foi realizada uma avaliação pelo *Climate Policy Initiative* e Núcleo de avaliação de Políticas Climáticas da PUC-RJ sobre o impacto dos municípios prioritários criados pelo PPCDAm para a redução do desmatamento. Os resultados demonstraram que o monitoramento e a aplicação da lei quando passadas para nível municipal apresentaram um impacto na diminuição das taxas de desmatamento. Desse modo, chegou-se a conclusão de que a centralização do monitoramento e aplicação das leis oriunda da segunda fase do PPCDAm foi mais efetiva no combate ao desmatamento nestes municípios da lista.

Figura 3.3 – Localização dos 52 Municípios Prioritários e Monitorados do PPCDAm.

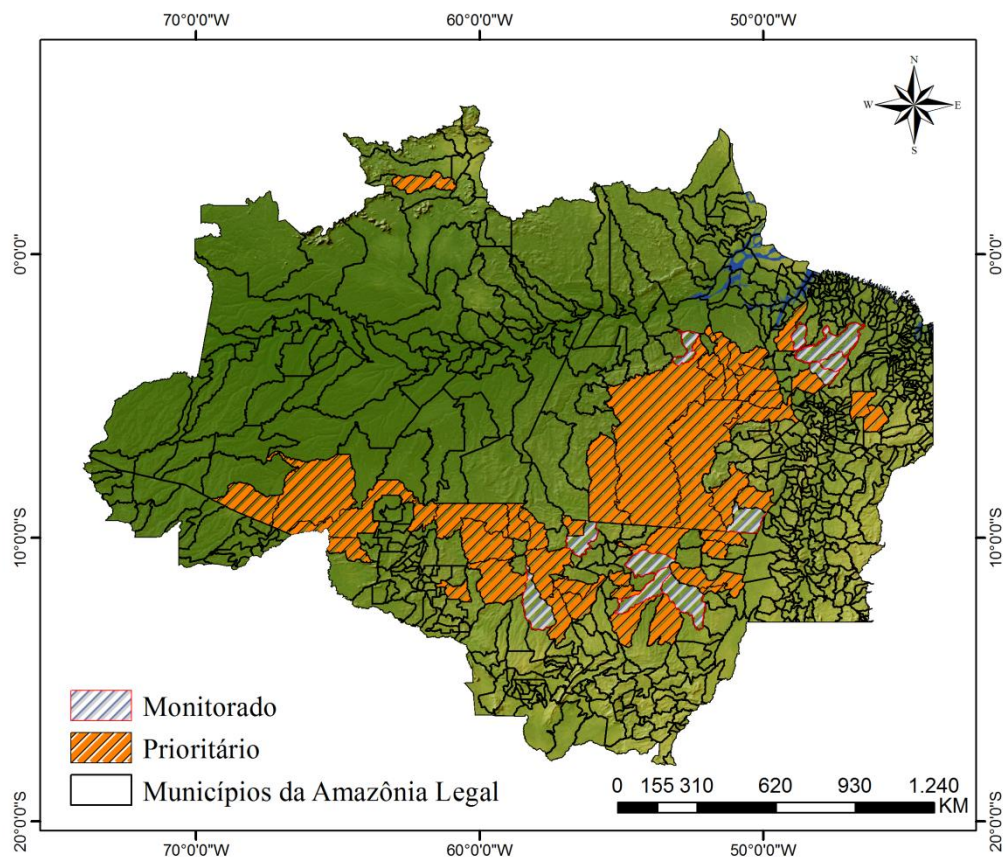


Tabela 3.2 – Municípios Prioritários e Monitorados da Amazônia Legal.

Estado	Município	Tipo	Ano de entrada	Ano de saída
AM	Boca do Acre	Prioritário	2011	
AM	Lábrea	Prioritário	2008	
MA	Amarante Do Maranhão	Prioritário	2009	
MA	Grajau	Prioritário	2011	
MT	Nova Ubirata	Prioritário	2008	
MT	Santa Carmem	Prioritário	2011	
MT	Confresa	Prioritário	2008	
MT	Vila Rica	Prioritário	2008	
MT	Juína	Prioritário	2008	
MT	Aripuana	Prioritário	2008	
MT	Cotriguaçu	Prioritário	2008	
MT	Colniza	Prioritário	2008	
MT	Brasnorte	Monitorado	2008	2013
MT	Nova Maringá	Prioritário	2008	
MT	Peixoto De Azevedo	Prioritário	2008	
MT	Gaúcha Do Norte	Prioritário	2008	
MT	Feliz Natal	Monitorado	2009	2013

MT	Tapurah	Prioritário	2011	
MT	Marcelândia	Monitorado	2008	2013
MT	Querência	Monitorado	2008	2011
MT	Juara	Prioritário	2009	
MT	Porto Dos Gaúchos	Prioritário	2008	
MT	Alta Floresta	Monitorado	2008	2012
MT	Paranaíta	Prioritário	2008	
MT	Nova Bandeirantes	Prioritário	2008	
MT	Claúdia	Prioritário	2011	
MT	São Félix Do Araguaia	Prioritário	2008	
MT	Alto Boa Vista	Prioritário	2011	
PA	Moju	Prioritário	2011	
PA	Tailândia	Monitorado	2009	2013
PA	Paragominas	Monitorado	2008	2010
PA	Ulianópolis	Monitorado	2008	2012
PA	Pacajá	Prioritário	2009	
PA	Novo Repartimento	Prioritário	2008	
PA	Santana Do Araguaia	Monitorado	2008	2012
PA	Marabá	Prioritário	2009	
PA	Itupiranga	Prioritário	2009	
PA	Santa Maria Das Barreiras	Prioritário	2008	
PA	Altamira	Prioritário	2008	
PA	Novo Progresso	Prioritário	2008	
PA	São Félix Do Xingu	Prioritário	2008	
PA	Cumaru Do Norte	Prioritário	2008	
PA	Senador Jose Porfirio	Prioritário	2012	
PA	Anapu	Prioritário	2012	
PA	Brasil Novo	Monitorado	2008	2013
PA	Dom Eliseu	Monitorado	2008	2012
PA	Rondon Do Para	Prioritário	2008	
RO	Nova Mamoré	Prioritário	2008	
RO	Porto Velho	Prioritário	2008	
RO	Pimenta Bueno	Prioritário	2008	
RO	Machadinho D'oeste	Prioritário	2008	
RR	Mucajá	Prioritário	2009	

O conjunto de políticas e incentivos associados ao objetivo de retardar, deter e reverter a perda de cobertura florestal e de estoques de carbono é conhecido como Redução de Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação florestal (REDD). O REDD+ consiste em compensar países em desenvolvimento, detentores de florestas tropicais pelo seu desempenho em reduzir emissões de GEE, conservação de florestas e incremento de estoque de carbono. No Brasil o

Fundo Amazônia é o principal instrumento financeiro de compensação e pode ser considerado como um mecanismo do tipo REDD. Em 2015 por meio da Portaria MMA nº 370, foi estabelecida uma estratégia nacional para REDD+ no Brasil (ENREDD+). Essa estratégia tem como objetivo geral contribuir para a mitigação de mudança do clima por meio da eliminação do desmatamento ilegal, da conservação e recuperação dos ecossistemas florestais e do desenvolvimento de uma economia florestal sustentável de baixo carbono (BRASIL, 2015).

Para que o REDD seja eficaz é preciso uma estabilização das taxas de desmatamento e da degradação na floresta amazônica. Contudo, dados oficiais recentes demonstram que as taxas de desmatamento estão aumentando novamente (INPE, 2016), especialmente em áreas com maior biomassa (OMETTO et al., 2014). Além disso, em anos de secas na Amazônia, as áreas queimadas podem contribuir com as emissões até mais do que pelo desmatamento, entretanto, os incêndios florestais têm sido ignorados nas negociações do REDD (ARAGÃO E SHIMABUKURO, 2010; BARLOW et al., 2012), o que pode resultar em falhas para atingir em um dos objetivos finais do programa que se refere a mitigação de mudanças climáticas.

4 ÁREA DE ESTUDO

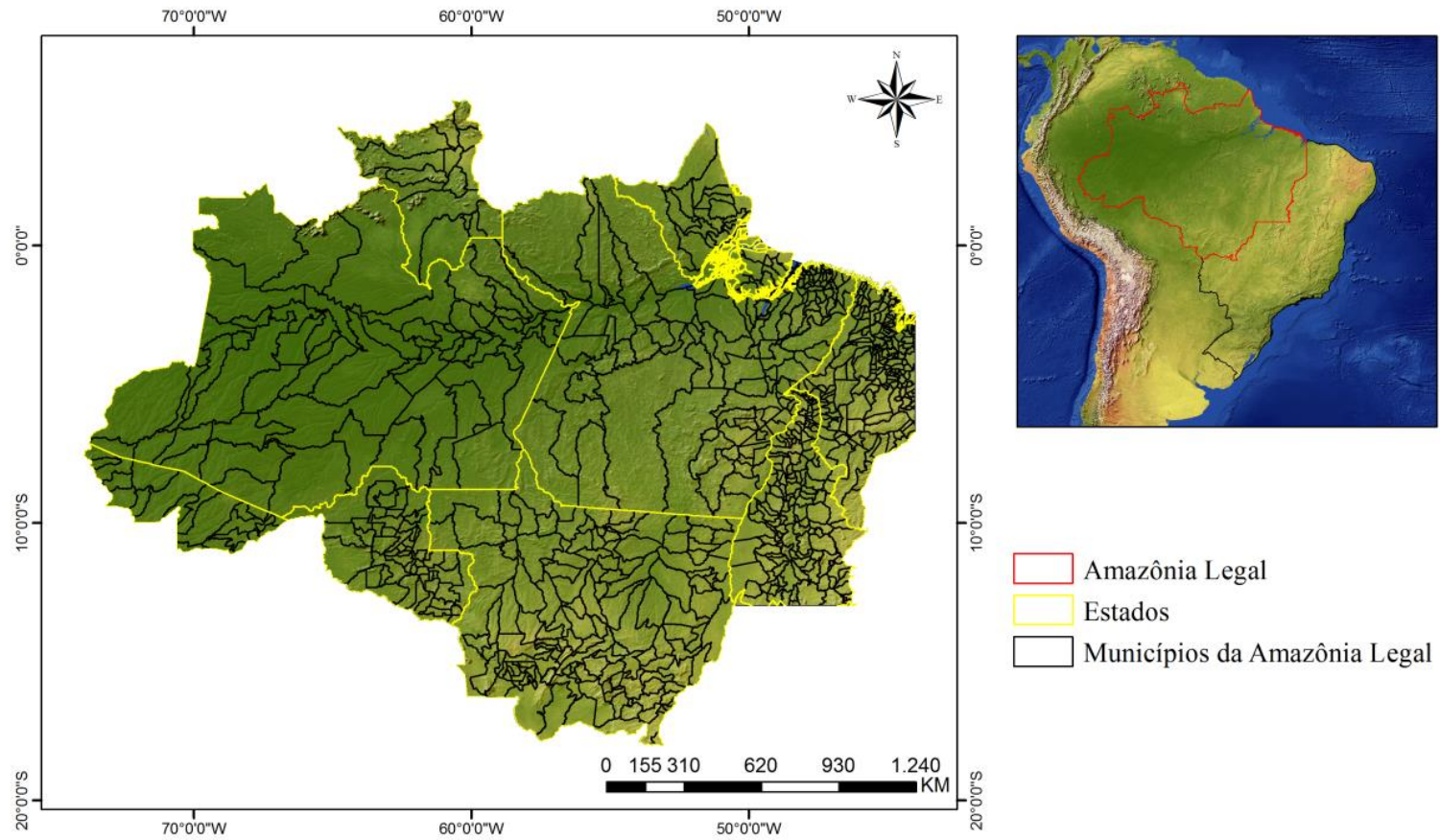
A área de estudo corresponde à Amazônia Legal brasileira (Figura 4.1) e abrange oito estados brasileiros: Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre, Amapá, Mato Grosso e parte dos estados do Tocantins e Maranhão. A área total da Amazônia Legal é de aproximadamente 5.020.000 km², ou seja, cerca de 59% do território brasileiro, abrangendo o bioma Amazônia e parte do Cerrado de acordo com IBGE (2015). O tipo de vegetação predominante na Amazônia é a floresta ombrófila densa, abrangendo 41,76% do bioma, com cerca de 12,47% de sua área de interferência antrópica, no qual 2,97% correspondem a vegetação secundária e 9,5% são de uso para a agropecuária (MMA, 2015). A sua estrutura vegetal é complexa e composta por florestas de terra firme, florestas secundárias, vegetação alagada e áreas de transição com savana (MALHI et al., 2002; SAATCHI, 2007).

O clima é equatorial, quente e úmido com temperaturas variando ao longo do ano entre 21° a 42°C, com média anual de 28°C. Essa região possui chuvas abundantes, com média de precipitação em torno de 2.000 mm podendo ultrapassar os 3.000 mm em alguns locais (MMA, 2015).

De acordo com Becker (2005) a expansão da ocupação da Amazônia se iniciou na década de 1960 com a criação de uma rede de infraestrutura e interligação com o restante do país, como a BR-153 (Belém-Brasília) e iniciativas de colonização lideradas pelo governo federal. A partir do final da década de 1970 a expansão foi controlada pelo financiamento de projetos de agronegócio, com o crescimento da pecuária e posteriormente com a expansão da soja.

Este modelo de ocupação da Amazônia levou a um aumento significativo do desmatamento e da degradação das florestas, se configurando como um fenômeno de natureza complexa, com inúmeros fatores atuantes. Tais como especulação de terras ao longo das rodovias, crescimento desenfreado das cidades, aumento da pecuária bovina em grandes extensões de terras, exploração madeireira e agricultura ligada ao cultivo de soja (FEARNSIDE, 2003; ALENCAR et al., 2004; LAURANCE et al., 2004).

Figura 4.1- Localização da área de estudo.



5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados neste trabalho são apresentados na tabela 5.1 e descritos nos subitens a seguir.

Tabela 5.1 - Dados utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.

Dados	Ano ou Período	Resolução espacial original	Fonte
Desmatamento	2008-2012	30m	PRODES/INPE
Cicatrizes de queimadas	2010-2012	250m	Projeto Amazônica
Imagens Terra/MODIS	2008-2009	250m	www.glovis.usgs.gov
Cobertura da Terra	2008, 2010, 2012	30m	TerraClass/INPE.
Biomassa	2000	30m	Baccini (2015)
Degradação	2009-2013	30m	DEGRAD/INPE

5.2 MÉTODOS

5.2.1 Processamento dos dados de desmatamento

Os dados disponibilizados pelo programa de controle de desmatamento PRODES/INPE foram utilizados para a obtenção da área desmatada entre 2008 e 2012 para a Amazônia Legal (para maiores detalhes ver seção 3.2.1). Os dados gerados fornecem a área de corte raso de florestas primárias, uma vez que não leva em consideração a degradação ocasionada por queimadas, extração seletiva e recorrência de desmatamento em florestas secundárias.

Neste trabalho foi utilizada os dados espaciais de desmatamento anual de 2008 a 2012. Os dados de desmatamento acumulado dos anos anteriores não foram considerados, pois foi utilizado o modelo de emissão no modo espacial somente para o período de estudo desta pesquisa. As áreas de desmatamento disponibilizadas neste trabalho referem-se aos dados de desmatamento observados, enquanto que as estimativas de desmatamento divulgadas pelo projeto PRODES referem-se a taxa de desmatamento. Para o cálculo da taxa de desmatamento são realizadas estimativas de área desmatada em regiões que não são observadas em decorrência de nuvens ou sombra de nuvens.

Na tabela 5.2 apresenta-se a área desmatada observada, utilizada nesta pesquisa em comparação com a taxa de desmatamento, disponibilizada pelo projeto PRODES via website. As maiores variações observadas referem-se aos estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia. Além da diferença entre a área observada e a taxa de desmatamento, identificam-se duas outras fontes que podem gerar diferença entre a área observada e a taxa de desmatamento reportado pelo website oficial do projeto: (a) diferença na projeção utilizada pelo PRODES e por esta pesquisa: Sistema de Projeção Lat/Long, datum SAD69 e projeção cônica equivalente de Albers, datum SIRGAS 2000, respectivamente; (b) detectou-se neste trabalho áreas que são mapeadas como desmatamento em dois ou mais anos subsequentes, provavelmente devido a incerteza no registro das imagens.

Para as áreas em que foram detectados pixels com desmatamento em dois ou mais anos distintos, foi realizado um processamento para ajuste dos dados. Assim, foi atribuído como desmatamento o primeiro ano em que o mapeamento foi identificado e nos anos seguintes os pixels com desmatamento foram alocados como valor zero. Quantificou-se nesta etapa que 0,5% dos pixels analisados apresentaram este tipo de inconsistência na base de dados do PRODES.

Tabela 5.2 – Diferença da área observada e das taxas de desmatamento (km²) reportada para a Amazônia Legal.

	2008	2009	2010	2011	2012
Taxa de desmatamento PRODES	12.911	7.464	7.000	6.418	4.571
Dado de desmatamento observado PRODES	13.133,94	5.995,54	6.081,81	5.437,52	4.139,26
Diferença	222,94	-1.468,46	-918,19	-980,48	-431,74

5.2.2 Processamento dos dados de queimadas e incêndios florestais

Os dados de área queimada foram gerados utilizando imagens do MODIS. Este trabalho utilizou a metodologia para mapeamento das cicatrizes de queimadas na Amazônia desenvolvido por Anderson et al (2005), Shimabukuro et al (2009), Lima et al (2012) e Andere et al (2015), Anderson et al (2015).

A seguir, descreve-se brevemente a metodologia utilizada no mapeamento de cicatriz de área queimada. O método baseia-se na aplicação do Modelo Linear de

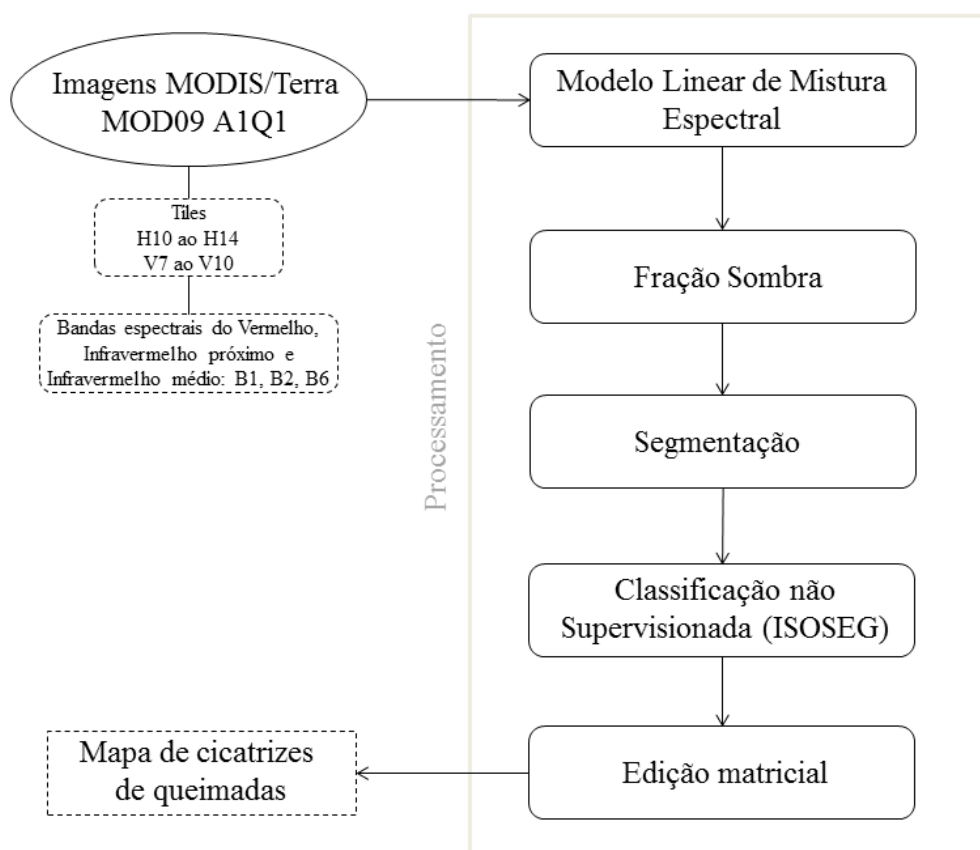
Mistura Espectral – MLME (SHIMABUKURO; SMITH, 1991) nas imagens do satélite MODIS. Dessas imagens foram derivadas imagens fração solo, sombra e vegetação utilizando as bandas 1, 2 e 6 (vermelho, infravermelho-próximo e infravermelho-médio) do MODIS. A fração sombra foi utilizada para destacar as áreas queimadas, uma vez que são alvos de baixa reflectância nessas bandas espectrais.

Posteriormente, foi realizada uma classificação não-supervisionada por meio do algoritmo ISOSEG nas imagens fração sombra. Esse algoritmo utiliza regiões para a classificação, desse modo, fez-se necessária a segmentação da imagem fração sombra. O método utilizado para a segmentação foi o de crescimento por regiões com a finalidade de gerar polígonos espectralmente homogêneos. Para tanto, foram definidos dois limiares: a) limiar de similaridade, o qual consiste no valor mínimo abaixo dos quais duas regiões são consideradas similares e agrupadas em um único polígono, e; b) limiar de área, o valor mínimo de área dado em número de pixels para que uma região seja individualizada. Os limiares empregados foram 8 para similaridade e 4 para área.

Após a segmentação aplicou-se o classificador ISOSEG para o agrupamento de regiões similares. Posteriormente os mapas temáticos gerados passaram por uma correção de seus polígonos, uma vez que existem diversos fatores que influenciam em erros no mapeamento das queimadas. Dentre os possíveis erros de comissão observados, citam-se a semelhança da resposta espectral entre queimadas, água e sombra de nuvem, por apresentarem baixa reflectância, além de erros inerentes ao processo de classificação. Para minimizar esses erros, foi utilizada uma máscara das áreas de corpo d'água, desenvolvida pelo projeto Pan-Amazonia (<http://www.dsr.inpe.br/laf/panamazonia/>) e cedido para o processamento desta pesquisa. Foram utilizadas também como dadas auxiliares as imagens diárias do sensor MODIS. Estas foram sobrepostas ao mapeamento e realizou-se a sobreposição com imagens auxiliares no processo de edição matricial para minimizar os erros de comissão e omissão.

A figura 5.2 apresenta os procedimentos metodológicos do mapeamento das cicatrizes de áreas queimadas.

Figura 5.2 – Etapas do mapeamento de cicatrizes de queimadas.



Para o mapeamento das cicatrizes de queimadas em 2008 e 2009 foram utilizados mosaicos do sensor Terra/MODIS de reflectância de superfície para toda a Amazônia Legal, compreendendo os meses de seca na Amazônia (Junho à Outubro) e sem cobertura de nuvens. As datas das composições utilizadas nesta pesquisa estão na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Datas dos mosaicos utilizados para o mapeamento das cicatrizes de queimadas.

2008	JUN	JUL	AGO	SET	OUT
DATAS MOD09 A1Q1 Mosaico 8 dias	25	27	28	21	Cobertura de nuvens
2009	JUN	JUL	AGO	SET	OUT
DATAS MOD09 A1Q1 Mosaico 8 dias	26	28	29	22 e 30	Cobertura de nuvens

Para os anos de 2010, 2011 e 2012 foram utilizados os mapas de cicatrizes de áreas queimadas geradas pela colaboração entre os projetos Amazônica (website <http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/amazonica/>) e PanAmazonia (website

<http://www.dsr.inpe.br/laf/panamazonia/>), que baseou-se na mesma metodologia aqui apresentada. Os estados do Amapá e Roraima não apresentam dados de queimadas em incêndios em decorrência da falta de imagens livre de nuvens nos anos de análise, desse modo, focou-se mapear as áreas do arco do desmatamento que apresentam intensa dinâmica de mudanças de cobertura da terra.

A validação dos mapas gerados foi realizada somente para os anos de 2010 a 2012, assumindo-se que esta amostra temporal detecta o desempenho da metodologia adotada. Os resultados de validação demonstraram que para as áreas queimadas em florestas a acurácia variou entre 89,95% e 99,79% e para áreas de não floresta a variação foi entre 81,89% e 98,88% (ANDERSON et al., *under review - Journal of Remote Sensing & GIS*). Este intervalo de confiança pode ser entendido para os anos de 2008 e 2009, dada a consistência metodológica entre os mapas gerados.

5.2.3 Processamento dos dados de Degradação

Os dados de degradação disponibilizados pelo INPE mapeiam degradação por extração seletiva, degradação natural e degradação por fogo, fornecidos pelo produto DEGRAD. A série temporal abrange o período entre 2007 e 2013. O mapeamento da degradação é realizado utilizando as imagens do projeto PRODES com 30 metros de resolução espacial que mapeia o desmatamento de Setembro a Agosto. Os dados do DEGRAD são disponibilizados em formato vetorial e foram convertidos para uma matriz de resolução espacial de 60 metros, a fim de compatibilizar com os dados de desmatamento.

O pico da degradação atinge seu ápice no mês de setembro (ARAGÃO et al., 2008), desse modo, a degradação que ocorre em um determinado ano é computado no ano seguinte (SHIMABUKURO et al., 2017). A fim de ajustar a série temporal para maior consistência com o ano de ocorrência real, foi adicionado um ano ao ano de mapeamento do DEGRAD. Assim, os dados mapeados como degradação em 2007 foram alocados para o ano de 2008, e assim sucessivamente.

Para evitar a duplicação entre o dado do DEGRAD e o do mapeamento e áreas queimadas desenvolvidos nesta pesquisa, foi realizada a sobreposição entre os

mesmo e excluídas as áreas de queimadas do DEGRAD que se sobrepuseram ao mapeamento de queimadas. Portanto, somente as áreas de queimadas e incêndios florestais mapeadas nesta pesquisa e em duplicação nos dados do DEGRAD foram utilizadas no modelo de emissão por queimadas e incêndios.

Pode-se considerar então que os dados do DEGRAD após a filtragem realizada nesta pesquisa correspondem somente a degradação por corte seletivo e degradação por causas naturais. Assim, em termos de área, os dados atribuídos nesta pesquisa como DEGRAD possuem uma área final diferente do dado reportado oficialmente (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 - Diferença da área (km²) reportada pelo DEGRAD e área utilizada nesta pesquisa do produto processado nesta pesquisa para a Amazônia Legal.

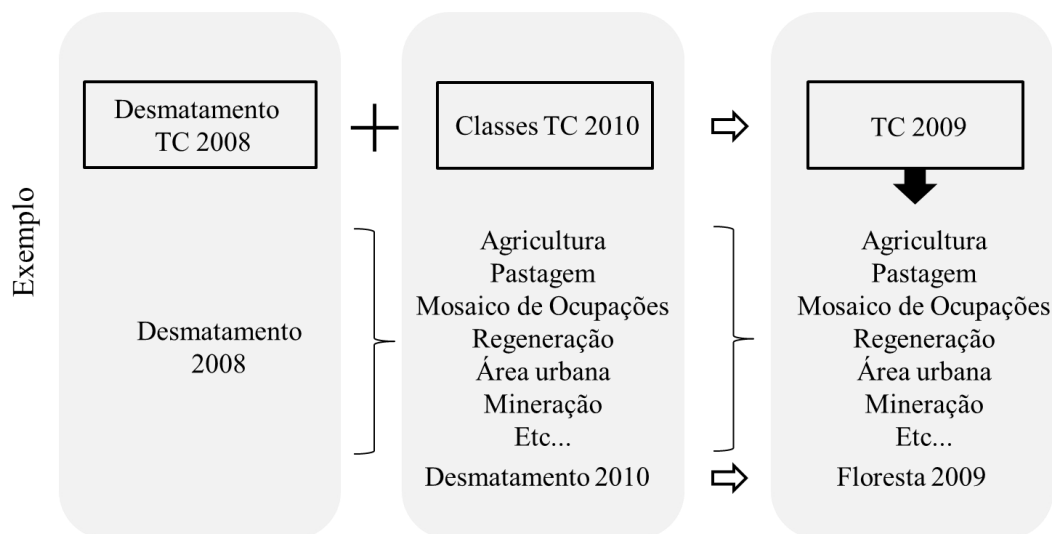
	2008	2009	2010	2011	2012
DEGRAD	13.301	7.508	24.650	8.634	5.434
Dado processado	12.790,51	5.672,98	23.241,62	80.17,45	4.921,01
Diferença	-510,49	-1.835,02	-1.408,38	-616,55	-512,99

5.2.4 Processamento dos dados de cobertura da terra

Os dados referentes ao mapeamento de uso e cobertura da terra foram obtidos pelo programa TerraClass do INPE. Este projeto realiza o mapeamento dos usos e ocupação da terra nas áreas desmatadas disponibilizadas pelo PRODES. Os dados de 2008, 2010 e 2012 foram utilizados para esta pesquisa.

Para obter os dados de cobertura da terra para os anos de 2009 e 2011, foram utilizados os dados do TerraClass do ano anterior e posterior. Para tanto, partiu-se do pressuposto que não há mudanças significativas de cobertura da terra em áreas já desmatadas entre dois anos. Para a elaboração do mapa de 2009 foram utilizados os dados do TerraClass de 2008 e 2010, no qual somente a classe desmatamento de 2008 foi qualificada utilizando o mapa de 2010 como base. A classe desmatamento 2009 foi inserida utilizando a máscara do PRODES. A área desmatada em 2010 foi qualificada como floresta em 2009. O mesmo procedimento foi realizado para o ano de 2011. Um esquema dos procedimentos pode ser observado na figura 5.3.

Figura 5.3 – Esquema do procedimento de qualificação da cobertura da terra em 2009 e 2011.



Na tabela 5.4 apresenta-se área de cada cobertura da terra oriundos do TerraClass para os anos de 2008 a 2012.

Tabela 5.4 – Área (km²) de uso e cobertura da terra para a Amazônia Legal entre 2008-2012.

Classes	2008*	2009**	2010*	2011**	2012*
Floresta	3213274,66	3201407,24	3198331,91	3190530,21	3188987,03
Agricultura anual	34950,09	39886,06	39982,36	41081,29	41150,56
Mosaico de ocupações	24403,67	17587,45	17938,82	9491,02	9656,55
Área urbana	3818,76	4461,06	4467,32	5314,64	5322,12
Mineração	730,89	967,55	986,74	1030,23	1048,69
Pasto	398809,41	446849,83	385310,53	441263,95	397491,48
Vegetação secundária	151178,91	165690,92	228856,27	172682,07	218435,81
Outros	476,35	2732,70	2759,14	5913,21	6011,64
Área não observada	39693,29	55281,31	55995,71	68494,52	68948,65
Reflorestamento	0	2994,44	3015,45	3157,92	3166,07
Hidrografia	114532,57	114566,4	114559,178	114566,86	114549,19
Não floresta	952785,03	952820,4	952817,98	952835,34	952813,67
Desflorestamento	11422,15	6488,93	6724,04	5510,0	4312,62

Os anos com * representam as estimativas adquiridas diretamente do produto TerraClass. Os anos com ** são as estimativas realizadas nesta pesquisa.

5.2.5 Processamento dos dados de biomassa

O mapa de biomassa acima do solo (AGB do inglês *Above Ground Biomass*) e mapa de erro utilizados nesta pesquisa refere ao desenvolvido por Baccini (2015). Esse é um produto adaptado da metodologia apresentada por Baccini et al (2012)

e apresenta os dados com resolução espacial de 30 metros para o ano 2000. Esse mapeamento da densidade da biomassa foi gerado a partir da relação estatística entre dados coletados *in situ* e mais de 40.000 pontos derivados do *LiDAR Geoscience Laser Altimeter System* (GLAS). O modelo utilizado denomina-se *randomForest*. Além dos dados de campo e GLAS, foram utilizados dados de reflectância derivada do Landsat 7 ETM+, dados de elevação e variáveis biofísicas para estimar a densidade da biomassa acima do solo.

Os dados de biomassa foram reamostradas para a resolução espacial de 60 metros, utilizando-se à média de biomassa a cada 4 pixels de 30 metros de resolução espacial.

O mapa de AGB e o mapa de erro foram utilizados para estimar a biomassa média para cada tipo de cobertura da terra. Além disso, foi utilizado para estimar a biomassa remanescente pixel a pixel após a passagem do fogo a partir de uma relação empírica com base em dados de campo, seguindo a metodologia desenvolvida por Anderson et al. (2015).

Como o mapa de AGB foi feito para o ano 2000, para as classes agricultura, pasto e regeneração foram utilizadas as médias calculadas para estas classes no ano 2000 em cada estado da Amazônia Legal. A classe mosaico de ocupações foi calculada em conjunto com pastagem e a classe reflorestamento em conjunto com regeneração, pois foi assumido que apresentam o mesmo caminho de emissões. Nos estados onde não foi possível obter as amostras, a média para toda a Amazônia foi utilizada. Essa estimativa foi realizada utilizando dados de desmatamento do PRODES do ano 2000 para cada estado em conjunto com o dado do TerraClass de 2004. Os valores médios utilizados estão na tabela 5.5. Para as classes restantes foram utilizadas a biomassa de cada pixel.

Tabela 5.5 – Médias de biomassa e erro por tipo de cobertura da terra (Mg/ha).

	Pasto		Agricultura		Regeneração	
	Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro
Acre	17,1	12,6	*	*	181,6	38,8
Amazonas	15,3	14,6	*	*	150,3	41,3
Amapá	*	*	*	*	*	*
Maranhão	22,4	16,1	*	*	117,2	32,7
Mato Grosso	15,4	12,5	51,8	29,3	136	31,5
Pará	16,4	17,7	*	*	123	37,7
Rondônia	15,4	0,8	26,4	21,3	138	33,5
Roraima	15,1	12,1	*	*	165,1	37,6
Tocantins	15,6	14,9	*	*	91,1	28,9
Média Amazônia	16,6	12,7	39,1	25,3	137,8	35,3

Nas classes com * foi utilizada a média para a Amazônia.

5.3 Metodologia para estimativa da emissão de dióxido de carbono por desmatamento e degradação

Para a estimativa de emissão de carbono por desmatamento utilizamos a versão 3.0 do modelo desenvolvido pelo Centro de Ciências do Sistema Terrestre – CCST/INPE, chamado INPE-EM. O INPE-EM é baseado no modelo “*bookkeeping*” proposto por Houghton et al (2000) e adaptado para incluir a dimensão espacial considerando a heterogeneidade biofísica e socioeconômica regional, desenvolvido no ambiente de modelagem TerraME do INPE. Este modelo permite sua aplicação em diferentes escalas temporais e espaciais (AGUIAR et al, 2012).

Para a componente floresta primária o modelo utiliza a atualização da área desmatada no em questão de cada célula para quantificar a biomassa acima do solo removida (AGB). Esse montante de AGB é convertido em dióxido de carbono considerando a biomassa da vegetação em cada célula. Neste modelo, a AGB perdida pode seguir por 4 caminhos (HOUGHTON et al (2000): i) a porcentagem removida como madeira, assumindo que o carbono derivado dos produtos da madeira serão lançado para a atmosfera ao longo dos anos com um decaimento exponencial; ii) a porcentagem da biomassa remanescente, após a exploração madeireira, que é queimada e emitida para a atmosfera imediatamente; iii) a porcentagem de biomassa deixada no solo para se decompor, com uma taxa de decaimento exponencial, que pode ser queimada novamente nos anos subsequentes; iiiii) A porcentagem convertida em carbono elementar por fogo, no

qual decai em taxas muito baixas; desse modo, esses processos são necessários para a parametrização do modelo de emissão de carbono (AGUIAR et al., 2012).

A base de dados do modelo foi organizada por uma grade celular de 60 metros de resolução espacial, de modo a compatibilizar uma análise pixel a pixel para as áreas onde houve processo de desmatamento entre 2008 e 2012. Foram incluídos nessa grade os seguintes dados:

- (i) Área desmatada (ha) em cada ano: nesta pesquisa utilizou-se o PRODES;
- (ii) Área degradada (ha) em cada ano: nesta pesquisa utilizou-se o DEGRAD;
- (iii) Biomassa acima do solo (AGB) em Mg/ha: nesta pesquisa utilizou-se os dados disponibilizados por Baccini et al (2015);

Neste trabalho foram contabilizadas as emissões de CO₂ por desmatamento e degradação de 1ª Ordem no modo espacial. Os componentes do modelo utilizados foram o “*ClearCutDeforestation*” e o “*OldGrowthForestDegradation*”. O primeiro componente tem como resultado a estimativa das emissões de 1ª ordem (brutas). O componente “*OldGrowthForestDegradation*” representa as mudanças espaços-temporais no estoque de carbono em florestas primárias durante o processo de degradação e tem como um dos resultados a emissão de CO₂ por degradação (AGUIAR et al, 2016). Os parâmetros principais desse componente são: a) a área (ha) identificada como degradada; b) a porcentagem da AGB perdida como resultado do processo de degradação, calculada utilizando o fator de perda de 40% (BERENGUER et al, 2014) com o mapa de biomassa acima do solo do Baccini et al (2015) e; c) o número de anos que é levado para a área recuperar a biomassa perdida na célula, neste trabalho foi considerado 50 anos de acordo com os dados de Blanc et al (2008) e Aragão et al. (2014). Os parâmetros padrão do modelo INPE-EM foram utilizados e estão descritos no apêndice A1.

O componente de regeneração da vegetação não foi considerado, uma vez que o período analisado neste trabalho se refere somente aos anos de 2008 a 2012, não sendo significativo para o acúmulo de biomassa por regeneração de uma pastagem

para floresta secundária (NEEF et al., 2005). Portanto, contabiliza-se apenas a emissão de CO₂ por desmatamento de 1ª ordem.

5.4 Metodologia para a estimativa de dióxido de carbono por queimadas e incêndios

O modelo desenvolvido por Anderson et al (2015) foi utilizado para a estimativa da emissão de carbono por queimadas na Amazônia Legal. Este modelo tem como princípio a hipótese de que a biomassa viva remanescente em uma área afetada pelo fogo é fortemente correlacionada com a biomassa inicial antes da passagem do fogo. Esta hipótese é baseada no fato de que com o aumento da biomassa, o microclima dentro do dossel tende a se tornar mais úmido, reduzindo a intensidade e a susceptibilidade de espalhamento do fogo (BRANDO et al., 2012). A partir disso, Anderson et al (2015) quantificou a relação entre a biomassa viva inicial antes da queimada e a biomassa remanescente utilizando informações de observações realizadas em campo e pela literatura para calcular a perda de biomassa para cada tipo de cobertura da terra (Equação 1).

$$B_f = 0.7084 * B_i \quad \text{Equação 1}$$

Onde B_f é a biomassa viva remanescente acima do solo (Mg ha⁻¹) após o fogo e B_i é a biomassa viva inicial acima do solo (Mg ha⁻¹) (ANDERSON et al., 2015).

Para analisar a extensão da área queimada associada à perda de biomassa foram utilizadas as seguintes informações para cada célula:

- i) Biomassa viva acima do solo (Baccini et al, 2015);
- ii) O erro associado ao mapa de biomassa (Baccini et al, 2015);
- iii) As classe de cobertura da terra (TerraClass);
- iv) Mapa de cicatrizes de queimadas.

Estes dados foram organizados por estado da Amazônia Legal com resolução espacial de 60 metros.

A equação 1 foi aplicada para estimar a AGB após a passagem do fogo. Para estimar a emissão bruta de carbono por queimada foi utilizada a equação 2.

$$F = \lambda_{(cobertura)} * B_{i(x,y)} * (1 - \alpha_{(x,y)})dA_{(x,y)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- F (ton ano⁻¹) é a emissão bruta de carbono (fluxo imediato para a atmosfera);
- $\lambda_{(cobertura)}$ é o decaimento constante de cada tipo de cobertura da terra;
- $B_{i(x,y)}$ é a densidade de biomassa antes do fogo (Mg ha⁻¹) para cada elemento de pixel fornecido por Baccini et al (2015);
- α é o ângulo da equação 1 ($\alpha = 0.7084 \pm 0.034$) e;
- $dA_{(x,y)}$ é a área queimada em hectares em cada pixel.

Para estimar a emissão de CO₂ o mesmo parâmetro de transformação de biomassa para dióxido de carbono do modelo INPE-EM foi utilizado.

5.5 Agrupamento dos municípios críticos

O agrupamento dos municípios críticos foi realizado para avaliar quais os tipos de emissão (desmatamento, degradação, queimadas e incêndios) são os maiores contribuintes para a emissão de CO₂ total do município em um determinado ano. Para isso, foi calculada a porcentagem da contribuição de cada fonte de emissão para o total de emissões de cada município.

Utilizou-se uma ferramenta de Análise de Agrupamento para separar os grupos de municípios mais críticos. Essa ferramenta utiliza o algoritmo K-Médias para separar os grupos e minimizar as diferenças entre os elementos de um grupo em relação aos outros grupos. Foram detectados 31 municípios “*outliers*” responsáveis pelos maiores valores de emissões de CO₂ entre 2008-2012, sendo eles classificados como os mais críticos para a elaboração da lista, pois contribuíram com 43,31% do total de emissões.

Realizou-se também uma avaliação entre os municípios prioritários do PPCDAm em relação as emissões totais e a contribuição de cada fonte de emissão.

6 RESULTADOS

6.1 Desmatamento

De acordo com o dado observado e processado do PRODES, área total desmatada na Amazônia Legal entre 2008-2012 foi de 34.788,07 km², uma média de 6.957,61 km² por ano. O ano com maior desmatamento foi 2008, com 13.133,94 km², porém até 2012 houve uma redução de 68,5% da área desmatada anual. A área desmatada por ano e por estado está apresentada na tabela 6.1. Os estados que mais contribuíram com total de desmatamento foram Pará (47,5%) e Mato Grosso (19,6%). Apesar de apresentar uma redução de 71,03% do desmatamento entre 2008-2012, em todos os anos o Pará foi o estado que apresentou as maiores taxas de desmatamento entre os estados da Amazônia Legal.

Tabela 6.1 – Área desmatada por estado da Amazônia Legal entre 2008-2012.

Área desmatada (km ²)									
Ano	AC	AM	AP	MA	MT	PA	RO	RR	TO
2008	229,81	624,56	97,79	1.297,30	3.444,33	5.690,09	977,99	666,93	105,14
2009	124,49	323,45	34,70	851,85	823,09	3.317,64	356,87	105,02	58,43
2010	208,70	548,07	69,17	576,16	762,32	3.263,38	368,21	232,22	53,58
2011	235,33	504,45	16,23	339,37	1.047,67	2.483,75	647,79	128,71	34,22
2012	231,96	456,26	18,96	294,89	751,96	1.648,59	586,26	102,83	47,55

Na figura 6.1 apresenta-se o total de desmatamento para os municípios da Amazônia Legal. Os 10 municípios que mais contribuíram com o desmatamento (tabela 6.2) estão localizados na região no arco do desmatamento (figura 7). Entre esses 10 municípios mais desmatadores 9 estão na lista oficial do PPCDAm, exceto o município de Itaituba-PA. Dentre os 10 municípios, 8 estão localizados no estado do Pará, um em Rondônia e um no Mato Grosso. O município com o maior área desmatada foi São Félix do Xingu-PA com 1.820,10 km² acumulados entre 2008-2012, porém apresentou uma redução de 78,62% na sua taxa entre 2008-2012. O município em 10^a posição apresentou área acumulada desmatada de 431,48 km².

Figura 6.1 – Área desmatada (km²) nos municípios da Amazônia Legal entre 2008-2012.

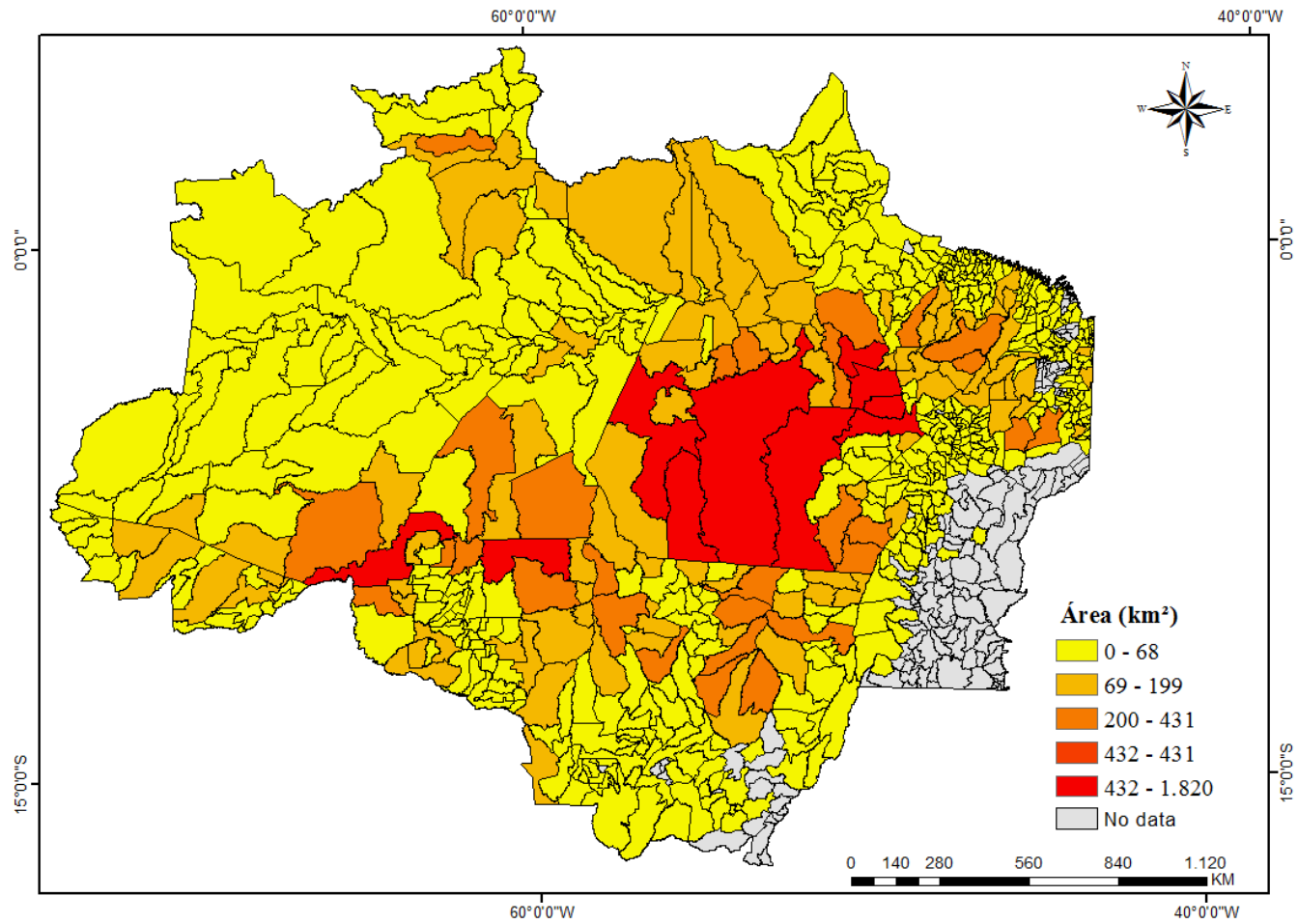


Tabela 6.2 – Ranqueamento dos 10 municípios com maior área desmatada entre 2008-2012.

Área desmatada (km²)								
Posição	Estado	Município	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL
1º	PA	São Félix Do Xingu	749,02	435,06	340,29	135,61	160,11	1820,10
2º	PA	Altamira	338,08	384,83	191,33	239,19	227,43	1380,85
3º	PA	Novo Repartimento	469,47	275,76	211,50	173,10	107,67	1237,50
4º	RO	Porto Velho	204,12	92,15	129,41	311,74	184,74	922,17
5º	PA	Pacajá	250,34	58,17	266,95	183,91	34,55	793,91
6º	PA	Novo Progresso	234,36	313,43	48,61	51,53	70,73	718,66
7º	PA	Marabá	344,31	108,90	76,03	61,08	47,11	637,43
8º	PA	Itaituba	168,24	146,30	89,38	87,34	91,49	582,75
9º	PA	Itupiranga	222,58	86,43	49,56	57,25	39,25	455,06
10º	MT	Colniza	121,78	74,08	75,24	84,27	76,11	431,48

6.2 Mapeamento das queimadas

A área total impactada por queimadas e incêndios florestais na Amazônia entre 2008 e 2012 está apresentada na tabela 6.3. A somatória de área para todo o período foi de 391.644,82 km² de queimadas e incêndios florestais na Amazônia Legal, uma média de 78.328,964 km²/ano. Os estados que mais contribuíram para este resultado foram Mato Grosso (40,75%), Maranhão (13,83%) e Pará (11,98%).

O ano com a maior área queimada foi 2010, totalizando 213.335,24 km², ou seja, 54,5% de toda a área queimada entre 2008-2012. Isso se deve, principalmente, a seca extrema de 2010 que impactou a porção sul da Amazônia Legal (MARENGO et al., 2011). Nos anos de 2008, 2009 e 2011 a área total queimada foi de 57.949,58 km², 19.230,56 km² e 46.466,01 km², respectivamente. O estado com maior contribuição nesses anos foi o Mato Grosso, com 42% em 2008, 44,8% em 2009 e 44,3% em 2011. Já para 2012 o total de área queimada foi de 54.663,43 km², porém o estado com maior contribuição foi o Tocantins (30,6%), seguido do Mato Grosso (30,2%) e Maranhão (30%).

Tabela 6.3 – Área queimada nos estados da Amazônia Legal entre 2008-2012.

Área queimada (km ²)									
Ano	AC	AM	AP	MA	MT	PA	RO	RR	TO
2008	214,03	1.740,55	-	5.314,20	24.387,62	8.476,98	3.201,50	-	14.614,70
2009	35,25	1.184,25	-	1.184,25	8.602,56	2.677,44	1.030,56	-	4.516,25
2010	2.039,5	4.331,75	-	23.804,6	94.492,81	28.058,1	9.200,25	-	51.408,31
2011	175,19	803,69	47,44	7.694,81	15.562,13	4.482,69	2.167,7	20,19	15.512,19
2012	86,25	724,13	-	16.320,37	16.525,06	3.214,25	1.068,31	-	16.725,06

Na figura 6.2 apresentam-se os municípios da Amazônia Legal com suas respectivas áreas queimadas totais entre 2008-2012. Pode-se observar que os municípios do nordeste do Mato Grosso e sul do Pará são os que mais contribuem com as queimadas e incêndios florestais na Amazônia Legal. Estes municípios estão localizados em áreas de intensa dinâmica de mudanças de cobertura da terra do arco do desmatamento, mas também em áreas já desmatadas e consolidadas no estado do Mato Grosso.

Na tabela 6.3 estão os 10 municípios com a maior área queimada na Amazônia Legal. Estes 10 municípios foram responsáveis por 24,5% das áreas queimadas entre 2008-2012. O município de Formoso do Araguaia-TO apresentou a maior área acumulada queimada (14.958,51 km²), seguido de Lagoa da Confusão-TO (12.606,88 km²) e Ribeirão Cascalheira-MT (10.006,82 km²). O menor município com área queimada entre os 10 foi Mirador-MA (7.459,79km²).

Figura 6.2 - Área queimada (km²) nos municípios da Amazônia Legal entre 2008-2012.

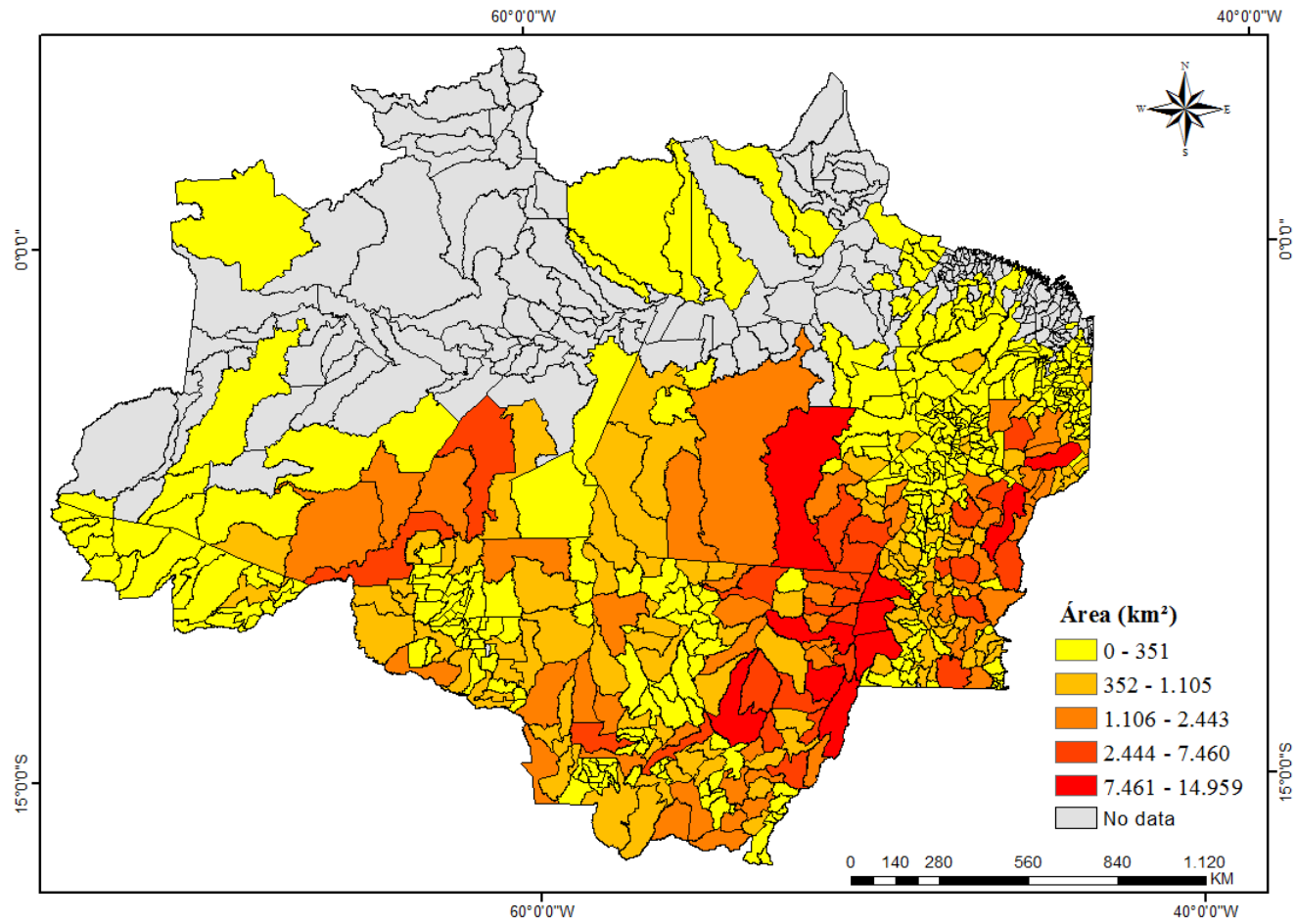


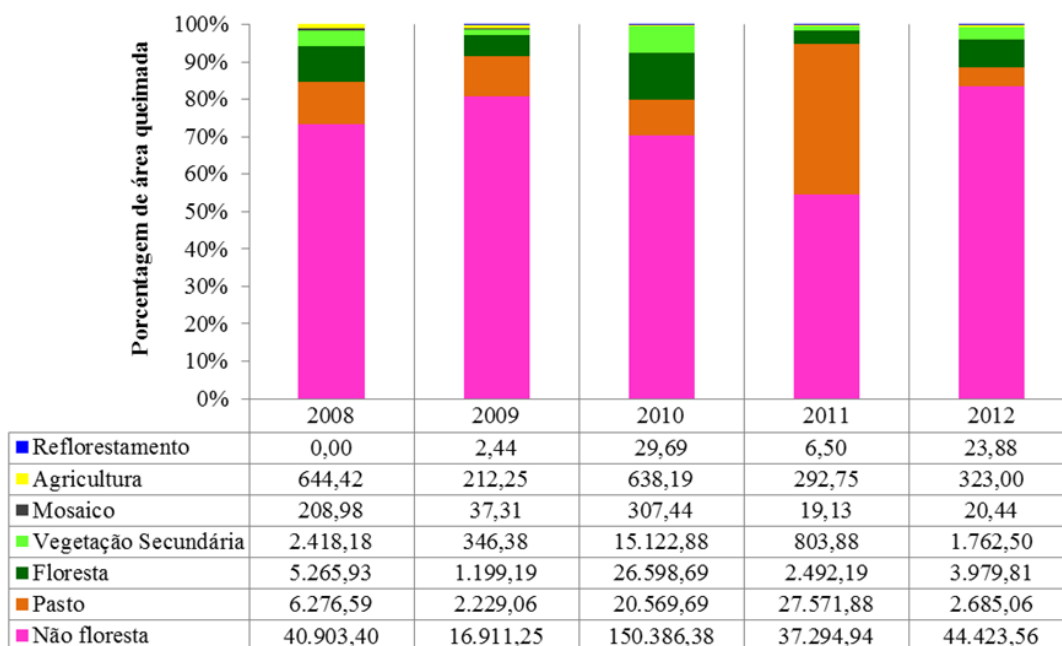
Tabela 6.3 – Ranqueamento dos 10 municípios com maior área queimada entre 2008-2012.

Área queimada (km²)								
Posição	Estado	Município	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL
1º	TO	Formoso Do Araguaia	3.471,43	306,78	6.167,20	2.537,20	2.475,90	14.958,51
2º	TO	Lagoa Da Confusão	2.222,73	159,52	5.495,92	1.409,90	3.318,81	12.606,88
3º	MT	Ribeirão Cascalheira	1.396,49	524,49	5.792,09	809,35	1.484,39	10.006,82
4º	PA	São Félix Do Xingu	2.220,16	190,56	5.731,17	451,42	762,73	9.356,04
5º	MT	Cocalinho	1.350,27	279,09	6.303,67	425,04	526,26	8.884,34
6º	MA	Balsas	1.141,06	780,69	3.368,96	1.373,56	1.924,16	8.588,44
7º	MT	Paranatinga	851,11	338,82	5.083,49	787,11	1.208,40	8.268,94
8º	MT	São Félix do Araguaia	1.097,18	161,22	5.078,51	750,83	997,96	8.085,69
9º	TO	Pium	843,93	244,78	3.353,53	1.291,01	2.108,11	7.841,37
10º	MA	Mirador	655,02	536,50	2.671,48	845,64	2.751,15	7.459,79

Na figura 6.3 apresenta-se a porcentagem e área queimada para cada tipo de uso e cobertura da terra. A classe denominada “não floresta” (dado TerraClass) apresenta maior porcentagem de queimada para todo o período (70,37%), uma vez que em grande parte são áreas do bioma cerrado, seguido da classe pastagem (14,4%). A classe floresta foi responsável por 9,4% das áreas queimadas entre 2008-2012, e a classe regeneração por 5%, seguido de agricultura (0,5%), mosaico de ocupações (0,1) e agricultura (0,02%).

Em todas as classes de cobertura da terra observou-se um aumento na área afetada por queimas e incêndios florestais no ano de 2010. A classe regeneração teve o maior aumento percentual de área queimada neste ano em relação área queimada de 2008, com 525,38%, seguido das classes floresta (405%), não floresta (267,66%), pasto (227,72%), mosaico de ocupações (47,11%). A classe reflorestamento não apresentou área queimada em 2008 e em 2010 foram detectados apenas 29,7 km² de queimadas nessa classe. Desse modo, observa-se que em ano de seca há uma intensificação das queimadas em todas as classes, mas principalmente nas classes regeneração e floresta.

Figura 6.3 – Área queimada (km²) na Amazônia Legal por tipo de uso e cobertura da terra.



6.3 Degradação

De acordo com o dado do DEGRAD processado nesta pesquisa, o total de área degradada na Amazônia Legal entre 2008 e 2012 foi de 52.489,01 km², uma média de 10.497,80 km² /ano. O ano com a maior área degradada foi 2010, com 16.617,86 km² (31% do total), no qual o estado do Mato Grosso contribuiu com 42,51%. O Mato Grosso também apresentou a maior porcentagem de contribuição para a degradação nos anos de 2008 (60,47%), 2011 (34,88%) e 2012 (37%). Já no ano de 2009 o estado que mais contribuiu para a degradação foi o Maranhão (34,2%). Na tabela 6.4 está apresentada a área degradada em cada estado da Amazônia Legal entre 2008 e 2012.

Tabela 6.4 - Área degradada nos estados da Amazônia Legal entre 2008-2012.

Área degradada (km ²)									
Ano	AC	AM	AP	MA	MT	PA	RO	RR	TO
2008	30,35	172,17	19,65	2.420,33	7.343,19	1.457,67	207,82	99,35	393,56
2009	73,68	451,17	20,37	3.778,75	2.487,34	3.478,10	308,86	60,37	257,13
2010	291,79	1.094,93	11,94	1.065,06	7.063,63	4.028,77	2.172,82	106,20	782,72
2011	74,56	1.276,41	16,59	1.757,56	2.748,97	1.217,28	451,14	198,16	140,74
2012	17,31	352,01	5,98	733,32	1.823,54	1.449,73	310,85	64,84	172,30

Na figura 6.4 apresenta-se a somatória da degradação entre 2008 e 2012 por município da Amazônia Legal. Os 10 municípios que mais contribuíram com o total de degradação estão na tabela 6.5. Estes 10 municípios foram responsáveis por 37,7% (16.133,97 km²) da área degradada total no período entre 2008 e 2012. O município com a maior área degradada acumulada entre 2008 e 2012 foi Gaúcha do Norte-MT, com 3.583,53 km², seguido de Amarante do Maranhão-MA (2.194,27 km²) e Cumaru do Norte-PA (1.879,83 km²). O município em 10ª posição apresentou uma área degradada de 967,55km².

Figura 6.4 - Área degradada (km²) nos municípios da Amazônia Legal entre 2008-2012.

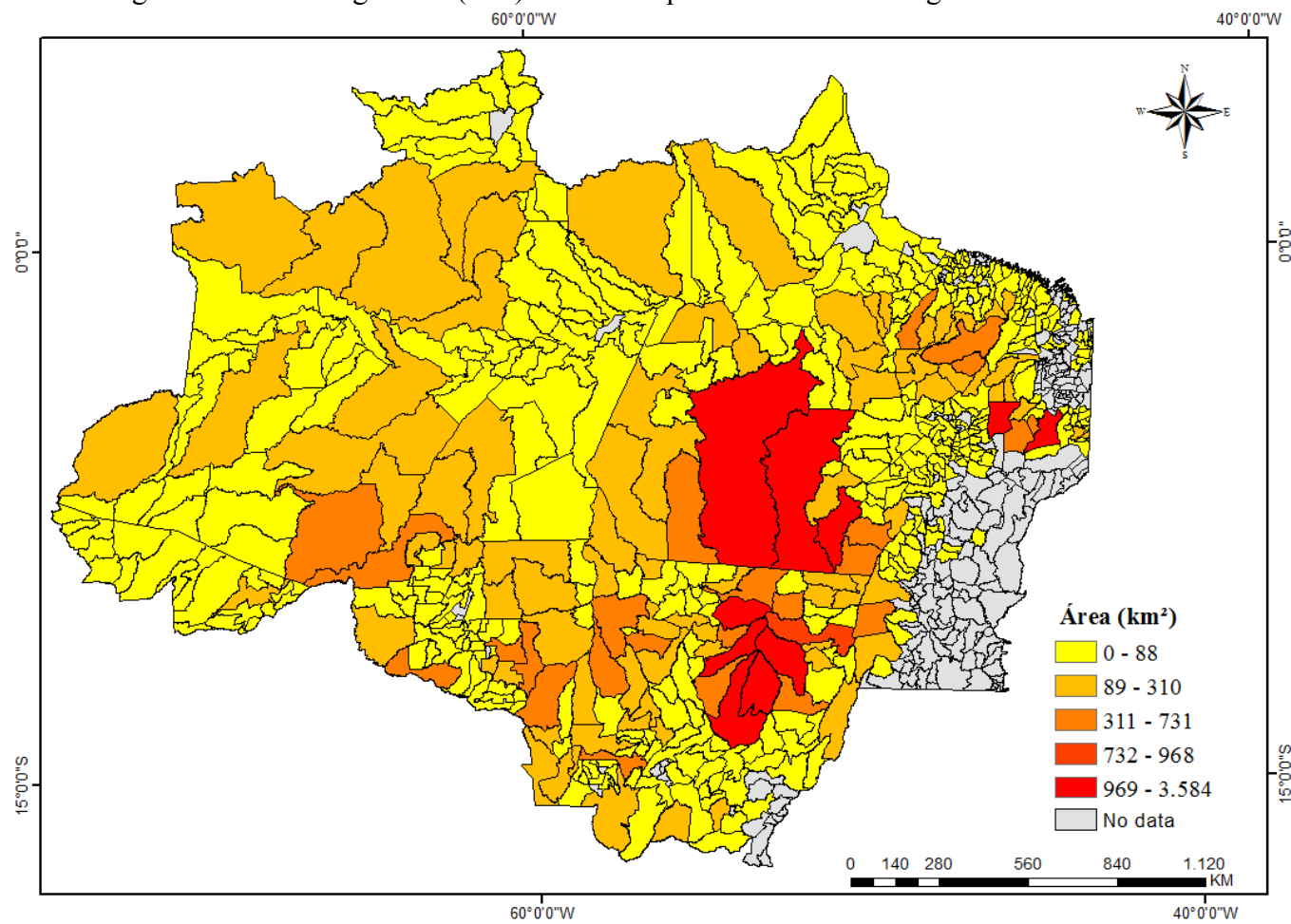


Tabela 6.5 – Ranqueamento dos 10 municípios com maior área degradada entre 2008-2012.

Área degradada (km²)								
Posição	Estado	Município	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL
1°	MT	Gaúcha Do Norte	1.399,53	327,00	1.345,09	247,67	264,24	3.583,53
2°	MA	Amarante Do Maranhão	1.256,26	2,98	437,28	97,34	400,40	2.194,27
3°	PA	Cumarú Do Norte	23,37	1,98	1.825,01	28,53	0,95	1.879,83
4°	MT	Querência	795,25	56,81	752,80	146,95	103,02	1.854,83
5°	MT	Feliz Natal	510,74	44,26	648,78	135,42	95,23	1.434,43
6°	MA	Barra Do Corda	290,94	136,30	74,75	529,29	48,60	1.079,89
7°	PA	Altamira	193,96	92,25	326,47	234,44	225,74	1.072,86
8°	MT	Marcelândia	440,11	80,44	233,67	269,36	21,09	1.044,68
9°	PA	São Félix do Xingu	198,70	266,43	350,06	134,29	72,63	1.022,10
10°	MT	Paranatinga	585,50	89,23	99,91	98,34	94,57	967,55

6.4 Emissões de CO₂ por desmatamento

Na tabela 6.6 apresentam-se os resultados das emissões de CO₂ por desmatamento em cada estado da Amazônia Legal entre 2008 e 2012. O total de emissões para o período foi de 1.070 Tg CO₂, uma média de 214 Tg CO₂/ano. O estado do Pará foi o que apresentou mais altos valores das emissões de CO₂ decorrentes do desmatamento em todo período analisado, sendo responsável por 48,6% (522,1 Tg CO₂) das emissões, seguido por Mato Grosso com 18,7% (200,4 Tg CO₂). Os estados que menos contribuíram para as emissões de CO₂ por desmatamento foram Amapá e Tocantins. Os estados Mato Grosso e Roraima apresentaram diminuição das emissões por desmatamento entre 2008 e 2012, cerca de 17,4% e 26,9%, respectivamente. Já os estados do Acre, Amazonas e Rondônia, apresentaram aumento das emissões entre 2008 e 2012, com 152,3%, 112% e 70,3%, respectivamente. Os estados do Amapá, Maranhão, Pará, Roraima e Tocantins apresentaram um aumento até 2010 e depois uma diminuição em 2011 e 2012.

Tabela 6.6 - Emissão de CO₂ por desmatamento para os estados da Amazônia Legal entre 2008-2012.

Tg CO ₂										
Ano	AC	AM	AP	MA	MT	PA	RO	RR	TO	TOTAL
2008	3,8	10,8	1,4	12,1	43,6	77,9	14,5	9,3	1,9	175,2
2009	4,9	13,9	1,6	16,8	44,0	106,8	16,6	8,7	2,2	215,5
2010	6,8	18,4	2,1	16,7	38,1	118,8	16,9	8,8	2,3	228,9
2011	8,5	21,4	1,7	14,2	38,7	116,8	22,0	7,9	2,2	233,3
2012	9,6	22,9	1,3	12,0	36,0	101,8	24,7	6,8	2,0	217,2
TOTAL	33,6	87,3	8,1	71,8	200,4	522,1	94,8	41,4	10,6	1.070,0

Na figura 6.5, apresenta-se a espacialização das emissões de 1ª Ordem para cada município da Amazônia Legal entre 2008 e 2012. As áreas mais críticas compõem o arco do desmatamento, principalmente no sul do Pará e em direção a Porto Velho no estado de Rondônia. Esses municípios mais críticos coincidem com os municípios monitorados pelo PPCDAm para a redução do desmatamento.

Os municípios em vermelho destacados como os mais críticos nos mapas (Figura 16.5) apresentam as taxas mais elevadas de emissões de CO₂ em todos os anos, sendo responsáveis por, em média, 25% das emissões totais. São Félix do Xingu – PA se posicionou entre 2008 a 2010 como o primeiro da lista, caindo para a terceira posição em 2012 (Tabela 6.6). Já em 2011 e 2012 o município com o maior montante de emissão foi Altamira - PA, que passou da terceira posição em 2008 para a primeira posição em 2011 e 2012. Estes municípios do sul do Pará, apesar da redução nas taxas de desmatamento nos últimos anos ainda se configuram como os maiores desmatadores e conseqüentemente emissores de CO₂ por desmatamento, uma vez que estão localizados em uma área de expansão para criação de gado. Já o município de Porto Velho-RO apresentou um aumento de 174% de sua emissão, de 3,1 Tg CO₂ para 8,5 Tg CO₂ entre 2008 e 2012, passando de 8º lugar na lista em 2008 para 2º lugar em 2012.

Se somada as emissões entre 2008 e 2012 os municípios de Altamira, São Félix do Xingu, Novo Progresso, Novo Repartimento e Pacajá no Pará e Porto Velho em Rondônia foram os mais críticos. Em conjunto os 6 municípios contribuíram com 18,6% (198,68 Tg CO₂) do total de emissões por desmatamento para todo o período.

Figura 6.5 - Emissão de CO₂ por desmatamento nos municípios da Amazônia Legal entre 2008-2012.

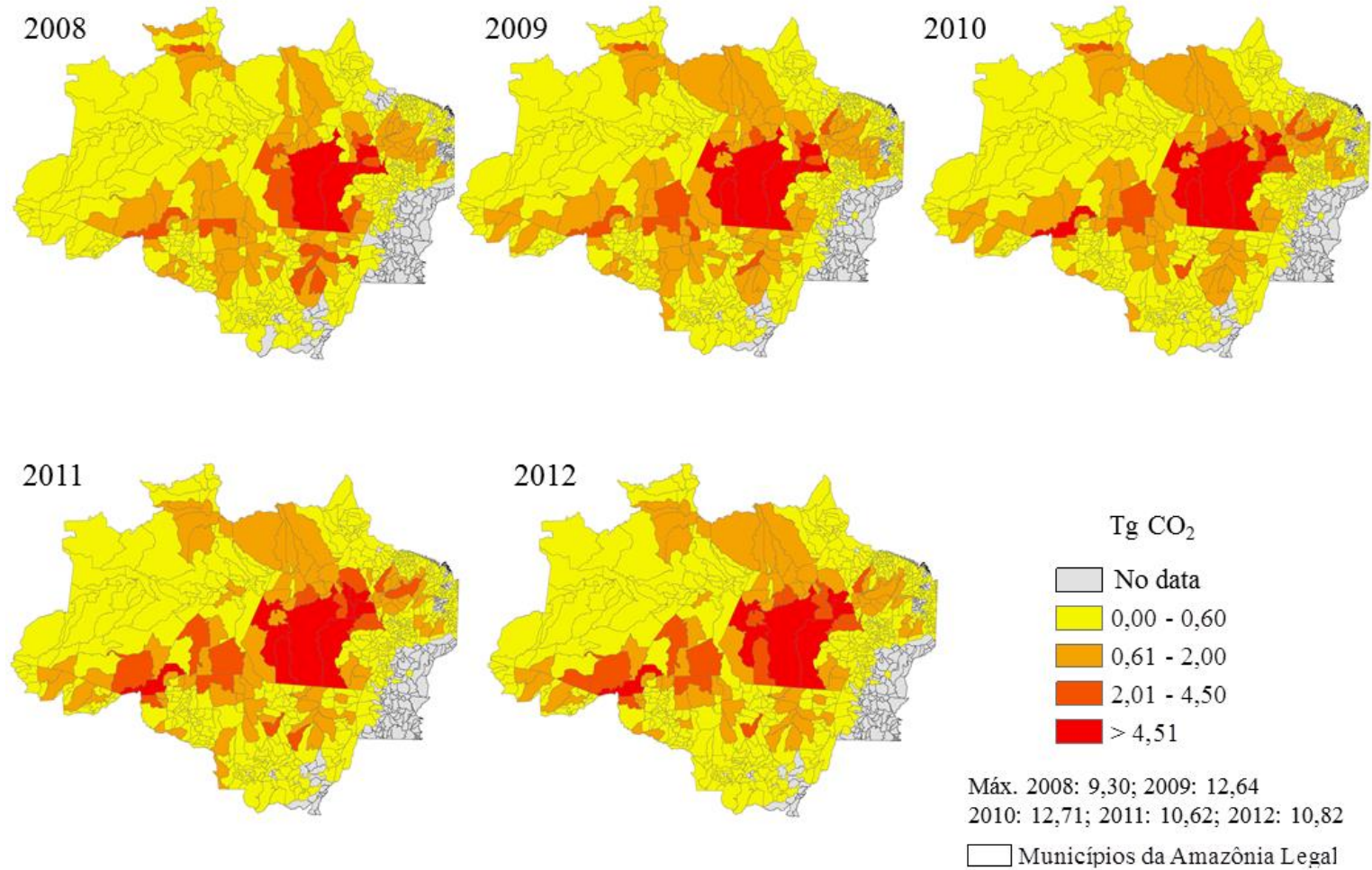


Tabela 6.6 - Ranqueamento dos 10 municípios que mais emitiram CO₂ por desmatamento entre 2008 – 2012 e suas respectivas emissões.

Posição	2008		2009		2010		2011		2012	
	Município	Tg CO ₂	Município	Tg CO ₂	Município	Tg CO ₂	Município	Tg CO ₂	Município	Tg CO ₂
1º	São Félix do Xingu	9,3	São Félix do Xingu	12,6	São Félix Do Xingu	12,7	Altamira	10,6	Altamira	10,8
2º	Novo Repartimento	6,8	Altamira	10,2	Altamira	10,2	São Félix do Xingu	10,1	Porto Velho	8,5
3º	Altamira	5,4	Novo Repartimento	9,3	Novo Repartimento	9,3	Novo Repartimento	8,6	São Félix do Xingu	8,4
4º	Marabá	4,5	Novo Progresso	7,7	Pacajá	6,9	Pacajá	8,0	Novo Repartimento	7,2
5º	Pacajá	4,1	Marabá	4,8	Novo Progresso	6,1	Porto Velho	7,9	Pacajá	5,9
6º	Novo Progresso	3,7	Itaituba	4,7	Itaituba	4,7	Anapu	5,3	Itaituba	4,6
7º	Feliz Natal	3,3	Pacajá	4,1	Porto Velho	4,6	Novo Progresso	4,6	Anapu	4,3
8º	Porto Velho	3,1	Porto Velho	3,8	Marabá	4,1	Itaituba	4,6	Novo Progresso	4,1
9º	Itupiranga	3,0	Itupiranga	3,5	Colniza	3,3	Colniza	3,8	Colniza	3,9
10º	Itaituba	2,9	Colniza	2,9	Moju	3,1	Marabá	3,4	Lábrea	3,6

6.5 Emissões de CO₂ por degradação de extração madeireira e processos naturais

No total foram emitidos 822,52 Tg CO₂ somente por degradação entre 2008 e 2012. O ano de 2010 foi responsável por 42% das emissões de CO₂ (346,24 Tg CO₂) por degradação. Os estados que mais contribuíram como fonte de emissão foram o Mato Grosso, seguido por Pará e Maranhão, no qual juntos foram responsáveis por 78% das emissões de CO₂ por degradação entre 2008 e 2012 (Tabela 17). Os estados que mais foram afetados pela seca de 2010 foram Rondônia, Mato Grosso, Pará, Tocantins e Acre, no qual apresentaram os maiores valores de emissões de CO₂ por degradação em 2010 (tabela 6.7). Já os estados do Amazonas e Roraima apresentaram os maiores valores de emissão de CO₂ no ano de 2011; o Maranhão e o Amapá em 2008.

Tabela 6.7 – Emissão de CO₂ por degradação para os estados da Amazônia Legal entre 2008-2012.

Tg CO ₂										
Ano	AC	AM	AP	MA	MT	PA	RO	RR	TO	TOTAL
2008	0,4	3,4	0,9	28,6	104,7	19,8	2,9	1,5	4,2	166,5
2009	0,9	8,8	0,4	4,1	21,3	53,2	3,4	1,2	2,1	95,3
2010	5,2	24,3	0,2	16,7	159,6	82,1	42,5	2,0	13,7	346,2
2011	1,4	28,4	0,4	19,0	41,9	22,4	8,1	4,1	1,5	127,2
2012	0,3	8,3	0,1	10,7	30,3	27,8	6,4	1,4	2,0	87,3
TOTAL	8,3	73,2	2,0	79,0	357,9	205,3	63,2	10,1	23,5	822,5

Na tabela 6.8 estão os 10 municípios que mais emitiram CO₂ por degradação na Amazônia Legal para cada ano. Esses municípios estão localizados, principalmente, nos estados do Mato Grosso e Pará (figura 6.6). No ano de 2010 foi observado um aumento da quantidade de municípios na faixa dos mais críticos, em vermelho e laranja na figura 12. Destacam-se os municípios de Cumaru do Norte – PA, Gaúcha do Norte – PA e

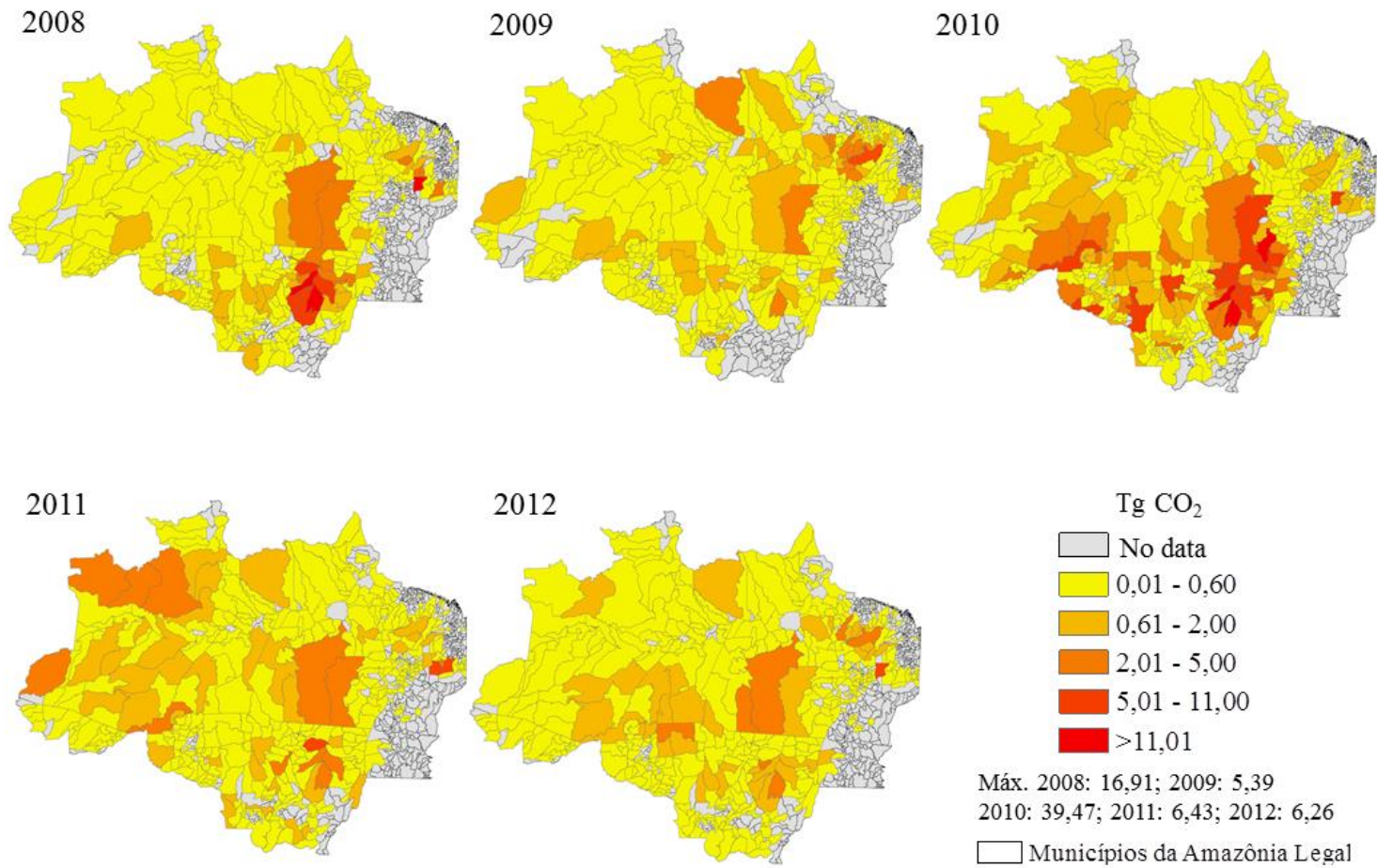
Feliz Natal – MT sendo estes responsáveis por 58% (75,4 Tg CO₂) das emissões de CO₂ em 2010 entre os 10 municípios que mais emitiram.

Somando as emissões em todo o período de 2008 a 2012, os municípios de Gaúcha do Norte e Feliz Natal no Mato Grosso, Cumarú do Norte no Pará e Amarante do Maranhão–MA se posicionam como os maiores emissores de CO₂ por degradação. Esses municípios contribuíram com 148,23 Tg CO₂, ou seja, 18% do total.

Tabela 6.8 – Ranqueamento dos 10 municípios que mais emitiram CO₂ por degradação entre 2008 – 2012 e suas respectivas emissões.

	2008		2009		2010		2011		2012	
Posição	Município	Tg CO ₂	Município	Tg CO ₂	Município	Tg CO ₂	Município	Tg CO ₂	Município	Tg CO ₂
1º	Gaúcha do Norte	16,9	Paragominas	5,4	Cumaru Do Norte	39,5	Marcelândia	6,4	Amarante Do Maranhão	6,3
2º	Amarante do Maranhão	15,7	Ipixuna do Pará	3,9	Gaúcha do Norte	20,6	Grajau	5,4	Altamira	4,3
3º	Feliz Natal	11,1	Goianésia do Pará	3,7	Feliz Natal	15,3	Barra do Corda	5,3	Gaúcha do Norte	3,9
4º	Marcelândia	9,7	São Félix do Xingu	3,2	Querência	11,0	Altamira	4,6	Novo Progresso	3,1
5º	Querência	9,5	Rondon do Pará	2,9	Peixoto de Azevedo	8,8	Atalaia do Norte	3,7	Moju	2,5
6º	Paranatinga	7,2	Gaúcha do Norte	2,6	São Félix do Xingu	8,0	Gaúcha do Norte	3,6	Paragominas	2,3
7º	Nova Ubitatã	5,8	Bagre	2,4	Matupá	7,2	Jenipapo dos Vieiras	3,6	Colniza	2,2
8º	União do Sul	4,7	Moju	2,3	Santana do Araguaia	6,9	Barcelos	3,3	União do Sul	2,1
9º	São José do Xingu	4,3	Tailândia	2,3	São Félix Do Araguaia	6,5	Feliz Natal	2,9	Porto Velho	2,0
10º	São Félix do Araguaia	3,8	Oeiras do Pará	2,3	Marcelândia	6,1	São Gabriel da Cachoeira	2,6	Feliz Natal	1,7

Figura 6.5 - Emissão de CO₂ por degradação nos municípios da Amazônia Legal entre 2008-2012.



6.6 Emissões de CO₂ por queimadas e incêndios florestais

Durante 2008 e 2012 a emissão total bruta foi de 1.991,25 Tg CO₂ oriundos de queimadas e incêndios florestais. Os estados que mais contribuíram foram o Mato Grosso (41,8%), seguido do Pará (20,4%), Tocantins (12,2%) e Maranhão (12%). O ano de 2010 foi responsável por 60% (1.186,29 Tg CO₂) do total das emissões de dióxido de carbono para o período analisado (Tabela 6.9).

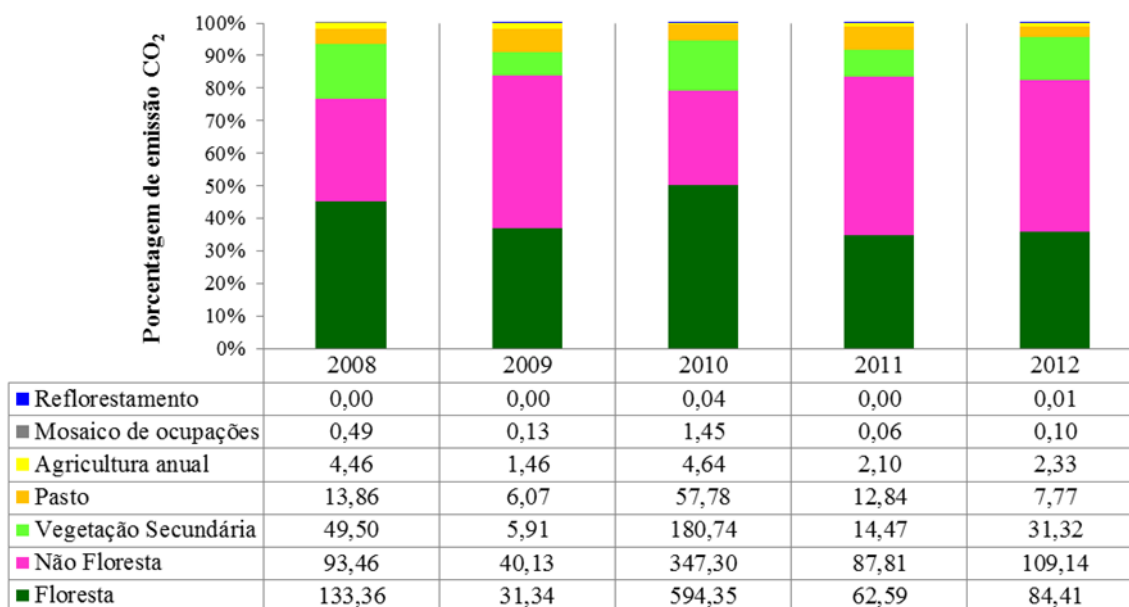
Tabela 6.9 – Emissão de CO₂ por queimadas e incêndios florestais para os estados da Amazônia Legal entre 2008-2012.

Tg CO ₂										
Ano	AC	AM	AP	MA	MT	PA	RO	RR	TO	TOTAL
2008	2,6	12,7	0,0	17,1	129,1	66,3	34,4	0,0	33,0	295,1
2009	0,4	13,0	0,0	11,3	27,6	14,1	9,0	0,0	10,2	85,6
2010	32,9	29,8	0,0	102,6	527,7	275,6	100,2	0,0	124,8	1.193,6
2011	1,8	4,7	0,2	24,7	68,1	30,3	14,9	0,5	35,2	180,3
2012	0,6	3,2	0,0	82,9	80,3	19,1	11,1	0,0	39,5	236,6
TOTAL	38,2	63,4	0,2	238,6	832,8	405,4	169,6	0,5	242,7	1.991,3

Para o período estudado, em média as emissões para a atmosfera por incêndios florestais em florestas prístinas, secundárias e reflorestamentos contribuíram com aproximadamente 60% das emissões do período. Apesar da maior área afetada por queimadas, como observado no item 6.2 dos resultados, as emissões por não floresta, pastagem, agricultura e mosaico de ocupações contribuíram com o restante. Na figura 13 apresenta-se o total emitido e a porcentagem por cada classe de uso e cobertura da terra em cada ano. As classes que mais contribuíram com as emissões brutas de CO₂ foram a classe floresta, seguido da classe não floresta (cerrado), vegetação secundária e pastagem (figura 6.7). A classe reflorestamento foi a que no total apresentou a menor área queimada e emissão de CO₂ por este tipo de impacto, uma vez que não seria sustentável economicamente que estas áreas fossem atingidas por fogo. Contudo, há diferenças entre os anos das classes que mais contribuíram para os totais de emissão

devido a queimadas e incêndios florestais. Nos anos de 2009, 2011 e 2012 a classe não floresta foi a que mais emitiu CO₂, por outro lado em 2008 e 2010 a emissão maior foi oriunda da classe floresta.

Figura 6.7 – Porcentagem de emissão de CO₂ por tipo de uso da terra e as respectivas emissões em Tg CO₂.



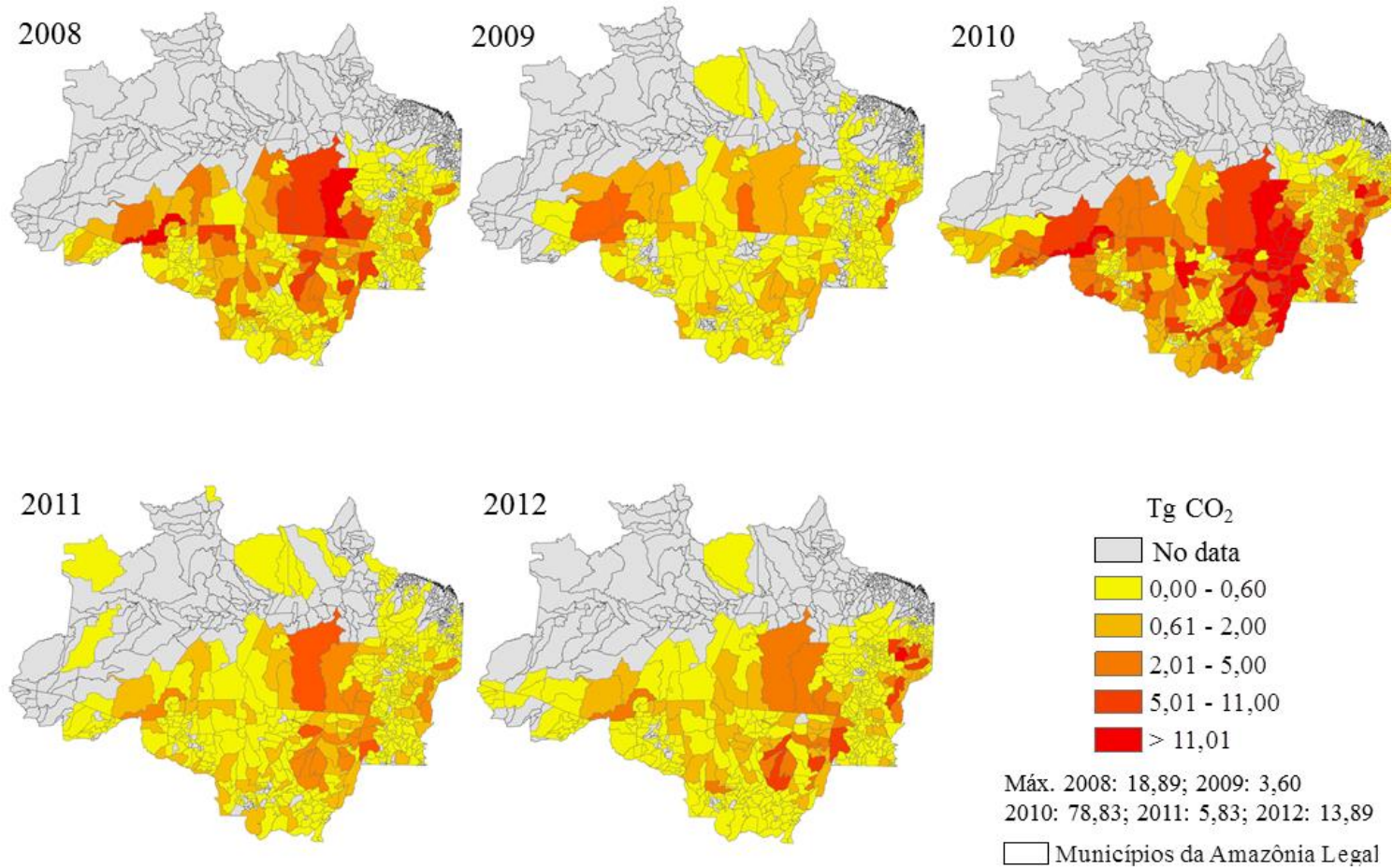
Em 2010 os 10 municípios do topo da lista (Tabela 6.10) contribuíram com cerca de 31% (371,37 Tg CO₂) das emissões deste ano, no qual o município com o máximo de emissão foi Cumaru do Norte – PA com 78,83 Tg CO₂. Na figura 6.8 pode-se observar a espacialização nos municípios da Amazônia Legal das emissões de CO₂ por queimadas e incêndios. Os municípios mais críticos encontram-se na região nordeste do Mato Grosso, na bacia hidrográfica do Xingu, sudeste do Pará, e oeste do Maranhão.

Somadas as emissões entre 2008 e 2012 por queimadas e incêndios, foram destacados 19 municípios considerados como os mais críticos, dos quais 48% estão localizados no estado do Mato Grosso, e o restante no Pará, Tocantins, Maranhão e Rondônia. Esses 19 municípios contribuíram com 38,5% (766,85 Tg CO₂) do total de emissões para todo o período.

Tabela 6.10 - Ranqueamento dos 10 municípios que mais emitiram CO2 por queimadas e incêndios entre 2008 – 2012 e suas respectivas emissões.

Posição	2008		2009		2010		2011		2012	
	Município	Tg CO ₂	Município	Tg CO ₂	Município	Tg CO ₂	Município	Tg CO ₂	Município	Tg CO ₂
1°	São Félix Do Xingu	18,9	Canutama	3,6	Cumaru do Norte	78,8	Altamira	5,8	Grajau	13,3
2°	Porto Velho	12,6	Lábrea	3,4	São Félix do Xingu	60,7	Formoso do Araguaia	5,7	Barra do Corda	10,8
3°	Feliz Natal	10,9	Porto Velho	2,8	Santana do Araguaia	38,3	Marcelândia	5,3	Feliz Natal	9,3
4°	Altamira	10,0	Balsas	2,4	Santa Maria das Barreiras	37,6	São Félix do Xingu	4,9	Mirador	8,6
5°	Marcelândia	9,6	Novo Progresso	2,1	Vila Rica	32,1	Balsas	4,3	Lagoa Da Confusão	8,6
6°	Novo Progresso	8,8	Tapaua	2,0	Porto Velho	29,2	Porto Velho	3,4	Amarante Do Maranhão	6,9
7°	Formoso do Araguaia	7,9	Altamira	1,9	Santa Terezinha	25,4	Alto Parnaíba	3,4	Balsas	6,0
8°	Cumaru do Norte	7,4	Mirador	1,7	Peixoto De Azevedo	25,3	Ribeirão Cascalheira	3,3	Paranatinga	5,9
9°	Ribeirão Cascalheira	5,9	São Félix do Xingu	1,4	Confresa	23,0	Lagoa da Confusão	3,2	Ribeirão Cascalheira	5,9
10°	Nova Ubiratã	5,8	Manicoré	1,3	São Félix do Araguaia	21,1	São Félix do Araguaia	3,2	Formoso do Araguaia	5,8

Figura 6.8 – Emissão de CO₂ por queimadas e incêndios nos municípios da Amazônia Legal entre 2008-2012.



6.7 Emissões de CO₂ por Bioma da Amazônia Legal

A emissão total de CO₂ entre 2008 e 2012 dentro do bioma Amazônia nos limites da Amazônia Legal foi de 2.886,8 Tg CO₂ e dentro do bioma Cerrado foi de 997 Tg CO₂. Nas tabelas 6.11 e 6.12 estão as emissões de CO₂ no bioma Amazônia e Cerrado entre 2008 e 2012, respectivamente. Como podem ser observadas nas tabelas as emissões de CO₂ por desmatamento são maiores no bioma Amazônia em relação ao Cerrado em todos os anos, isso ocorre porque o PRODES utiliza uma máscara de floresta e não observa área de Cerrado, apenas algumas áreas de transição.

Em conjunto os processos de degradação (extração seletiva, queimadas e incêndios) foram os maiores emissores nos anos de 2008, 2010 e 2011 no bioma Amazônia. Já em 2008 e 2012 o desmatamento superou os processos de degradação em emissões de CO₂. No bioma Cerrado os processos de degradação florestal (extração seletiva, queimadas e incêndios) foram responsáveis por em média 90% das emissões de CO₂ entre 2008-2012.

Tabela 6.11 - Emissão de CO₂ dentro do Bioma Amazônia (Tg CO₂) dentro dos limites da Amazônia Legal

	2008	2009	2010	2011	2012
Desmatamento	165,7	202,4	215,6	221,1	206,2
Degradação	149,1	88,6	304,6	100,1	81,8
Queimadas e Incêndios	200,4	47,6	730,3	90,1	83,2

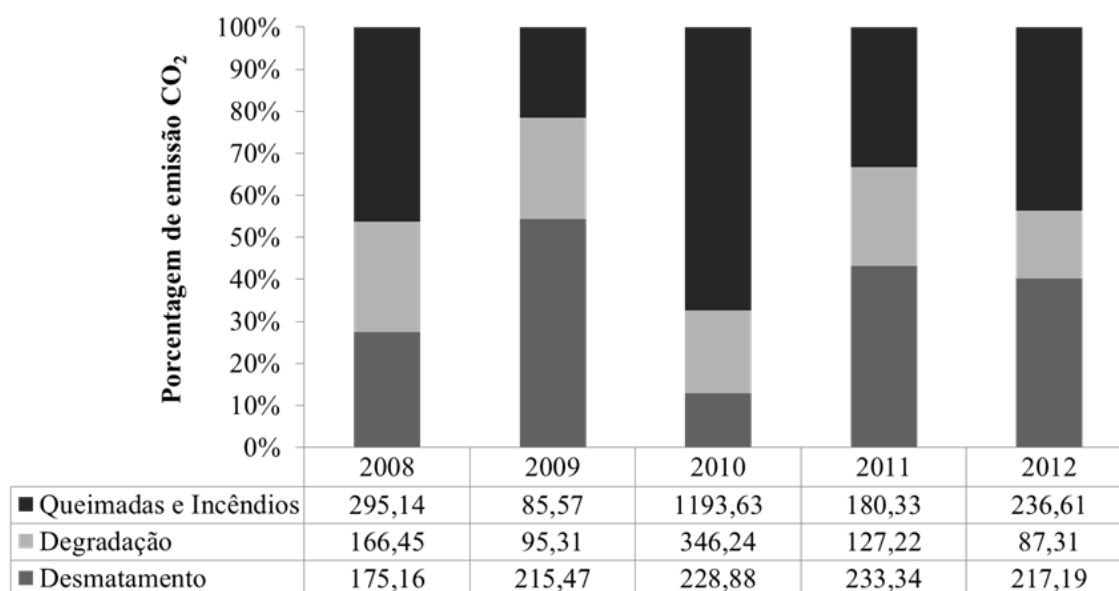
Tabela 6.12 – Emissão de CO₂ dentro do Bioma Cerrado (Tg CO₂) dentro dos limites da Amazônia Legal

	2008	2009	2010	2011	2012
Desmatamento	9,5	13,1	13,3	12,3	11,0
Degradação	17,3	6,7	41,6	27,1	5,5
Queimadas e Incêndios	94,7	38,0	463,3	90,2	153,4

6.8 Emissões totais de CO₂ e lista dos municípios críticos

Entre 2008 e 2012 o total emitido pelos municípios da Amazônia Legal por desmatamento, degradação e queimadas e incêndios em conjunto foi de 3.883,84 Tg CO₂ (3,88 GtCO₂). O ano com a maior quantidade de emissões foi 2010, com 1.768,75 Tg CO₂, no qual as queimadas e incêndios foram as maiores fontes de emissões, contribuindo com 67,5%, seguido da degradação com 19,6% e desmatamento com 12,9%. Em 2008 e 2012 as queimadas e incêndios também foram as maiores fontes de emissões de CO₂, porém com menor intensidade, com 46,4% e 43,7%, seguido do desmatamento 27,5% e 40,1% e degradação 26,1% e 16,1%, respectivamente. Já em 2009 e 2011 o desmatamento que contribuiu com a maior porcentagem de emissões, com 54,4% e 43,1%, respectivamente. Em 2009 a degradação contribuiu com 24% das emissões e em 2011 com 23,5%; as queimadas e incêndios contribuíram com 21,6% em 2009 e com 33,3 em 2011, respectivamente. Os valores absolutos de emissão em Tg CO₂ e a porcentagem de contribuição de cada fonte estão na figura 6.9.

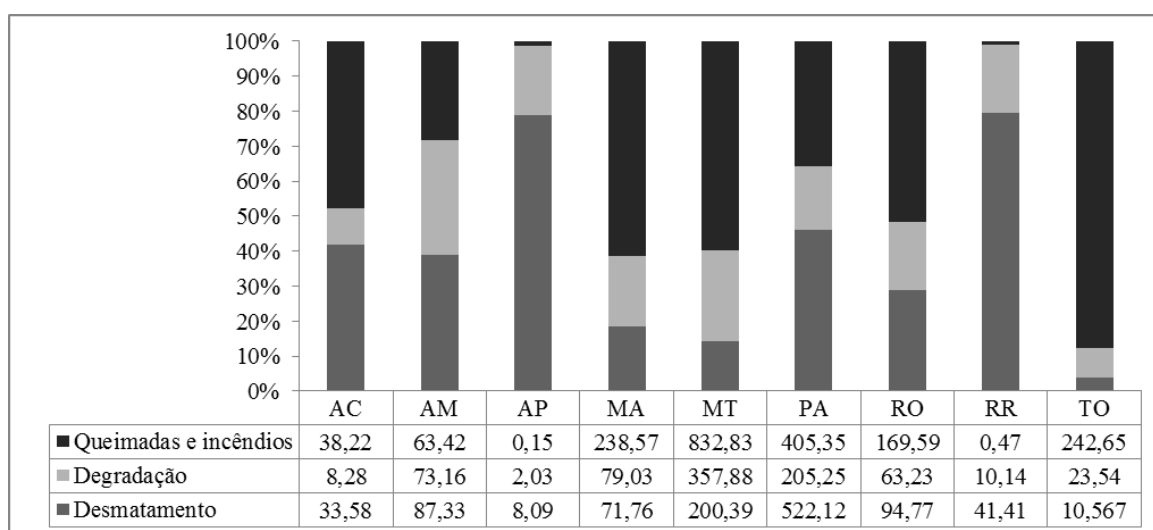
Figura 6.9 - Contribuição de cada fonte de emissão de CO₂ para os totais.



Na figura 6.10 estão apresentados todos os estados da Amazônia Legal e as contribuições de cada fonte de emissão. Nos estados do Maranhão, Mato Grosso, Rondônia, Acre e Tocantins as emissões acumuladas por queimadas e incêndios entre 2008 e-2012 superam as emissões acumuladas por degradação e desmatamento. No Tocantins as queimadas e incêndios foram responsáveis por 87,7% (242,65 Tg CO₂) das emissões de CO₂ acumuladas. Já no Mato Grosso a contribuição das emissões de queimadas e incêndios foi de 60% (832,83 TgCO₂) para o total deste estado. Nos estados de Rondônia e Acre, as queimadas e incêndios foram responsáveis por 51,8% e 47,7%, respectivamente, das emissões de CO₂. É importante ressaltar que nos estados do Amapá, Roraima e parte norte do Amazonas não foi possível obter as estatísticas de emissões de CO₂ por queimadas e incêndios devido a cobertura de nuvens para o mapeamento das queimadas.

No Pará, Amazonas, Amapá e Roraima as emissões acumuladas de CO₂ por desmatamento superam as outras fontes. O desmatamento foi responsável por 46,1% das emissões de CO₂ no Pará, no Amazonas por 39%, no Amapá por 78,8% e Roraima por 79,6%. Em nenhum estado as emissões por degradação superaram as outras duas fontes de emissões.

Figura 6.10 - Contribuição de cada fonte de emissão de CO₂ para os totais de emissões de cada estado da Amazônia Legal.

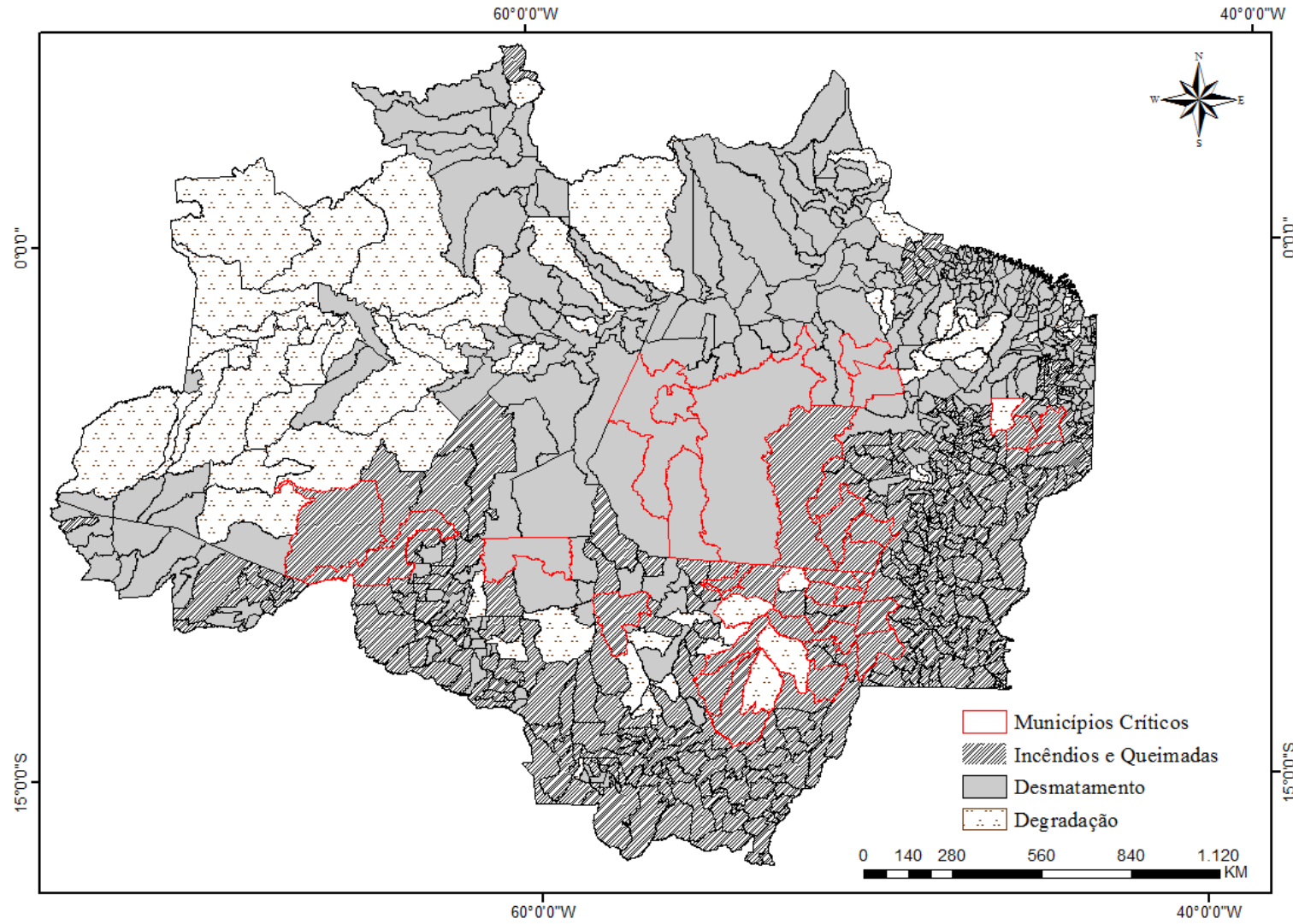


Na figura 6.11 está o mapa com os municípios da Amazônia e suas respectivas maiores fontes de emissão. Dentre os 31 municípios considerados críticos, 6 apresentaram maior porcentagem de emissões por desmatamento, 21 por queimadas e 4 por degradação (tabela 6.13). Esses municípios podem ser observados na figura 17 destacados em vermelho.

Tabela 6.13 - Porcentagem da contribuição de cada fonte de emissão de CO₂ nos municípios críticos.

Estado	Município	Desmatamento	Degradação	Queimadas
AM	Lábrea	32,2	22,7	45,2
MA	Amarante Do Maranhão	7,8	64,6	27,6
MA	Grajau	11,6	19,7	68,7
MA	Barra do Corda	14,5	32,2	53,3
MT	Nova Ubiratã	25,2	27,7	47,0
MT	Confresa	9,8	13,5	76,6
MT	Vila Rica	7,0	12,5	80,6
MT	Santa Terezinha	6,0	10,1	83,9
MT	Colniza	43,5	16,3	40,3
MT	Paranatinga	8,5	29,3	62,1
MT	Matupá	10,4	24,0	65,6
MT	Peixoto de Azevedo	11,0	24,6	64,4
MT	Gaúcha do Norte	8,9	64,4	26,6
MT	Feliz Natal	12,7	37,2	50,2
MT	Marcelândia	14,6	43,9	41,5
MT	Querência	11,9	76,8	11,3
MT	Ribeirão Cascalheira	1,3	3,5	95,3
MT	Juara	22,5	26,4	51,1
MT	São Félix do Araguaia	15,1	24,3	60,7
PA	Pacajá	93,0	6,9	0,1
PA	Novo Repartimento	94,5	5,1	0,4
PA	Santana do Araguaia	11,7	11,8	76,5
PA	Santa Maria das Barreiras	8,5	11,7	79,7
PA	Itaituba	70,9	8,6	20,5
PA	Altamira	50,5	19,7	29,8
PA	Novo Progresso	51,2	11,8	37,0
PA	São Félix Do Xingu	32,9	11,0	56,1
PA	Cumaru Do Norte	6,5	28,4	65,0
RO	Porto Velho	30,3	12,4	57,2
TO	Formoso do Araguaia	0,5	3,1	96,4
TO	Lagoa da Confusão	1,3	19,3	79,4

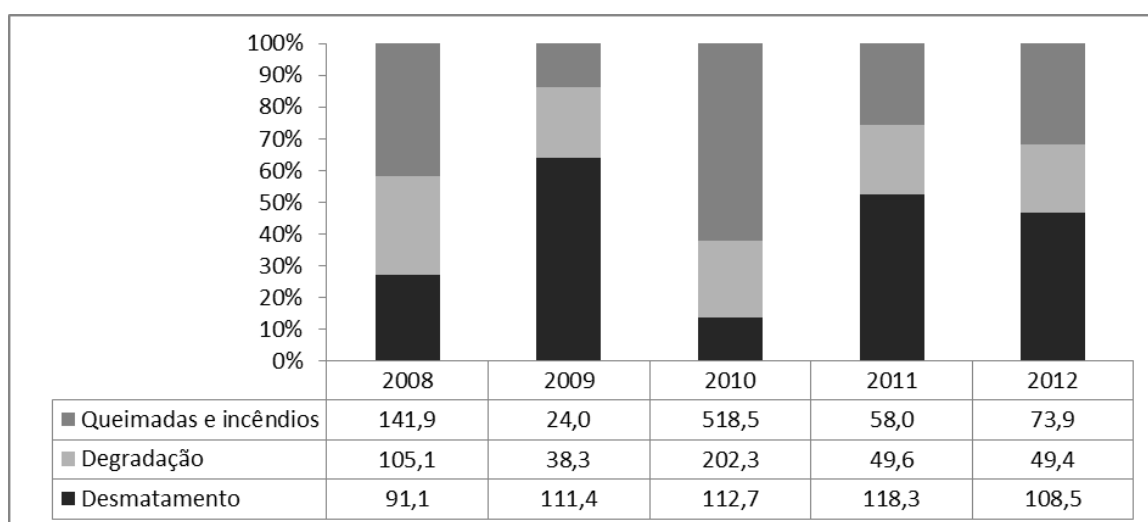
Figura 6.11 – Fontes de maior porcentagem de emissão de CO₂ nos municípios da Amazônia Legal.



6.9 Municípios Prioritários e Monitorados do PPCDAm e emissões de CO₂

Entre 2008 e-2012 municípios prioritários e monitorados do PPCDAm emitiram no total 1.948,4 Tg CO₂ conforme quantificado nesta pesquisa, que corresponde a 50,2% do total emitido pela Amazônia Legal (Figura 6.12). As queimadas e incêndios foram responsáveis por 41,9% (816,4 Tg CO₂) do total emitido pelos municípios do PPCDAm, seguido pela degradação com 30,2% (590,05 Tg CO₂) e o desmatamento com 27,8% (541,9 Tg CO₂). Observa-se que as queimadas e a degradação apresentam maior contribuição nos anos de 2008 e 2010. Nos anos de 2009, 2011 e 2012 a maior contribuição é do desmatamento.

Figura 6.12 – Emissões totais de CO₂ pelos municípios prioritários e monitorados do PPCDAm



Na tabela 6.14 estão os municípios ranqueados de acordo com o maior total de emissão entre 2008 e 2012 e suas maiores fontes de emissão em porcentagem. Os municípios de Feliz Natal-MT, Santana do Araguaia-PA e Marcelândia-MT saíram da lista de prioritários do desmatamento oficial do PPCDAm, entretanto, estão entre os 10 municípios com maiores emissões acumulada entre 2008 e 2012 devido às contribuições de emissões por queimadas e incêndios e outros tipos de degradação florestal.

Comparando a lista de 31 municípios prioritários para monitoramento identificados nesta pesquisa com a lista oficial emitida pelo PPCDAm, oito municípios identificados nesta pesquisa não se encontram na lista do PPCDAm, são eles: Barra do Corda – MA;

Santa Terezinha, Paranatinga, Matupá e Ribeirão Cascalheira no Mato Grosso; Itaituba-PA; Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão no Pará. O município de Itaituba-PA tem a maior porcentagem de emissão por desmatamento, entretanto não está na lista do PPCDAm.

Dentre os 52 municípios, 19 apresentam maior contribuição do desmatamento para as emissões de CO₂, 19 por queimadas e incêndios e 14 por degradação (Figura 6.13).

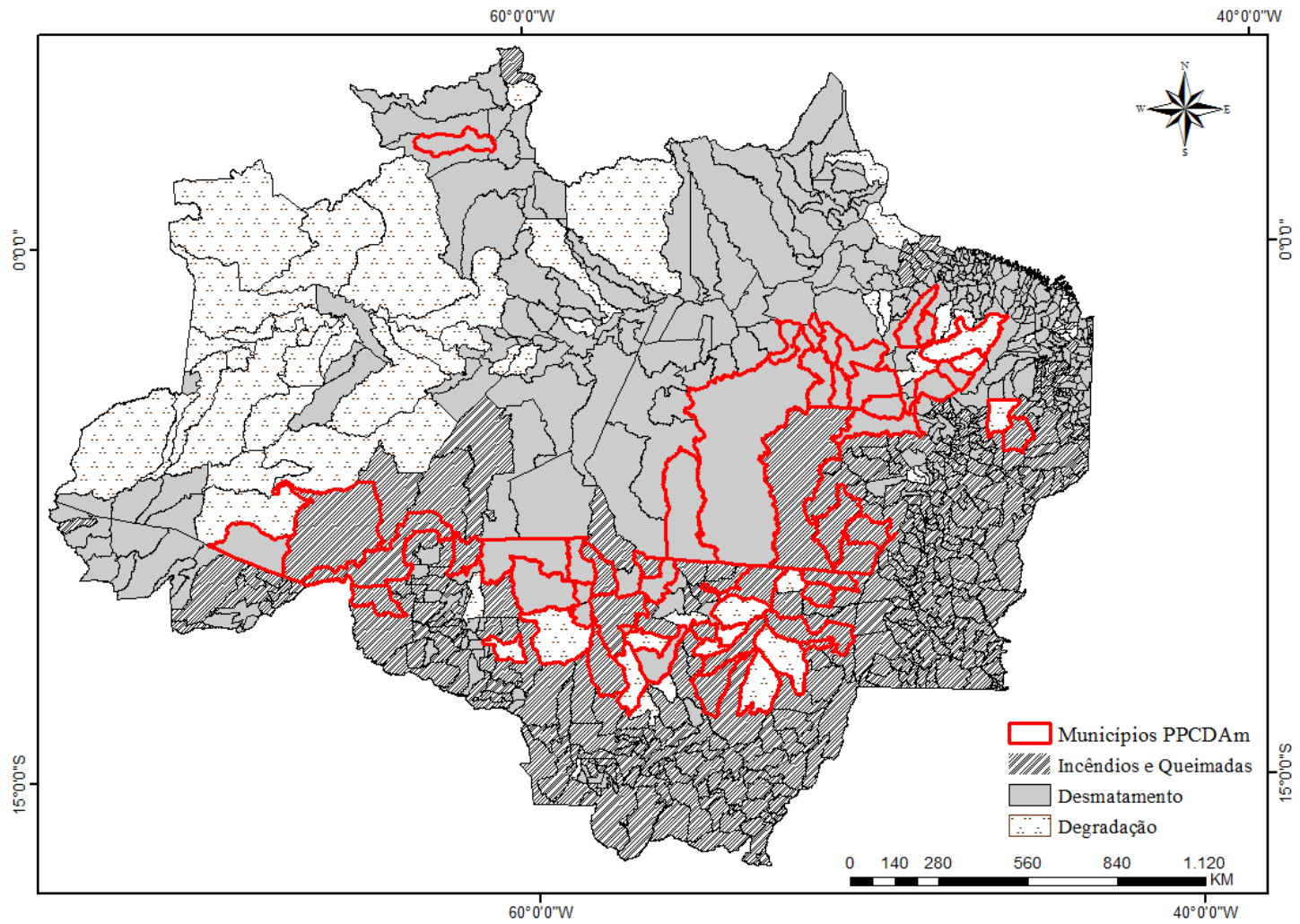
Tabela 6.14 – Municípios do PPCDAm ranqueados de acordo com o total de emissões entre 2008-2012.

Posição	Estado	Município	Tipo	Ano		Porcentagem			Tg CO ₂
				Entrada	Saída	D.	Deg.	Q. / I.	
1º	PA	São Félix Do Xingu	Prioritário	2008		30,2	18,2	51,6	175,5
2º	PA	Cumaru Do Norte	Prioritário	2008		5,5	40,1	54,5	168,5
3º	PA	Altamira	Prioritário	2008		51,7	17,8	30,5	91,5
4º	RO	Porto Velho	Prioritário	2008		30,7	11,3	58	90,5
5º	MT	Feliz Natal	Monitorado	2009	2013	11,9	40,9	47,2	90,3
6º	MT	Gaúcha Do Norte	Prioritário	2008		7,6	69,8	22,6	87,1
7º	PA	Santana Do Araguaia	Monitorado	2008	2012	10,1	23,7	66,2	74,2
8º	PA	Santa Maria Das Barreiras	Prioritário	2008		7,6	21,4	71	65,7
9º	MT	Marcelândia	Monitorado	2008	2013	12,8	51	36,2	61
10º	MA	Amarante Do Maranhão	Prioritário	2009		6	72,8	21,2	58,2
11º	MT	Vila Rica	Prioritário	2008		5,5	30,7	63,8	55,1
12º	MT	Peixoto De Azevedo	Prioritário	2008		10,2	30,3	59,6	54
13º	MT	São Felix Do Araguaia	Prioritário	2008		14,5	27,1	58,4	51,8
14º	PA	Novo Progresso	Prioritário	2008		53,9	7,1	39	48,6
15º	MA	Grajau	Prioritário	2011		10,8	25,3	63,9	46,4
16º	MT	Nova Ubitatã	Prioritário	2008		22,2	36,5	41,3	44
17º	PA	Novo Repartimento	Prioritário	2008		95,4	4,2	0,4	43,3
18º	MT	Querência	Monitorado	2008	2011	9,4	81,7	8,9	41,1
19º	MT	Confresa	Prioritário	2008		8,9	21,6	69,5	37,8
20º	MT	Colniza	Prioritário	2008		45,3	12,8	41,9	35,5
21º	AM	Lábrea	Prioritário	2008		32,4	22	45,6	35
22º	MT	Juara	Prioritário	2009		21,3	30,4	48,3	34
23º	PA	Pacajá	Prioritário	2009		92,3	7,6	0,1	31,6
24º	MT	Tapurah	Prioritário	2011		39	25,7	35,3	25,8
25º	PA	Marabá	Prioritário	2009		83,9	3,7	12,4	23,5
26º	MT	Brasnorte	Monitorado	2008	2013	24,6	42,6	32,8	22,8

27°	MT	Nova Bandeirantes	Prioritário	2008		40,3	9,7	50	22,2
28°	PA	Ulianópolis	Monitorado	2008	2012	26,2	50,4	23,4	21,5
29°	PA	Paragominas	Monitorado	2008	2010	47,1	49,8	3,2	18,7
30°	RO	Nova Mamore	Prioritário	2008		45,3	3,6	51,1	18,7
31°	MT	Aripuana	Prioritário	2008		42,5	23,6	33,9	18,5
32°	MT	Alto Boa Vista	Prioritário	2011		7,3	23,3	69,4	18,4
33°	MT	Porto Dos Gaúchos	Prioritário	2008		13,6	48,6	37,8	17,8
34°	PA	Moju	Prioritário	2011		69,9	28,5	1,6	17,5
35°	RO	Machadinho D'oeste	Prioritário	2008		35,2	14,5	50,3	16
36°	MT	Paranaíta	Prioritário	2008		15,9	20,5	63,5	15,2
37°	PA	Itupiranga	Prioritário	2009		96,4	2	1,6	15,2
38°	PA	Anapu	Prioritário	2012		96	3,8	0,2	14,6
39°	AM	Boca Do Acre	Prioritário	2011		51	12	37	13,6
40°	MT	Claudia	Prioritário	2011		16,4	45	38,6	13,3
41°	PA	Rondon Do Para	Prioritário	2008		50,6	46,8	2,7	12,8
42°	MT	Santa Carmem	Prioritário	2011		18,4	45,1	36,5	12,2
43°	RO	Pimenta Bueno	Prioritário	2008		24,1	45,9	30	12,1
44°	RR	Mucajaí	Prioritário	2009		95,4	4,6	0	11
45°	MT	Juína	Prioritário	2008		31,8	37,4	30,8	10,9
46°	PA	Dom Eliseu	Monitorado	2008	2012	49,8	40,7	9,5	10,9
47°	MT	Nova Maringá	Prioritário	2008		12,7	54,1	33,1	10,6
48°	MT	Cotriguaçu	Prioritário	2008		65,8	8,7	25,5	9,8
49°	PA	Tailândia	Monitorado	2009	2013	62,7	35,4	1,9	9,6
50°	PA	Brasil Novo	Monitorado	2008	2013	96,4	3,6	0	6,3
51°	PA	Senador Jose Porfirio	Prioritário	2012		95,6	4,4	0	5,5
52°	MT	Alta Floresta	Monitorado	2008	2012	36,5	42	21,5	2,7

Obs: D. – Desmatamento; Deg. – Degradação; Q./ I. – Queimadas e incêndios.

Figura 6.13 – Fontes de maior porcentagem de emissão de CO₂ nos Municípios do PPCDAm.



7 DISCUSSÕES

7.1 Quais as forçantes para emissões por desmatamento, degradação e queimadas e incêndios?

Os dados apresentados de desmatamento demonstram uma diminuição das taxas em até 79% entre 2004 e 2013 (MMA, 2016) e de 68,5% entre 2008 e 2012. No entanto, algumas áreas, como a região sudeste do Pará, sul de Rondônia e norte do Mato Grosso, ainda apresentam altas taxas de desmatamento e conseqüentemente grandes emissões de CO₂ por esta forçante de mudança de cobertura da terra. Essas regiões estão localizadas no arco do desmatamento, no qual áreas continuam sendo abertas para a criação extensiva de gado (FEARNSIDE, 2015).

As forçantes para as emissões oriundas da degradação podem ser antrópicas ou naturais. As forçantes antrópicas consideradas nesta pesquisa são causados pela extração madeireira ilegal e queimadas e incêndios, sendo que foram quantificados separadamente neste estudo. Os dados de extração de madeira em tora disponíveis no IBGE não apresentam similaridades com os municípios com maior quantidade de emissões oriundas da degradação. Isso pode ocorrer devido: (i) a extração de madeiras quantificadas neste estudo são em geral associadas ao corte seletivo ilegais, causando impactos detectáveis nas imagens de satélite; (ii) a madeira ilegal extraída muitas vezes é transportada entre municípios ou mesmo de um estado para outro antes de ser registrada; (iii) áreas manejadas para extração seletiva podem não apresentar impacto detectável pelo sistema DEGRAD; (iv) os dados adquiridos pelo IBGE referem-se a estimativas de extração madeireira legal. Um outro fator refere-se as áreas de queimadas que não foram detectadas no mapeamento de queimadas e podem aparecer no DEGRAD, principalmente na região norte da Amazônia onde não houve o mapeamento das queimadas.

As forçantes naturais de degradação florestal estão relacionadas com eventos como grandes tempestades de vento que ocorrem na Amazônia, denominado de “*blowdown*”. A perda de carbono por este fenômeno quantificada para os anos 2000 foi de aproximadamente 0,003 Pg C/ano (ESPÍRITO-SANTO et al., 2014). Apesar deste tipo

de evento não ser considerado o foco das degradações detectadas pelo projeto DEGRAD, observou-se que degradação em áreas na região central e oeste do estado do Amazonas onde há baixa intervenção antrópica, esse fenômeno foi responsável pelas emissões por degradação quantificadas nesta pesquisa.

Em relação às emissões de CO₂ oriundas de queimadas e incêndios florestais, pode-se observar que em anos de eventos de seca extremas estas foram maiores que as emissões por desmatamento e outros tipos de degradação. Os dados demonstram as taxas de desmatamento não acompanham a dinâmica do aumento e diminuição das áreas queimadas, isso corrobora com as análises de Aragão e Shimabukuro (2010) e Aragão et al (submetido) no qual destaca o desacoplamento das queimadas com o desmatamento em decorrência do aumento da frequência e intensidade dos eventos secas extremas na Amazônia (ARAGÃO et al, 2007; ARAGÃO et al., submetido).

Os efeitos da seca resultam no aumento da mortalidade da vegetação e, conseqüentemente, na maior disponibilidade de material combustível para a dispersão do fogo (ARAGÃO et al, 2007; GATTI et al., 2015). Desse modo, eventos de secas extremos tornam-se uma importante forçante na intensificação das emissões de CO₂ por queimadas e incêndios. Entretanto, a atuação antrópica também apresenta uma importante forçante na dispersão do fogo. Em um estudo de caso para o município de São Félix do Xingu-PA, Rosan et al (em edição), concluiu que a proximidade de áreas de florestas com áreas de pastagem, vegetação secundária e áreas degradadas, são fortemente associadas a dispersão do fogo para áreas de florestas.

7.2 Quais as implicações dos materiais e métodos utilizados para categorização de municípios prioritários por tipos de fontes de emissão de CO₂?

Diversos fatores podem afetar a categorização de municípios prioritários por tipos de fonte de emissão de CO₂. A dinâmica de mudanças de cobertura da terra é mais intensa na região do arco do desmatamento, portanto, todos os tipos de distúrbios e mudanças ocorrem nessa região, dificultando a separação das fontes de emissões.

Dentre os fatores para a categorização dos municípios podemos citar as limitações nos mapeamentos e processamento dos dados. O processamento dos dados de desmatamento do PRODES apresentou diversas áreas com desmatamento recorrentes, o que é identificado como inconsistência no produto. Esses pontos foram considerados somente no primeiro ano em que o desmatamento foi detectado, sendo os demais descartados para fins de cálculo de emissão. Esses erros foram responsáveis pela diminuição de 3.575,93 km² da área reportada pelo PRODES entre 2008 e 2012 e isso pode acarretar em mudanças na lista de municípios prioritários realizada nesta pesquisa.

O mapeamento da degradação apresenta incertezas no que tange ao tipo de extração madeireira realizada, se são legais ou ilegais. O processamento realizado para a retirada de áreas queimadas utilizando os dados do mapeamento de queimadas pode não ter retirado todas as áreas queimadas desse modelo, uma vez que o mapeamento de queimadas também apresenta algumas incertezas devido aos dados de média resolução espacial utilizados (dados de reflectância de superfície do sensor MODIS) e não foi realizado o mapeamento na porção norte da Amazônia Legal. Assim, possivelmente as áreas de queimadas nesta região detectadas pelo DEGRAD foram consideradas no modelo de emissão por degradação devido ao corte seletivo.

Especificamente em relação ao mapeamento de cicatrizes de áreas queimadas, considera-se que é subestimado pois somente o fogo que de alguma forma altera a copa da vegetação é capturado pelas imagens ópticas, dificultando o mapeamento de queimadas de sub-bosque que ocorrem em áreas de florestas densas. Além disso, soma-se à média resolução espacial das imagens utilizadas para o mapeamento e erros de confusão no processo de classificação quando comparadas aos dados de entrada dos modelos de desmatamento e degradação por extração seletiva de madeira, que são de maior resolução espacial. Outro fator importante é a presença da cobertura de nuvens na região norte da Amazônia, que impossibilitou o mapeamento das queimadas realizado nesta pesquisa, deixando os municípios dos estados do Amapá e Roraima, com defasagem nos dados, impactando suas colocações na lista em relação às emissões por queimadas e incêndios.

É importante ressaltar que em decorrência dos tipos de dados e abordagens metodológicas a lista de municípios pode sofrer variações. Diante da intensidade das queimadas e incêndios florestais de 2010, alguns municípios listados como críticos em relação as queimadas e incêndios também são críticos em relação às outras fontes de emissão em anos normais. Porém os efeitos da seca em 2010 teve um grande peso para a análise das porcentagens.

7.3 Quais as implicações em curto e longo prazo das emissões por desmatamento, degradação e queimadas e incêndios florestais?

Os processos que regem a dinâmica de aumento e diminuição da biomassa estocada nas florestas tropicais afetam as emissões de CO₂ em curto e longo prazo. As áreas de florestas secundárias apresentaram um aumento de 51,38% entre 2008 e 2010, uma diminuição de 24,5% entre 2010 e 2011 e um aumento de 26,49% entre 2011 e 2012. Esse aumento de área de floresta secundária acarreta em retirada de parte do CO₂ emitido pelo processo de desmatamento. Porém, estimativas indicam que a regeneração dessas florestas pode diminuir em cerca de 5% as emissões por desmatamento (AGUIAR et al, 2012), uma vez que essas áreas apresentam um curto período de vida, em geral de 5 anos (ALMEIDA, 2009). Contudo, se mantidas sem nenhum distúrbio, em longo prazo, essas florestas podem absorver grande parte do que foi emitido no processo de mudança de cobertura da terra. Desse modo, é importante que as florestas secundárias sejam valorizadas em políticas de redução de emissões, com a criação de incentivos para a manutenção dessas áreas.

As emissões por degradação por extração madeireira ilegal ou eventos naturais apresentam reversão lenta, uma vez que é preciso a recuperação total, sem distúrbios recorrentes, para a absorção do carbono estocado retirado destas áreas. Por outro lado, tanto a biomassa retirada por corte seletivo ilegal, os impactos locais do processo não gerenciado e as áreas afetadas por tempestade de vento não são fontes direta de carbono para a atmosfera e sim representam o carbono comprometido para sua emissão ao longo dos anos via decomposição do material. Contudo, grande parte das áreas impactadas por corte seletivo ilegal geralmente é degradada novamente, torna-se mais susceptível a

queimadas e incêndios florestais e tende a evoluir para a remoção total da vegetação (ASNER et al., 2005, BERENGUER et al., 2015). Em relação às áreas degradadas por eventos naturais, os efeitos na emissão de CO₂ não são intensos e geralmente ocorrem em áreas mais localizadas na região central e oeste do estado do Amazonas, como destaca Espírito-Santo et al (2014) em seu estudo. Ao longo dos anos, dado o isolamento destas áreas de florestas, estas tendem a recuperar seu estoque original (CHAMBERS et al., 2013).

As queimadas em pastagens, agricultura e áreas de savana (não floresta) possuem emissão com reversão rápida, já que no ano subsequente a sua biomassa cresce novamente absorvendo o que foi emitido, desse modo, possui efeitos de curto prazo nas emissões de CO₂ para a atmosfera. As áreas queimadas em florestas, se não apresentarem distúrbios nos anos subsequentes, em longo prazo vai absorver o que foi emitido pelo processo de queimada. Entretanto, muitas áreas de florestas apresentam recorrência de queimadas, principalmente em locais próximos a fontes de ignição humana (MORTON et al, 2013), dificultando a recuperação total da biomassa e absorção do CO₂ emitido.

As grandes secas aumentam as emissões tanto de retorno rápido, como as de retorno em longo prazo pelos processos de degradação, queimadas e incêndios. Em 2010 foi demonstrado que essas emissões foram maiores do que as oriundas por desmatamento. A área de florestas impactada em 2010 foi 405% maior do que a área impactada em 2008 e 2.118% maior do que em 2009. As projeções climáticas apontam para o aumento de ocorrência e impacto das secas severas na Amazônia o que potencialmente resultaria no aumento das emissões por queimadas e incêndios florestais (ARAGÃO et al, 2007). Contudo, as emissões relacionadas com as queimadas decorrentes de eventos de secas severas não estão incluídas explicitamente nos modelos. As queimadas afetam a efetividade do REDD+, uma vez que compromete a permanência do carbono (BARLOW et al, 2012).

7.4 Onde os esforços devem ser alocados para a diminuição das emissões de CO₂ na Amazônia Legal?

Para que as emissões de CO₂ diminuam na Amazônia Legal é preciso que diferentes esforços e políticas públicas sejam aplicados de modo a atender os vários fatores que contribuem para essas emissões. Desde 2004 os esforços têm sido voltados para a diminuição do desmatamento e emissões oriundas do desmatamento na Amazônia Legal, com políticas de cunho federal, como o PPCDAm, e ações mais regionais, como o Programa Municípios Verdes no Pará. Porém, o aumento das queimadas, da degradação e dos eventos de secas extremas na Amazônia, esses fatores devem ser considerados na elaboração dessas políticas públicas.

Para indicar áreas prioritárias para a atuação de políticas públicas voltadas para a redução das emissões de CO₂, gerou-se um mapa com os municípios da Amazônia Legal e suas respectivas maiores fontes de emissões (desmatamento, degradação, incêndios e queimadas) entre 2008 e 2012, que está apresentado no item 6.7 dos resultados. As queimadas e incêndios florestais demonstraram apresentar um grande peso nas emissões e categorização dos municípios, principalmente durante um ano de seca extrema. As regiões indicadas com maior contribuição de queimadas e incêndios no mapa compõe grande parte dos municípios do Mato Grosso, Maranhão, Rondônia, Tocantins, sudeste do Pará, e alguns municípios do Acre e Amazonas. Desse modo, nessas regiões propõe-se que as políticas de redução de emissões sejam voltadas, principalmente, para o combate e restrição ao uso do fogo, principalmente em anos de anomalias de chuva.

Nas regiões com maior contribuição do desmatamento para o total de emissões de CO₂ quantificados nesta pesquisa, recomenda-se que as políticas de controle e monitoramento continuem sendo aplicadas, principalmente nos municípios do Pará que apresentam as mais altas taxas de conversão de florestas pristinas. Na análise dos resultados o município de Itaituba-PA apresentou altas taxas de desmatamento e emissão de CO₂, sendo considerado crítico, porém é o único município que não está na lista do PPCDAm para controle e monitoramento do desmatamento.

Em relação à degradação por fontes naturais ou antrópicas, destacam-se alguns municípios do estado do Mato Grosso e noroeste da Amazônia. Para essas áreas é proposto que sejam realizadas políticas de fiscalização e maior controle de extração madeireira ilegal. Quanto aos eventos naturais de degradação, esses não apresentam contribuições significativas para os totais de emissões de CO₂.

8 CONCLUSÕES

A metodologia empregada nesta dissertação permitiu definir uma lista de municípios da Amazônia Legal com base nas três fontes de emissões de CO₂ indagada pela questão 1. Nesta lista destacaram-se 31 municípios como críticos, dos quais 6 municípios críticos em relação às emissões por desmatamento, 21 municípios por queimadas e incêndios e 4 por outros tipos de degradação.

Com base nos resultados das emissões de CO₂ pelas três fontes estudadas, conclui-se que a resposta da questão 2 é que as emissões por queimadas, incêndios florestais e degradação são maiores que as emissões por desmatamento em anos de extremos de seca.

Em relação á questão 3, que indaga se há alterações na lista dos 52 municípios prioritários PPCDAm considerando as fontes três fontes de emissões discutidas nessa pesquisa. Os resultados demonstraram que 63,5% dos 52 municípios do PPCDAm, possuem maior contribuição das emissões por queimadas e degradação. Além disso, 8 dentre os 31 municípios considerados críticos nessa pesquisa como maiores emissores não estão na lista do PPCDAm, inclusive o município de Itaituba-PA que apresenta maior porcentagem de emissão por desmatamento.

Diante da magnitude da contribuição das queimadas e incêndios e degradação para as emissões CO₂, principalmente em anos de secas, recomenda-se que esses processos sejam incluídos explicitamente nas políticas de redução de emissão de CO₂. Se esses processos não forem considerados em políticas voltadas para redução de emissões de CO₂, não será possível atingir o objetivo de mitigar mudanças climáticas no Brasil.

Para os próximos passos de modo a aperfeiçoar os modelos aqui utilizados, recomenda-se a inclusão dos processos de regeneração florestal e recorrência de queimadas nos modelos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHARD, F.; EVA, H.D.; STIBIG, H.J.; MAYAUX, P.; GALLEGO, J.; RICHARDS, T.; MALINGREAU, J.P. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. **Science**. v. 297, n. 5583, p. 999-1002, 2002.
- ADAMI, M.; GOMES, A. R.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; VENTURIERI, A. Dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do Pará entre os anos de 2008 a 2012. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 7028-7035. Internet. ISBN 978-85-17-0076-8. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4JJJ>>. Acesso em: 09 Ago. 2016.
- AGUIAR, A. P. D., VIEIRA, I. C. G., ASSIS, T. O., DALLA-NORA, E. L., TOLEDO, P. M., OLIVEIRA SANTOS-JUNIOR, R. A., BATISTELLA, M., COELHO, A. S., SAVAGET, E. K., ARAGÃO, L. E. O. C., NOBRE, C. A. AND OMETTO, J. P. H. Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. **Glob Change Biol**, v. 22, p. 1821–1840, 2016. doi:10.1111/gcb.13134
- 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, p. 3346–3366, 2012. Disponível em: <doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02782.x>.
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, D. C.; VERA DIAZ, M. C. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO & non-ENSO Years: area burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**, v. 10, p. 1–17, 2006.
- ALENCAR; A. A. C.; SOLORZANO; L. A. & NEPSTAD; D. C. Modeling forest understory fires in an eastern Amazonian landscape. **Ecological Applications**, v.14, p. S139–S149, 2004.
- ALMEIDA, C. **Estimativa da área e do tempo de permanência da vegetação secundária na Amazônia legal por meio de imagens Landsat/TM**. 2008. 129 p. IBI: <8JMKD3MGP8W/346KGA2>. (INPE-15651-TDI/1429). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/346KGA2>>.
- ANDERE; L.; ANDERSON; L. O.; DUARTE; V.; ARAI; E.; ARAGÃO; J. R. L.; ARAGÃO; L. E. O. C. Dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento de queimadas na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO; 17. (SBSR); 2015; João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE; 2015. p. 3534-3541. Internet. ISBN 978-85-17-0076-8. Disponível em:<<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4BQA>>. Acesso em: 24 nov. 2015.

ANDERSON, L.; SAATCHI, S. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Philosophical transactions of the Royal Society**. v. 363, p. 1779 – 1785. 2008.

ANDERSON, L.O. ; ARAGÃO, L. E. O. C.; GLOOR, M.; ARAI, E.; ADAMI, M; SAATCHI, S.; MALHI, Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; BARLOW, J.; BERENQUER, B.; DUARTE, V. Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought. **Global Biogeochem. Cycles**, v.29, p. 1739–1753, 2015. Disponível: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014GB005008/abstract>>.

ANDERSON; L. O.; SHIMABUKURO; Y. E.; DEFRIES; R. S.; MORTON; D. Assessment of deforestation in near real time over the Brazilian amazon using multitemporal fraction images derived from terra MODIS. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 2, n. 3, p. 315–318; 2005.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; BARBIER, N.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y.; ANDERSON, L.; SAATCHI, S. Interactions between rainfall; deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, p. 1779–1785, 2008.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; BARBIER, N.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y.; ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R. M.; et al. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7. 2007. Disponível em:<<http://doi.wiley.com/10.1029/2006GL028946>>. Acesso em: 18 de ago. 2015.

ARAGÃO, L. E. O. C.; POULTER, B; BARLOW, J. B.; ANDERSON, L. O.; MALHI, Y.; SAATCHI, S.; PHILLIPS, O. L.; GLOOR, E. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biol. Rev.** v. 89; p. 913–931, 2014. Disponível: <doi: 10.1111/brv.12088>.

ARAGÃO; L. E. O. C.; MALHI; Y.; ROMAN-CUESTA; R. M.; SAATCHI; S.; ANDERSON; L. O. & SHIMABUKURO; Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. L07701, 2007. Disponível em: <doi: 10.1029/2006GL028946>

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

ASNER G. P., BROADBENT E. N., OLIVEIRA P. J. C., KELLER M., KNAPP D. E.; SILVA J. N. M. Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. **Proc. Natl Acad. Sci.** v.103, 2006.

ASNER; G. P.; KNAPP; D. E.; BROADBENT; E. N.; OLIVEIRA; P. J. C.; KELLER; M. & SILVA; J. N. M. Selective logging in the Amazon. **Science**, v. 310; p. 480–482, 2005.

BACCINI A., W. WALKER, L. CARVAHLO, M. FARINA, D. SULLA-MENASHE, R. HOUGHTON. **Tropical forests are a net carbon source based on new measurements of gain and loss**. Washington, D.C.: World Resources Institute, 2015. Technical Note. Disponível em: <climate.globalforestwatch.org>. Acesso em 15 de Jun. de 2016.

BACCINI, A. et al. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 3, p. 182-185, 2012.

BACCINI, A. et al. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. **Nat. Clim. Change**, v.2, p. 182–185, 2012.

BARBOSA, R.I. & FEARNSTIDE. P.M. Incêndios na Amazônia brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento "El Niño" (1997/98). **Acta Amazonica**, v. 29, n. 4, p. 513-534, 1999.

BARLOW J, PARRY L, GARDNER TA et al. The critical importance of considering fire in REDD+ programs. **Biological Conservation**, v.154, p.1–8, 2012.

BECKER; B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, p.71–86, 2005.

BEER; C. et al. Terrestrial gross carbon dioxide uptake: global distribution and covariation with climate. **Science**, v.329, p. 834–838, 2010.

BERENGUER, E.; FERREIRA, J.; GARDNER, T. A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; DE CAMARGO, P. B.; CERRI, C. E.; DURIGAN, M.; OLIVEIRA, R. C. D.; VIEIRA, I. C. G.; BARLOW, J. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Glob Change Biol.**, v. 2, p. 3713–3726, 2014.

BONAN; G. B. Forests and climate change: Forcings; feedbacks; and the climate benefits of forests. **Science**, v. 320, p. 1444–1449, 2008.

BRANDO, P.M.; NEPSTAD, D.C.; BALCH, J.K.; BOLKER, B.; CHRISTMAN, M.C.; COE, M.; PUTZ, F.E. Fire-induced tree mortality in a neotropical forest: the roles of bark traits; tree size; wood density and fire behavior. **Glob Chang Biol.**, v.18, p. 630–64, 2012. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02533.x

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal**. 2004. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/brasil/PageFiles/3983/govfed_desmatamento_2004-03.pdf>. Acesso em: 14 de nov. 2015.

BRIENEN, R.J.W. et al. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, p. 344-348, 2014.

BROADBENT, E.; ASNER; G.; KELLER; M. et al. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. **Biological**

Conservation, v. 141, n. 7, p. 1745–1757, 2008. Disponível em:
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006320708001377>>. Acesso em: 3 de jan. 2016.

BROWN, S. Tropical forests and the global carbon cycle: the need for sustainable land-use patterns. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 46, n. 1-4, p. 31–44, 1993.

BUSH, M. B.; SILMAN, M. R.; DE TOLEDO, M. B.; LISTOPAD, C.; GOSLING, W. D.; WILLIAMS, C.; DE OLIVEIRA, P. E.; KRISSEL, C. Holocene fire and occupation in Amazonia: records from two lake districts. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 362, p. 209–218, 2007.

CARDOZO, F. S. **Estimativas de áreas queimadas para o estado de Rondônia e suas implicações na modelagem do balanço de radiação**. 2014. 131 p. IBI: <8JMKD3MGP5W34M/3GCG6CH>. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/05.26.19.46-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3GCG6CH>>.

CHAMBERS J.Q., et al. The steady-state mosaic of disturbance and succession across an old-growth Central Amazon forest landscape. **PNAS**, v.110, n. 10, p. 3949–3954, 2013.

COCHRANE, M. A. Fire and fire ecology: concepts and principles. In: COCHRANE, M. (ed.). **Tropical fire ecology, climate change, land use and ecosystem dynamics**. Chichester, UK: Springer, 2009. p. 60-97.

COCHRANE, M. A. Synergistic interactions between habitat fragmentation and fire in evergreen tropical forests. **Conservation Biology**, v. 15, p. 1515–1521, 2001.

COCHRANE, M. A., A. ALENCAR, M. D. SCHULZE, C. M. SOUZA, D. C. NEPSTAD, P. LEFEBVRE; E. A. DAVIDSON, Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. **Science**, v. 284, p.1832 – 1835, 1999.

COCHRANE, M. A.; LAURANCE, W. F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. **J. Trop. Ecol.**, v.18, p. 311–325, 2002.

COCHRANE, M. A.; LAURANCE, W. F. Synergisms among fire; land use; and climate change in the Amazon. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 37, p.522–527, 2008.

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

COCHRANE; M. A. Fire science for rainforests. **Nature**, v. 421, p. 913–919, 2003.

DEFRIES, R. S.; HOUGHTON, R. A.; HANSEN, M. C.; FIELD, C. B.; SKOLE, D.; TOWNSHEND; J. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on

satellite observations for the 1980s and 90s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, p. 14256–14261, 2002.

DENMAN; K. L. et al. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change . In: **Climate Change 2007: the Physical Science Basis**. p. 512–521, 2007.

ESPIRITO-SANTO, F. D. B. et al. Size and frequency of natural forest disturbances and the Amazon forest carbon balance. **Nature Communication**. v. 5, n. 3434, 2014. doi:10.1038/ncomms4434.

FEARNSIDE, P. M. Desenvolvimento sustentável e serviços ambientais na Amazônia. In: ENCONTRO ANUAL DA ANPOCS, 27., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais (ANPOCS), 2003.

FEARNSIDE, P. M. Environment: Deforestation soars in the Amazon. **Nature**, 521, 2015. doi:10.1038/521423b

FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, W. F. Tropical deforestation and greenhouse gas emissions. **Ecological Applications**. v. 14, p. 982-986. 2004.

FELDPAUSCH, T.R., PHILLIPS, O.L., BRIENEN, R.J.W., GLOOR, E., LLOYD, J. *et al.* Amazon forest response to repeated droughts. **Global Biogeochem. Cycles**, 30, 964–982, 2016.

GATTI, L. V.; GLOOR, M.; MILLER, J.B.; DOUGHTY, C.E.; MALHI, Y.; et al. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements. **Nature**, v. 506, p.76–80, 2014.

GEIST, H.J.; LAMBIN, E.F.. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. **Bioscience**, v. 52, p. 143–150, 2002.

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

GIGLIO L.; VAN DER WERF G.R.; RANDERSON J.T.; COLLATZ G.J.; KASIBHATLA P. Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. **Atmos. Chem. Phys.** v. 6, p. 957–974, 2003. Disponível em: <<http://www.atmos-chem-phys.net/6/957/2006/>>.

GIGLIO, L. **MODIS collection 5 active fire product user's guide**. 2010. Disponível em: <http://modis-fire.umd.edu/Documents/MODIS_Fire_Users_Guide_2.4.pdf>. Acesso em: 22 de nov. 2015.

GITAS; I.Z.; MITRI; G.H.; VENTURA; G. Object-based image classification for burned area mapping of Creus Cape; Spain; using NOAA-AVHRR imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, p. 409-413, 2004.

GRACE; J. Understanding and managing the global carbon cycle. **J. Ecol.**, v. 92, p. 189–202, 2004.

HANSEN, M. C. et al. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data. **PNAS**, v. 105, n. 27, p. 9439–9444, 2008.

HARRIS, N. L. et al. Baseline map of carbon emissions from deforestation in tropical regions. **Science**, v. 336, n. 6088, p. 1573-1576, 2012.

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

HOUGHTON, R. A. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. **Glob. Change Biol.** v. 11, p. 945–958, 2005.

HOUGHTON, R. A.; LAWRENCE, K. T.; HACKLER, J. L.; BROWN, S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. **Glob. Change Biol.** v. 7, p. 731–746, 2001.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; NOBRE, C. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOWSKI, W. H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v. 403, p. 301–304, 2000.

HOUGHTON, R. et al. Carbon emissions from land use and land-cover change. **Biogeosciences**, v. 9, n.12, p. 5125-5142, 2012.

HOUGHTON, R. A.; HALL, F.; GOETZ; S. J. Importance of biomass in the global carbon cycle. **J. Geophys. Res.-Biogeo.**, v.114, n. G2, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Amazônia Legal**. 2015. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/amazonialelegal.shtm>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia brasileira – DEGRAD**. São José dos Campos, 2016. Disponível em < <http://www.obt.inpe.br/degrad//>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. **Projeto PRODES**. 2016. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>.

IPCC. **Fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. New York: Cambridge University Press, 2013.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; TAKAHASHI, K.; MALHI, Y.; SOBRINO, J. A.; VAN DE SCRIVER, G. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016. **Sci. Rep.** v. 6, n. 33130, 2016; doi: 10.1038/srep33130.

JOHNS, J.; BARRETO, P.; UHL, C. Logging damage in planned and unplanned logging operations and its implications for sustainable timber production in eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v.89, p.59–77, 1996.

JUSTICE, C. O.; GIGLIOB, L.; KORONTZIA, S.; OWENS J. ; MORISETTE, J. T. ; ROYA, D. ; DESCLOITRES, J.; ALLEAUMED, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMANC, Y. THE MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 244 – 262, 2002.

KELLER; M.; ALENCAR; A.; ASNER; G. P.; BRASWELL; B.; BUSTAMANTE; M.; DAVIDSON; E.; FELDPAUSCH; T.; FERNANDES; E.; GOULDEN; M.; KABAT; P.; KRUIJT; B.; LUIZÃO; F.; MILLER; S.; MARKEWITZ; D.; NOBRE; A. D.; NOBRE; C. A.; PRIANTE FILHO; N.; DA ROCHA; H.; SILVA DIAS; P.; VON RANDOW; C.; VOURLITIS; G. L. Ecological research in the large-scale biosphere–atmosphere experiment in Amazonia: early results. **Ecological Applications**; v. 14, p. 3–16, 2004. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/03-6003/full>>. Acesso em: 18 de dez. 2015.

KIRCHHOFF, V.W.J.H.; ESCADA, P.A.S. O Megaincêndio do século-1998. Sao Jose dos Campos: Transtec, 1998. Sao Jose dos Campos: Transtec 86p.

LAURANCE, W.; MESQUITA, R.; LUIZÃO, R.; PINTO, F. The Biological dynamics of forest fragments project: 25 years of research in the Brazilian Amazon. Supplement to **Biotropica**, v. 15, n. 2, 2004.

LAURANCE, W.F., WILLIAMSON, G.B., 2001. Positive feedbacks among forest fragmentation, drought, and climate change in the Amazon. **Conserv. Biol.** v.15, 1529–1535.

LE QUÉRÉ; C. et al. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. **Nat.Geosci.** v. 2, p. 831–836, 2009.

LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; HEIJDEN, G. M. F. VAN DER; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon Drought. **Science**, v. 331, p. 554, 2011.

LI, W.; FU, R.; DICKINSON, R. E. Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v. 111, n. D2, 2005.

LIMA, A.; SILVA, T.S.F.; ARAGÃO, L.E.O.C.; DE FEITAS, R.M.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A.R.; SHIMABUKURO Y. E. Land use and land cover changes determine the spatial relationship between fire and deforestation in the Brazilian Amazon. **Applied Geography**, v.34, p. 239-246, 2012.

LIMA; A.; SHIMABUKURO; Y. E.; ADAMI; M.; FREITAS; R. M.; ARAGÃO; L. E.; FORMAGGIO; A. R.; LOMBARDI; R. Mapeamento de cicatrizes de queimadas na Amazônia Brasileira a partir da aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral em imagens do sensor MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE; 2009. p. 5925-5932. DVD; On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15917-PRE/10527). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.14.49>>.. Acesso em: 15 out. 2015.

LOARIE, S. R.; ASNER; G. P.; FIELD; C. B. Boosted carbon emissions from Amazon deforestation. **Geophysical Research Letters**, v. 36, L14810, 2009.

MACEDO, M. N. et al. 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.

MAIA, H.; HARGRAVE, J.; GOMEZ, J. J.; ROPER, M. Avaliação do Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal: PPCDAm: 2007-2010. Brasília: IPEA/ Cepal / GIZ, 2011.

MALHI, Y. The carbon balance of tropical forest regions: 1990-2005. **Curr. Opin. Environ. Sustainability**, v.2, p. 237–244, 2010.

MALHI, Y.; PEGORARO, E.; NOBRE, A. D.; PEREIRA, M. G. P.; GRACE, J.; CULF, A. D.; CLEMENT, R. Energy and water dynamics of a central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**. v. 107, n. D20 – 27 October, 2002.

MALHI, Y.; ROBERTS, J. T.; BETTS, R. A.; KILLEEN, T. J.; LI, W.; NOBRE, C. A. Climate change, deforestation and the fate of the Amazon. **Science**, v. 319, p.169–172, 2008.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. S. DE; OLIVEIRA, R. DE; CAMARGO, H.; ALVES, D. S.; BROWN, I. F. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, n. 3, p. 495-516, 2008.

MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. L12703, 2011.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (MCTIC). **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa**. 3. ed. Brasília, 2016. Disponível em: <http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/LIVRO_MCTIC_EstimativaDeGases_Publica%C3%A7%C3%A3o_210x297mm_FINAL_WEB.pdf/61e78a4d-5ebe-49cd-bd16-4ebca30ad6cd>

MEIR, P. et al. Os efeitos da seca nas florestas chuvosas Amazônicas. **Geophysical Monograph Series**, 2013. DOI: 10.1029/2009GM000882.

MENDONÇA, M. J. C.; DIAZ, M. C. V.; NEPSTAD, D.; MOTTA, R. S.; ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. The economic cost of the use of fire in the Amazon. **Ecological Economics**, v. 49, p. 89-105, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Amazônia**. 2015. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia>>.

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

MORTON D.C.; LE PAGE Y.; DEFRIES R.; COLLATZ G.J.; HURTT G.C. Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia. **Philos Trans R Soc B BiolSci**. v. 368, p. 1-8, 2013 Disponível em: <<http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/368/1619/20120163>>. Acesso em: 16 de dez. 2015.

MORTON D.C., et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proc Natl Acad Sci USA* **103**:14637–14641 NEEFF, T. Spatial modeling of primary and secondary forest growth in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 219, n. 2-3, p. 149–168, 2006.

NEPSTAD, D. C., VERISSIMO, A., ALENCAR, A., NOBRE, C., LIMA, E., LEFEBRE, P., SCHLESINGER, P., POTTER, C., MOUTINHO, P., MENDOZA, E., COCHRANE, M. & BROOKS, V. A Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature** 398: 505- 508, 1999.

NEPSTAD, D.; LEFEBVRE, P.; DA SILVA, U. L.; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; SOLORZANO, L.; MOUTINHO, P.; RAY, D.; BENITO, J. G. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. **Global Change Biology**. v. 10, n. 5, p.704–717, 2004.

NEPSTAD, D.C, UHL C, PEREIRA C.A, CARDOSO DA SILVA J.M. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. **Oikos**. v. 76, p. 25–39, 1996.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas e o Brasil – Contextualização. **Parcerias Estratégicas**, v. 13, p. 9–17, 2008.

NUMATA, I.; COCHRANE, M. A.; SOUZA, C. M.; SALES, M. H. Carbon emissions from deforestation and forest fragmentation in the Brazilian Amazon. **Environ. Res. Lett.**, v.6, p. 1–7, 2011.

OMETTO, J. P. et al. Amazon forest biomass density maps: tackling the uncertainty in carbon emission estimates. **Climatic Change**, v. 124, n. 3, p. 545–560, 2014.

PAN, Y.; BIRDSEY, R. A.; FANG, J.; HOUGHTON, R.; KAUPPI, P.; KURZ, W. A.; PHILLIPS, O. L.; SHVIDENKO, A.; LEWIS, S. L.; CANADELL, J. G.; CIAIS, P.;

- JACKSON, R. B.; PACALA, S. W.; MCGUIRE, A. D.; PIAO, S.; et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, p. 988–993, 2011.
- PERGOLA; N.; MARCHESI; F.; TRAMUTOLI; V. Automated detection of thermal features of active volcanoes by means of infrared AVHRR records. **Remote Sensing of Environment**, v. 43, p. 2115-2126, 2004.
- PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, L. E.; LEWIS, S. L.; FISHER, J. B.; LLOYD, J.; LÓPEZ- GONZÁLEZ, G.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; PEACOCK, J.; QUESADA, C. A.; VAN DER HEIJDEN, G.; ALMEIDA, S.; AMARAL, I.; ARROYO, L.; AYMARD, G.; et al. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. **Science**, v. 323, p. 1344–1347, 2009.
- PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G.; LEWIS, S. L.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; ARAGÃO, L. E.; LOYD, J.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; ALMEIDA, S.; D'AVILA, E. A.; AMARAL, I.; ANDELMAN, S.; ANDRADE, A.; ARROYO, L.; AYMARD, G., et al. Drought-mortality relationships for tropical forests. **New Phytologist** , v.187, n.3, p. 631–646, 2010.
- PHULPIN, T.; LAVENU, F.; BELLAN, M. F.; MOUGENOT, B.; BLASCO, F. Using SPOT-4 HRVIR and VEGETATION sensors to assess impact of tropical forest fires in Roraima; Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, p. 1943–1966, 2002.
- POULTER, B.; ARAGÃO, L.; HEYDER, U.; GUMPENBERGER, M.; HEINKE, J.; LANGERWISCH, F.; RAMMIG, A.; THONICKE, K.; CRAMER, W. Net biome production of the Amazon basin in the 21st century. **Global Change Biology**, v. 16, p. 2062–2075, 2010.
- RAMANKUTTY, N. et al. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. **Global Change Biology**, v. 13, n. 1, p. 51-66, 2007.
- RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos Avançados**, v.16 n.44 São Paulo Jan./Apr. 2002.
- RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; MOLINIER, M. et al. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. **International Journal of Climatology**, v. 22, p. 1663–1686, 2002.
- ROSAN, T. M.; ANDERSON, L. O.; VEDOVATO, L. B. Avaliação da origem de focos de calor em anos de extremos climáticos na Amazônia Brasileira (em revisão na **Revista Brasileira de Cartografia**).
- SAATCHI S.S., HOUGHTON R.A.; DOS SANTOS ALVALÁ R.C.; SOARES J. V.; YU Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. **Glob. Chang. Biol.**, v. 13, p. 816–784, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01323.x>>. Acesso em: 13 de jan. 2016.

SAATCHI, S.S.; HARRIS, N.L.; BROWN, S.; LEFSKY, M.; MITCHARD, E.T.A. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **Proc Natl Acad Sci.**, v. 108, p.9899–9904, 2011. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/108/24/9899.abstract>>. Acesso em: 20 de dez. 2015.

SCHROEDER, W.; PRINS, E.; GIGLIO, L.; CSISZAR, I.; SCHMIDT, C.; MORISETTE, J.; MORTON, D. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. **Rem. Sensing of Env.**, v.112, p.2711-2726, 2008.

SCHULZE, M & ZWEEDE, J. Canopy dynamics in unlogged and logged forest stands in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 236, p. 56-64, 2006.

SETZER, A.W.; MORELLI, F. Diferenças na quantificação de focos de queima de vegetação conforme o satélite e o sensor do monitoramento. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO SOBRE CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 5., 2011, Campinas, São Paulo, abril/2011. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2011. P. 264-267 .

SHIMABUKURO, et al.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE; V.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C. **Apresentação da metodologia de criação do PRODES digital**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1–36.

SHIMABUKURO Y.E.; DUARTE V.; ARAI E.; FREITAS R.M.; LIMA A.; et al. Fraction images derived from Terra Modis data for mapping burnt areas in Brazilian Amazonia. **Int. J. Remote. Sens.** v. 30, p. 1537–1546, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01431160802509058>>.

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

SHIMABUKURO; Y. E.; DUARTE; V.; ANDERSON; L. O.; et al. Detecção em tempo quase real de desflorestamento na Amazônia brasileira utilizando imagens MODIS. **Revista Ambi-Agua**, v. 1, n. 12, p. 37–47, 2006.

SILVA, S. S.; ALENCAR, A. A. C.; MENDOZA, E. R. H.; BROWN, F. Dinâmica dos incêndios florestais no Estado do Acre nas décadas de 90 e 00. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16., 2013, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). IBI: <3ERPFQRTRW34M/3E7GLQ6>. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GLQ6>>.

SIMABUKURO, Y. Mapping forest degraded areas caused by fires during the 2010 drought in Mato Grosso State, Brazilian Amazon using Landsat TM fraction images. (Aceito na **Revista Brasileira de Cartografia – RBC**), 2017.

SMITH, L. T.; ARAGÃO, L. E.O. C.; SABEL, C. E.; NAKAYA, T. Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon, **Sci. Rep.**, v. 4, 2014. doi:10.1038/srep03726

SONG, X.-P., C. HUANG, S. S. SAATCHI, M. C. HANSEN, AND J. R. TOWNSHEND. Annual carbon emissions from deforestation in the Amazon Basin between 2000 and 2010. **PLoS One**, v. 5, n.10, 2015.
doi:10.1371/journal.pone.0126754.

UHL, C. & VIEIRA, I. C. G. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: a case study from the Paragominas region of the State of Para. **Biotropica**, v. 21, n. 1, p. 98-106, 1989.

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

VAN DER WERF, G. R. et al. CO2 emissions from forest loss. **Nat. Geosci.** v.2, p. 737–738, 2009.

VEDOVATO, L. B. **Análise espaço-temporal do desacoplamento dos padrões de fogo e desmatamento na Amazônia.** Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. 2016. 119 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34P/3LCQ9DB>. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/03.22.23.21-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. São José dos Campos: INPE, 2016. Disponível em:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LCQ9DB>>.

ZENG, N. et al. Causes and impacts of the Amazon drought. **Environmental Research Letters**. v. 3, n. 014002 , p. 1-9, Jan-Mar 2008.

APÊNDICE

Tabela A.1 – TABELA DE PARÂMETROS DO MODELO INPE-EM

Parâmetro	Valor	Descrição
averBGBPercAGB	0,30	Porcentagem de biomassa abaixo do solo (raízes) em relação à biomassa viva acima do solo (Fearnside et al., 2001; Keller et al., 2004; Luizão et al., 2004; Palace et al., 2007; da-Silva, 2007)
averLitterPercAGB	0,03	Porcentagem de serapilheira em relação à biomassa viva acima do solo.
averDeadWoodPercAGB	0	Porcentagem de madeira morta acima do solo em relação à biomassa viva acima do solo.
averFactorB_C	0,47	Fator de transformação da biomassa para carbono
averFactorB_CO2	1,7249	Fator de transformação da biomassa para dióxido de carbono
averAGB_loss	0,40	Porcentagem de biomassa viva acima do solo perdida durante o processo de degradação (Berenguer et al, 2014).
averAGB_percReduction	0,034	
averPeriodRegrow	50	Número de anos para a recuperação da biomassa perdida (Blanc et al, 2008; Aragão et al., 2014)
averLimiarDegradYears	1	
averLimiarDegradLoss	0,01	
averAGBPercWoodProducts	0,15	Porcentagem de AGB que vira produto madeireiro (Aguar et al, 2012)
averAGBPercInstantaneous	0,425	Porcentagem de AGB que irá liberar carbono por queima.
averAGBPercDecomposition	0,425	Porcentagem de AGB que irá liberar carbono por decomposição.
averBGBPercDecompositionUnder	1	Porcentagem da BGB que irá liberar carbono por decomposição abaixo do solo.
averLitterPercInstantaneous	1	
averDeadWoodPercInstantaneous	0,5	
averDeadWoodPercDecomposition	0,5	
averDecompositionFireCyclePeriod	3	
averDecompositonPercElementalCarbon	0,02	Porcentagem de carbono não liberado por queima (abaixo e acima do solo) que irá se decompor muito lentamente como carbono elementar (Houghton et al, 2000).